

CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DO CONCELHO DE ALMADA E O SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEO-ALMADA

ANA PAULA FERNANDES DA SILVA

Dissertação apresentada à Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geotecnia, na especialidade de Geologia de Engenharia

2 Volumes

(Vol. I)

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Civil

Lisboa, 2000

À

Carolina e Ana

AGRADECIMENTOS

Uma tese de doutoramento só é possível desde que exista em redor de quem a está a desenvolver um meio com características favoráveis, humanas, científicas e culturais. Este trabalho, que se estendeu por um período de tempo superior ao inicialmente previsto, chegou ao fim porque aquelas condições conseguiram vencer algumas adversidades que no fim quase fizeram perigar a chegada a bom porto. Assim, à autora cumpre agradecer a muitas pessoas a ajuda inestimável, o apoio e carinho que foram prestando ao longo do trabalho mas, principalmente, na sua fase terminal.

Em primeiro lugar, agradece ao Professor Doutor J.A. Rodrigues Carvalho, Professor Associado (Agregado) da FCT/UNL, que lhe lançou um primeiro desafio - voltar à FCT e colaborar no ensino da Geologia de Engenharia. Agradece-lhe ainda a proposta do tema e, assim, a oportunidade de aprofundar conhecimentos num domínio que se desvendou particularmente interessante, bem como os bons conselhos sempre presentes, o estímulo para conseguir chegar ao fim e o trabalho de revisão final do texto. A ele deve também as deslocações ao simpósio *Engineering geology and the environment*, organizado pela IAEG em Atenas, em 1997; assim como ao *Imperial Colledge of Science, Technology and Medicine* em Londres, e ao ITGE, em Madrid, onde houve a oportunidade de desenvolver importante debate científico, respectivamente, com o Professor Doutor *Michael* de Freitas e Doutor M. *Rosenbaum* e o Professor Doutor Engenheiro *Francisco Ayala-Carcedo*.

Um lugar importante tem que ser concedido a diversas Instituições, que apoiaram o trabalho das mais diversas maneiras, nomeadamente:

- No início dos trabalhos, a Secção Autónoma de Geotecnia da FCT/UNL, na pessoa do seu Presidente de Conselho, Professor Doutor Engenheiro A. Correia Mineiro; mais recentemente, o Departamento de Engenharia Civil da FCT/UNL, nas pessoas dos seus Presidentes, Professores Doutores Engenheiros A. Correia Mineiro e M. A. Gonçalves da Silva, pelos meios facultados, bem como a todos os colaboradores que directa, ou indirectamente, contribuíram para a elaboração deste trabalho.
- À Câmara Municipal de Almada (CMA) deve importantes apoios recebidos nos últimos anos e que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho, nomeadamente através da celebração de um protocolo de investigação com a FCT/UNL no âmbito do qual se desenvolveu o presente estudo.
- Ao Departamento de Ciências da Terra, na pessoa do seu Presidente, Professor Doutor João Cardoso Pais, pelo apoio total concedido na impressão final dos elementos cartográficos.
- Ao Centro de Estudos de Geologia e Geotecnia de Santo André (CEGSA), nas pessoas dos seus Directores, Professor Doutor J. A. Rodrigues Carvalho e Eng^o. Alberto Silva, a colaboração inestimável que prestaram na obtenção de provetes normalizados de rocha. Um agradecimento especial a todo o pessoal técnico e administrativo.
- À Base Naval de Lisboa, nas pessoas dos Srs. Comandante Correia e Tenente Trindade Leitão, um agradecimento sincero pela maneira como a receberam e pelas oportunidades proporcionadas durante as visitas à Base do Alfeite.
- Ao Instituto de Conservação da Natureza, a autorização para estudar a Área da Arriba Fóssil.
- Ao Departamento de Geologia da FC/UL, em especial aos Profs. Doutores Isabel Moitinho e Fernando Marques, sugestões e apoios demonstrados; a autora agradece em particular a ajuda na análise dos resultados dos ensaios da fracção fina por DRX!
- À *Intergraph* Portugal, pelas oportunidades concedidas em frequentar diversos cursos de formação e pelo esclarecimento daquelas “dúvidas existenciais” que sempre se levantam a quem lida com *software* e às constantes “mutações” de versões.
- À Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais de Lisboa e Vale do Tejo e Instituto

Geológico e Mineiro de Portugal, pela consulta de dados de sondagens hidrogeológicas e, no segundo caso ainda, de relatórios de estudos geológicos e geotécnicos.

- À Brisa, Auto-estradas de Portugal; Junta Autónoma de Estradas (actual Instituto de Estradas de Portugal), Administração do Porto de Lisboa, Rede Ferroviária Nacional (REFER), e Universidade Nova de Lisboa, as facilidades concedidas na obtenção de importante acervo de informação para a base de dados. O mesmo se aplica à Administração da Herdade da Aroeira, Departamento de Obras Municipal e Habitação (DOMH) e Serviços Municipalizados de Água e Saneamento da CMA.
- Às empresas Geocontrole, Construções Técnicas SA, Profabril, Sopecate, Tecnasol/FGE, a consulta de importante repositório de dados geológicos e geotécnicos. Um bem haja especial aos Engs. Reynolds de Sousa e Mendes de Almeida.
- À Companhia Portuguesa de Hipermercados, SA, Teixeira Duarte, Empresa Braga Parques e Construtora Abrantina a autorização para acompanhar o desenrolar de escavações e colher algumas amostras nas obras em curso no concelho de Almada.

Um agradecimento especial:

- ✓ Ao Professor Ricardo Oliveira por a ter desafiado a trabalhar em Geotecnia e pelo apoio concedido através do empréstimo de diversa bibliografia.
- ✓ Ao Professor Doutor João Pais, por a ter “apresentado” ao Miocénico da margem sul do Tejo, pelos esclarecimentos que sempre concedeu, bem como pelo empréstimo de “n” bibliografia.
- ✓ Ao Professor Doutor Eng^o. A. Correia Mineiro, pela ajuda prestada ao longo destes anos, que se traduziu no empréstimo de diversas referências e disponibilidade para troca de impressões.
- ✓ Ao Sr. Eng.^o Moitinho de Almeida, o empréstimo de estudos de sítios que muito contribuíram para melhorar o conhecimento geológico e geotécnico do concelho de Almada.
- ✓ Ao Sr. Eng.^o M. Larangeira, Director do DOMH da CMA, a boa vontade e empenho que sempre demonstrou para com este projecto de investigação.
- ✓ À Dr^a. Inês Beira e restante equipa do Departamento de Informática do SMAS de Almada, pela disponibilidade e boa vontade que sempre revelaram.
- ✓ Ao Pedro Lamas e Alexandra Chaves, sem a V. ajuda, principalmente nos últimos tempos, não teria conseguido! Ao Pedro, um obrigada ainda pela companhia no campo na área entre Cacilhas e Trafaria e a troca de impressões sobre a litologia da zona.
- ✓ Aos colegas e amigos do Gabinete SIGMA, Paula, Afonso, Rui Arroja, António e Jorge: com a V. boa disposição, disponibilidade e amizade, o trabalho correu pelo melhor (a música também ajudou...).
- ✓ À Paula Varatojo e Teresa Santana, pelas trocas de impressões e esclarecimentos dados.
- ✓ Ao Paulo Correia, que mesmo em Bruxelas não deixou de auxiliar com críticas e sugestões!
- ✓ À Manuela, por ter facultado o acesso a alguns elementos bibliográficos.
- ✓ Ao Zé Carlos Kulberg e Zé Miguel Remédios, pela discussão de alguns pontos notáveis.
- ✓ Ao Sr. Gaspar e Maria da Luz, pela ajuda e apoio demonstrados. À D. Flor pelos anos de amizade e suporte incondicionais.
- ✓ À D. Lília e Ângela, duas AMIGAS com coração de ouro, sem as quais não teria chegado ao fim...

Aos pais, à Mané, Joana e às filhas, Ana e Carolina, agradece o amor e carinho que sempre lhe concederam.

BEM HAJAM TODOS!

RESUMO

O desenvolvimento de sistemas de informação geográfica (SIG) para áreas urbanas é prática corrente já em alguns países comunitários, como o Reino Unido, Países Baixos ou Alemanha; o objectivo é sempre o de obter cartografia temática para o meio urbano e proporcionar uma verdadeira análise multisectorial para o planeamento. Na presente investigação pretendeu-se desenvolver uma metodologia genérica que pudesse vir a ser utilizada em Portugal a fim de complementar aqueles sistemas com informação geocientífica tendo, para o efeito, sido seleccionada a área do Município de Almada.

Executaram-se os trabalhos vulgarmente associados à cartografia geotécnica, tais como:

- pesquisa e recolha de informações,
- estudo fotogeológico e levantamento de terreno numa escala grande (1:5 000),
- recolha de amostras superficiais (profundidade inferior a três metros) para caracterização geotécnica - identificação, e caracterização física e mecânica em laboratório.

Para além disso, o trabalho incluiu ainda a criação e exploração de uma base de dados, geocientíficos e georreferenciados, no que se convencionou designar de Sistema de Informação Geo-Almada (SIGEO-ALMADA). Os *software* utilizados foram o GEOMEDIA PROFESSIONAL[®] e *Site Select CAD*[®] da *Intergraph* e a base de dados relacional ACCESS[®] da *Microsoft*.

O sistema desenvolvido implicou a obtenção de um conjunto de dados básicos em formato digital, como a morfologia (modelo digital de terreno e cartografia hipsométrica e de declives); litologia e tectónica (carta litológica), geomorfologia (cartas de inventário de movimentos de terrenos e de fenómenos de erosão) e inventário de pontos de prospecção e ensaios (carta de documentação). A partir desta geo-informação e utilizando as ferramentas de análise e manipulação disponibilizada pelos SIG, derivaram-se cartas de unidades geotécnicas, susceptibilidade aos movimentos de terrenos e de erosão potencial; finalmente sintetizou-se, a partir da informação anterior, uma carta de aptidão à construção, em função dos parâmetros geológicos e geotécnicos estudados.

A informação disponibilizada torna-se particularmente útil nas fases de estudo preliminar de projectos, na caracterização geotécnica de grandes estruturas e como ferramenta multidisciplinar de investigação e guia para o aprofundar do conhecimento do terreno. A utilização de tecnologias de informação aumenta ainda o leque de potenciais aplicações, especialmente para os tradicionais utilizadores de informação geológica e geotécnica, bem como para a revisão do PDM de Almada e para a prossecução de uma verdadeira gestão sustentada do território do Município.

ABSTRACT

The implementation of geographical information systems (GIS) for urban areas is a common practice among European Community countries, namely in the United Kingdom, Netherlands or Germany. The goal is always to develop thematic maps for the urban environment and to provide an effective multicriteria analysis for land use planning. This research study aimed to develop a methodology to complement such systems with geological and geotechnical data; the research target area was the municipality of Almada in Portugal.

During this study, the usual tasks related with engineering geological mapping were undertaken, namely:

- collection of information;
- photo interpretation studies and large scale (1:5 000) surface mapping of the study area;
- surface sampling of soils and rocks (less than three meters deep) for geotechnical characterization.

A geological and geotechnical georeferenced database was also implemented and was designated as the Geo-Almada Information System (SIGEO-ALMADA). The Intergraph's GEOMEDIA PROFESSIONAL[®] and Site Select CAD[®] as well as the Microsoft's ACCESS[®], were the software used for that purpose.

The basic thematic information gathered in such a database is included in several maps - e. g. hypsometric map, slope map, lithological and tectonic map; erosion and mass movements inventory map; etc. The analysis and manipulation of the above mentioned information allowed the preparation of several geotechnical maps in a GIS environment: first, the definition of an engineering geological units map and both, a mass movement susceptibility map and potential erosion map; finally the engineering geological units were assessed in terms of their aptitude for construction.

The information presented here can be particularly useful throughout the geotechnical studies conducted during the feasibility stages for major civil engineering structures. It can also be of help as a tool for multidisciplinary research and also as a guide for updating the knowledge about the terrain in Almada County. The use of information technologies increases the number of potential users of geoscientific information; especially during further revisions of the Almada land use plans and can help to accomplish a sustainable management of the area.

SIGLAS E NOTAÇÕES

A 2 - Auto-estrada do Sul, sublanço Ponte 25 de Abril - Fogueteiro.
AASG - *Association of American State Geologists*.
ANSI - *American National Standard Institute*.
AML - Área Metropolitana de Lisboa.
ASTM - *American Society for Testing and Materials*.
AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*.
BBT - Bacia do Baixo Tejo.
BD - Base(s) de dados.
BDOO – Base(s) de dados orientada para objectos.
BDR - Base de dados relacional.
BFFH - Bairro do Fundo de Fomento de Habitação.
BDER - Base(s) de dados espacialmente referenciados.
BGS - *British Geological Survey*.
c - Coesão de um solo (kPa).
CBR - *California Bearing Ratio* (%).
Cc - Índice de compressibilidade ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).
CD - Ensaio consolidado, drenado.
CDG - Conjunto de dados geográficos.
Ce - Índice de expansibilidade/recompressibilidade ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).
CEGSA - Centro de Estudos de Geologia e Geotecnia de Santo André.
CMA - Câmara Municipal de Almada.
Cv - Coeficiente de consolidação ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).
CU - Ensaio consolidado, não drenado.
D - Diâmetro médio da partícula do solo.
DEM - *Digital elevation model*; modelo digital de altitudes.
D.L. - Decreto Lei.
DMG - Dimensão máxima dos elementos da fracção grossa do solo (cm).
DRX - Ensaio por difracção de raios-X.
DTM - *Digital terrain model*.
E - Escala(s).
 e_i - Índice de vazios inicial.
 e_f - Índice de vazios final.
EUA - Estados Unidos da América.
Ex.^o - Exemplo.
 ϕ - Ângulo de atrito interno de um solo ($^\circ$).
FCT/UNL - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
 γ - Peso volúmico aparente ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$).
 γ_d - Peso volúmico seco ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$).
 $\gamma_{d\text{máx}}$ - Peso volúmico seco máximo, obtido em ensaio Proctor ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$).
Ia - Índice de Actividade das argilas de Skempton.
IAEG - *International Association of Engineering Geology / International Association for Engineering Geology and the Environment* (desde 1998).
IC 20 - Itinerário Complementar n.º. 20, sublanço Almada - Costa de Caparica.
IEP - Instituto de Estradas de Portugal (ex-JAE).
IG - Informação geográfica

IGM - Instituto Geológico e Mineiro.
IP - Índice de Plasticidade.
ISRM - *International Society for Rock Mechanics*; Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas.
JAE - Junta Autónoma de Estradas (actual IEP).
LCPC - *Laboratoire Central de Ponts et Chaussées*.
LL - Limite de liquidez.
LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
MARN - Ministério do Ambiente e Recursos Naturais.
 M_L - Magnitude local ou de Richter.
 M_P - Magnitude estimada ou pessoal.
 M_s - Magnitude das ondas superficiais.
MDT - Modelo digital de terreno.
MGE – *Modular GIS Environment*.
MM - Escala de Intensidades de Mercalli modificada.
 n - Número de amostras ensaiadas.
 n – Porosidade (%).
N ou N (SPT) - Número de pancadas obtido num ensaio SPT.
NP - Não plástico.
n.r. - Não referido.
PDM - Plano Director Municipal ou Planos Directores Municipais.
PMOT - Planos Municipais de Ordenamento do Território.
PID - Plano Integrado para o Desenvolvimento Regional.
PROT - Plano Regional de Ordenamento do Território.
® - *Registered Trade Mark*.
REN - Reserva Ecológica Nacional.
RAN - Reserva Agrícola Nacional.
S - Resistência à compressão uniaxial (MPa).
SIG - Sistema(s) de Informação Geográfica.
SGBD - Sistema(s) de gestão da base de dados.
SGBDR - Sistema(s) de gestão de base de dados relacional(ais).
SIGEO-ALMADA - Sistema de Informação Geotécnica de Almada.
SIGMA - Sistema de Informação Geográfico do Município de Almada.
SMAS – Serviços Municipalizados de Água e Saneamento.
SMIG/AML - Sistema Metropolitano de Informação Geográfica da AML.
 σ_{po} - Tensão de pré-consolidação aparente do solo (MPa).
SPT - Ensaio de penetração dinâmica normalizado.
USGS - *United States Geological Survey*.
UU - Ensaio não consolidado, não drenado.
 w_n - Teor em água natural de um solo (%).
 w_{opt} - Teor óptimo em água de um solo, obtido no ensaio Proctor (%).

2030 - Conjunto de quatro caracteres a negrito indicativo do **ID_Perfil** de um dado pontual dentro do SIGEO-ALMADA.

1332_1 - Conjunto de seis caracteres a negrito indicativo do **ID_Perfil** de um dado pontual seguido do correspondente **ID_Amostra** dentro do SIGEO-ALMADA.

ÍNDICES

ÍNDICE GERAL

	Pág.
DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
SIGLAS E NOTAÇÕES	ix
ÍNDICES	xi
ÍNDICE GERAL	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE QUADROS	xxi
I. INTRODUÇÃO	1
1. OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
2. SOBRE O TEMA E SUA IMPORTÂNCIA	6
3. PLANEAMENTO E MEIO GEOLÓGICO EM PORTUGAL	10
4. CONCELHO DE ALMADA - BREVES NOTAS GEOAMBIENTAIS E HISTÓRICAS	13
II. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA	21
1. CARTAS GEOTÉCNICAS	23
2. ELABORAÇÃO DE CARTAS	28
2.1 Informação e Métodos de Classificação	28
2.2 Operações com Cartas	33
2.2.1 Generalização	33
2.2.2 Selecção	35
2.2.3 Adição e Sobreposição	35
2.2.4 Transformação	36
2.2.5 Zonamento	36
<i>Zonamento para fins múltiplos</i>	37
<i>Zonamento para fins específicos</i>	37
2.3 Representações 2,5-D	38
2.3.1 Sobreposição Simples de Simbologia	40
2.3.2 Isopacas	40
2.3.3 Cartas de Níveis ou Horizontes	40
2.3.4 Método das Bandas	41
2.3.5 Sucessão de Unidades e Legenda Tipo Perfil	42
2.4 Utilização de Computadores	43
2.5 Custo - Benefício	47
3. ABORDAGENS METODOLÓGICAS	49
4. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA EM PORTUGAL	52
III. BASES DE DADOS ALFANUMÉRICOS	55

	Pág.
1. ORGANIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA	57
1.1 Problemática Geral	57
1.2 Conceção	63
1.3 Aquisição	65
1.4 Exploração	66
1.5 Actualização	67
2. MODELOS, ESTRUTURAS E GESTÃO DE DADOS	67
2.1 Algumas Definições	67
2.2 Modelo Entidade - Associação (EA)	69
2.3 Estrutura Relacional	71
3. APLICAÇÕES EM GEOTECNIA	73
3.1 Internacionais	73
3.2 Portuguesas	79
3.3 Custo - Benefício	81
4. PROPOSTA DE BASE DE DADOS ALFANUMÉRICOS	83
4.1 Metodologia	83
4.2 Modelo Conceptual	84
4.3 Dicionário de Dados	86
IV. BASES DE DADOS GRÁFICOS	91
1. COMPUTADORES E CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA	93
2. SIG - BREVE CARACTERIZAÇÃO	96
2.1 Algumas Definições	96
2.2 Tipos de Representação	99
2.3 Criação de um Projecto	102
<i>Desenvolvimento de um modelo de dados</i>	103
<i>Aquisição, validação, estruturação e manipulação de dados</i>	105
<i>Análise espacial</i>	109
<i>Produto final</i>	111
3. APLICAÇÕES EM GEOTECNIA	112
3.1 Internacionais	112
3.2 Portuguesas	116
2.4 Custo - Benefício	119
4. PROPOSTA DE BASE DE DADOS GEORREFERENCIADOS	120
4.1 Metodologia	120
4.2 Modelo Conceptual	123
4.3 Dicionário de Dados	125
V. O SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEO-ALMADA	127
1. METODOLOGIA	129

	Pág.
1.1 Elementos Coligidos	129
1.2 Novos Elementos de Caracterização Geológica e Geomorfológica	132
1.3 Caracterização Geotécnica	134
2. O SIGEO-ALMADA	139
2.1 Bases de Dados	139
2.2 Aquisição de Dados	140
3. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA	143
3.1 MDT - Metodologia Adoptada	143
3.2 Carta Hipsométrica	146
3.3 Carta de Declives	152
4. LITOLOGIA	157
4.1 Litostratigrafia	157
4.2 Carta Litológica	162
4.2.1 Terrenos de Cobertura	162
<i>Aterros</i>	162
<i>Depósitos de vertente</i>	165
<i>Areias eólicas ou de praia</i>	165
<i>Aluviões</i>	167
4.2.2 Terrenos do Substrato	167
<i>Conglomerados e cascalheiras com mistura de areias argilosas</i>	167
<i>Areias e arenitos com mistura de finos e seixos/calhaus</i>	168
<i>Areias, siltes argilosos e bancadas carbonatadas espessas, às vezes muito fossilíferos</i>	170
<i>Siltes e siltes argilosos a arenosos com algumas intercalações carbonatadas</i>	171
<i>Argilas e siltes com algumas intercalações carbonatadas de espessura média</i>	172
5. TECTÓNICA E NEOTECTÓNICA	173
6. PERIGOS GEOLÓGICOS	182
6.1 Sismicidade	182
<i>Zonas de geração sísmica</i>	182
<i>Efeitos dos sismos</i>	185
6.2 Movimentos de Terrenos e Fenómenos de Erosão	188
7. CARTA DE DOCUMENTAÇÃO	197
7.1 Inventário de Dados Geológicos e Geotécnicos	197
7.2 Inventário de Dados de Pesquisa e Captação de Água	199
VI. CARTAS GEOTÉCNICAS DERIVADAS E DE SÍNTESE	203
1. INTRODUÇÃO	205
2. CARTA DE UNIDADES GEOTÉCNICAS	205
2.1 Metodologia Adoptada	205
2.2 Caracterização das Unidades Geotécnicas	210

	Pág.
2.2.1 Terrenos de Cobertura	210
<i>Depósitos de Aterro</i>	210
<i>Aterros tipo I: Aterros controlados</i>	213
<i>Aterros tipo II: Aterros não controlados</i>	214
<i>Depósitos de vertente</i>	218
<i>Depósitos arenosos eólicos e costeiros</i>	223
<i>Depósitos de aluvião</i>	227
<i>Aluviões tipo I: Aluviões predominantemente finas</i>	229
<i>Aluviões tipo II: Aluviões predominantemente grossas</i>	232
<i>Aluviões tipo III: Aluviões com lodos</i>	236
2.2.1 Terrenos do Substrato	237
<i>Complexo de depósitos grosseiros de seixos e areias argilosas</i>	237
<i>Complexo de areias com seixos e finos</i>	240
<i>Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos</i>	248
<i>Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados</i>	256
<i>Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos</i>	264
3. CARTAS DE SUSCEPTIBILIDADE AOS MOVIMENTOS DE TERRENOS E DE EROSÃO POTENCIAL	272
3.1 Metodologia Adoptada	272
3.2 Susceptibilidade aos Movimentos de Terrenos	273
3.3 Erosão Potencial	274
4. CARTA DE APTIDÃO À CONSTRUÇÃO	281
VII. CONCLUSÕES	289
VIII. REFERÊNCIAS	295
1. BIBLIOGRAFIA	297
2. RELATÓRIOS TÉCNICOS	314
3. CARTOGRAFIA E FOTOGRAFIA AÉREA	316
ANEXOS	317
I. BASE DE DADOS ALFANUMÉRICOS - DICIONÁRIO	319
II. BASE DE DADOS GEORREFERENCIADOS - DICIONÁRIO	331
III. BASE DE DADOS DERIVADOS - DICIONÁRIO	339

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
I.1	O concelho de Almada - divisão administrativa.	14
I.2	Evolução real e estimada da população do concelho de Almada (CMA, 1991, adaptado).	18
II.1	Exemplo de uma árvore lógica para definir as unidades a cartografar (YINGQING, 1994, adaptado).	31
II.2	Diferença entre generalização tipológica por fusão de atributos e sobreposição (adaptado de RODOMAN, 1965 <i>in</i> VARNES, 1974).	34
II.3	Exemplo de um diagrama de Euler para obtenção das unidades de uma carta de restrição à ocupação obtida pelo método da agregação.	38
II.4	A importância da terceira dimensão em Ciências da Terra: o bloco diagrama da área de <i>Franconia</i> (adaptado de FROELICH <i>et al.</i> , 1978).	39
II.5	Carta geotécnica de Sines - um exemplo do método das bandas (COELHO, 1980).	41
II.6	Esquema do sistema “ <i>computer composite-mapping</i> ” de FROELICH <i>et al.</i> (1978, adaptado).	45
III.1	Relações entre os diferentes elementos da gestão de qualidade de dados (LOWE, 1995, adaptado).	61
III.2	Fluxograma das fases de concepção, aquisição e exploração de uma BD em Geologia de Engenharia.	62
III.3	Exemplo do diagrama de dados para uma SONDAGEM.	70
III.4	Exemplo de tabela relacional para uma SONDAGEM.	71
III.5	Os itens incluídos na BDR <i>Geoshare</i> (adaptado de RAPER & WAINWRIGHT, 1987).	77
III.6	Modelo conceptual para uma base de dados pontuais, alfanuméricos, em Geologia de Engenharia.	85
IV.1	Fluxograma potencial para a aplicação de um SIG em Ciências da Terra.	103
IV.2	O modelo E-A para o Sistema de Informação Geo-Almada.	123
V.1	Aspecto de vazão de dissolução em provete carotado de um bloco de biocalcarenito recolhido durante a investigação.	138
V.2	Exemplo de provete de calcarenito ensaiado, observando-se detalhe do plano de rotura ondulado.	138
V.3	Final do ensaio para determinação da massa volúmica e da porosidade de um conjunto de amostras.	139
V.4	Carta hipsométrica do concelho de Almada, na escala horizontal 1:50 000.	147
V.5	Excertos da carta hipsométrica (sem escala): a) Vista parcial da vala do Caramujo e dos taludes da margem sul do Tejo, a partir de nordeste; b) Zona da Trafaria - Vala da Enxurrada, vista de topo e de noroeste (classes de altitude de acordo com a legenda da Fig.V.4).	150
V.6	Carta de declives do concelho de Almada, na escala 1:50 000.	155
V.7	Carta litológica do concelho de Almada, na escala 1:50 000.	163
V.8	Corte em Espadeiros (identificado no SIGEO-ALMADA por 2230), onde é possível observar o contacto entre A - Areias e arenitos com mistura de finos e seixos/calhaus (“Pliocénico”), e B - Silte e siltes argilosos a arenosos com algumas intercalações carbonatadas (Miocénico, Tortoniano).	169
V.9	Aspecto calcarenítico do conjunto litológico que conforma a escarpa do extremo nordeste de Almaraz, sobranceira ao Tejo, e a poente do Ginjal. Observa-se ainda pormenor de plano de falha que intersecta a divisão IVb de Cotter (fotografia de P.LAMAS).	170

Figura		Pág.
V.10	Aspecto do conjunto silto-arenoso a sul do Boqueirão da Junça, onde se pode apreciar as cavidades alveolares, resultantes de erosão eólica, que apresenta junto ao seu topo.	172
V.11	Aspecto da falha a poente do encontro sul da Ponte 25 de Abril – vista de norte para sul (fotografia de C.VILAR).	175
V.12	Aspecto da falha situada mais a poente e observada nas escavações para a primeira fase de construção da residência de estudantes da FCT/UNL, nas imediações da trincheira 2061 do SIGEO-ALMADA.	177
V.13	Arriba Fóssil, a Sul do IC 20 e antes da entrada na Costa da Caparica, ao longo da antiga estrada de acesso aos Capuchos, onde se observam: a) duas falhas (F1 e F2), a principal de tipo inversa (F2); b) e um pormenor do plano de F2, ondulado.	178
V.14	Aspecto de uma zona fracturada na Arriba Fóssil, no talude meridional do caminho de acesso à Fonte da Telha.	179
V.15	Pormenor das duas falhas inversas (F1 e F2) que ocorrem na arriba Fóssil na Fonte da Telha e que estão representadas na Fig.V.14.	180
V.16	Esboço da localização das principais zonas sismogénicas (A, B1 e B2) a considerar para estudos de risco sísmico no concelho de Almada, com indicação dos epicentros de sismos instrumentais verificados entre 1977 e 20.09.99 (adaptado de CABRAL, 1995; NEIC-USGS, 1999; OLIVEIRA & SOUSA, 1994; D'APOLONIA, 1982 <i>in</i> RODRIGUES, 1998; SOUSA, 1996).	183
V.17	Carta de isossistas de intensidades sísmicas máximas observadas em Portugal Continental (IM, 1997).	185
V.18	Carta de inventário de movimentos de terrenos e fenómenos de erosão no concelho de Almada, na escala 1:50 000.	189
V.19	Distribuição dos movimentos de terrenos inventariados no concelho de Almada em função da data estimada/inventariada da ocorrência.	193
V.20	Distribuição dos fenómenos de erosão inventariados no concelho de Almada em termos da proporção de área afectada (percentagem).	194
V.21	Abarrancamento generalizado na Arriba Fóssil, a norte da Mina de Oiro.	194
V.22	Erosão por ravinamento com evolução remontante por lasqueamento, na Arriba Fóssil a sul da Fonte da Telha.	195
V.23	Esporões transversais na Costa da Caparica e exemplo da interferência no transporte costeiro no final da década de noventa: a) Sedimentação a Norte; b) Erosão a Sul.	
V.24	Distribuição das sondagens de furação incluídas na BD de acordo com as datas em que foram executadas.	
V.25	Distribuição das sondagens contempladas na BD em função do tipo de furação.	
VI.1	Carta de unidades geotécnicas do concelho de Almada, na escala 1:50 000.	207
VI.2	Plasticidade das duas amostras contempladas no SIGEO-ALMADA para os Aterros tipo II: Aterros não controlados (1387_20 e 1389_8).	216
VI.3	Distribuição dos valores de ensaios SPT nos Aterros tipo II: Aterros não controlados, em função da profundidade.	217
VI.4	Distribuição da classificação geotécnica dos solos dos Depósitos de vertente para as nove amostras existentes no SIGEO-ALMADA.	220
VI.5	Projecção sobre a Carta de Plasticidade das amostras correspondentes aos Depósitos de vertente.	220
VI.6	Actividade da fracção argila de acordo com o Índice de Actividade (I _a) de Skempton.	221
VI.7	Distribuição dos valores de ensaios SPT para os Depósitos de vertente, em função da profundidade.	222

Figura		Pág.
VI.8	Curvas granulométricas (peneiração húmida) das duas amostras de solos eólicos colhidas nos Depósitos arenosos eólicos e costeiros.	224
VI.9	Distribuição da classificação geotécnica dos Depósitos arenosos eólicos e costeiros para as onze amostras de solos contempladas no SIGEO-ALMADA.	225
VI.10	Distribuição dos valores de ensaios SPT nos Depósitos arenosos eólicos e costeiros, em função da profundidade.	226
VI.11	Aspecto do decorrer das obras de fecho da vala da Alameda Atântica, na Costa de Caparica, onde se pode observar o dispositivo montado para rebaixamento do nível de água nos Depósitos arenosos eólicos e costeiros.	227
VI.12	Distribuição da classificação geotécnica das Aluviões tipo I: aluviões predominantemente finas, para as catorze amostras de solos da BD.	230
VI.13	Plasticidade das catorze amostras existentes no SIGEO-ALMADA para as Aluviões tipo I: aluviões predominantemente finas.	230
VI.14	Distribuição dos valores de ensaios SPT em Aluviões tipo I: aluviões predominantemente finas, em função da profundidade.	231
VI.15	Curvas granulométricas (peneiração húmida) das duas amostras recolhidas nas Aluviões tipo II: aluviões predominantemente grossas.	233
VI.16	Distribuição da classificação geotécnica dos solos das Aluviões tipo II: Aluviões predominantemente grossas para as nove amostras de solos contempladas na BD.	233
VI.17	Distribuição dos valores de ensaios SPT em Aluviões tipo II: aluviões predominantemente grossas, em função da profundidade.	234
VI.18	Recta de Coulomb do ensaio de corte directo não consolidado, não drenado, sobre amostra de Aluvião tipo II: aluvião predominantemente grossa (areia siltosa, 2231_1).	235
VI.19	Distribuição dos valores de ensaios SPT em Aluviões tipo III: aluviões com lodos, em função da profundidade.	237
VI.20	Curvas granulométricas (peneiração húmida) das amostras recolhidas no Complexo de depósitos grosseiros de seixos e de areias argilosas.	238
VI.21	Distribuição da classificação geotécnica dos solos do Complexo de depósitos grosseiros de seixos e de areias argilosas, para as cinco amostras remexidas do SIGEO-ALMADA.	239
VI.22	Curvas granulométricas (peneiração húmida) de doze solos finos (percentagem passada ao peneiro nº 200 da ASTM é pelo menos de 50%), do Complexo de areias com seixos e finos.	242
VI.23	Curvas granulométricas (peneiração húmida) de solos grossos, com menos de 5% de finos, do Complexo de areias com seixos e finos.	242
VI.24	Curvas granulométricas (peneiração húmida) de solos grossos com 5% a 15% de finos, do Complexo de areias com seixos e finos.	243
VI.25	Curvas granulométricas (peneiração húmida) de solos grossos, com mais de 15% de finos, do Complexo de areias com seixos e finos.	243
VI.26	Distribuição da classificação geotécnica dos solos do Complexo de areias com seixos e finos para as cento e setenta e uma amostras da BD.	244
VI.27	Plasticidade das amostras contempladas no SIGEO-ALMADA para o Complexo de areias com seixos e finos.	244
VI.28	Actividade da fracção de argila de acordo com o Índice de Actividade (I _a) de Skempton.	245
VI.29	Distribuição dos valores de ensaios SPT no Complexo de areias com seixos e finos, em função da profundidade.	247
VI.30	Resultado de um ensaio de corte directo (UU) na amostra 2207_1 .	247
VI.31	Curvas granulométricas (peneiração húmida) de quinze solos do Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos.	250

Figura		Pág.
VI.32	Distribuição da classificação geotécnica dos solos do Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos, para as vinte seis amostras da BD.	250
VI.33	Plasticidade de vinte e cinco das vinte e seis amostras incluídas na BD para o Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos.	251
VI.34	Distribuição dos valores de ensaios SPT no Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos, com a profundidade.	252
VI.35	Síntese de três ensaios de corte directo consolidados, dois drenados (2212_1 e 2234_1 , sendo este também reversível) e outro não drenado (2212_2), sobre amostras do Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos.	253
VI.36	Curvas de compressibilidade para dois ensaios edométricos realizados em amostras indeformadas de solos finos do Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos.	254
VI.37	Curvas granulométricas (peneiração húmida) das amostras recolhidas no Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados.	257
VI.38	Distribuição da classificação geotécnica dos solos do Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados, para as cento e vinte e três amostras da base de dados.	258
VI.39	Plasticidade de cento e dezoito amostras das cento e vinte e três incluídas no SIGEO-ALMADA para o Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados.	258
VI.40	Actividade da fracção argila de acordo com o Índice de Actividade (I _a) de Skempton.	259
VI.41	Distribuição dos valores de ensaios SPT no Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados, em função da profundidade.	260
VI.42	Síntese de quatro ensaios de corte directo, consolidados, sobre amostras do Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados.	261
VI.43	Curvas de compressibilidade obtidas nos três ensaios edométricos realizados em amostras indeformadas de solos finos do Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados.	262
VI.44	Curvas granulométricas (peneiração húmida) das amostras do Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos.	265
VI.45	Distribuição da classificação geotécnica dos solos do Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos, para as cento e vinte e seis amostras da BD.	266
VI.46	Plasticidade das amostras contempladas no SIGEO-ALMADA para o Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos.	267
VI.47	Actividade da fracção de argila de acordo com o Índice de Actividade (I _a) de Skempton.	268
VI.48	Distribuição dos valores de ensaios SPT no Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos, em função da profundidade	268
VI.49	Síntese dos resultados de seis ensaios de corte directo, consolidados, sobre amostras do Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos.	269
VI.50	Curvas de compressibilidade obtidas nos sete ensaios edométricos realizados em amostras indeformadas do Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos.	270
VI.51	Carta de susceptibilidade aos movimentos de terrenos para o concelho de Almada, na escala 1:50 000.	275
VI.52	Carta de erosão potencial para o concelho de Almada, na escala 1:50 000.	279
VI.53	Carta de aptidão à construção para o concelho de Almada, na escala 1:50 000.	287

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro		Pág.
I.1	Alguns planos urbanísticos anteriores ao PDM de Almada.	11
I.2	Planos urbanísticos anteriores ao PDM de Almada.	20
II.1	Cartas do domínio das Ciências da Terra referidas em estudos de Planeamento.	23
II.2	Comparação entre cartas geológicas e geotécnicas.	25
II.3	Características dos atributos (VARNES, 1974).	30
II.4	Representação cartográfica de dados das Ciências da Terra	33
II.5	O método da sucessão de unidades litogenéticas utilizado por DAM <i>et al.</i> (1977) para definir as unidades da carta geotécnica de Bruxelas.	43
II.6	Cartas geotécnicas de Amesterdão: estimativa dos benefícios e dos custos inerentes, segundo MULDER (1990, adaptado).	48
II.7	Algumas cartas geotécnicas para o planeamento.	51
II.8	Cartas de factores e auxiliares da carta geotécnica do Porto (OLIVEIRA <i>et al.</i> , 1995).	54
III.1	Natureza da informação que se pode incluir em BD de Geologia de Engenharia	57
III.2	Bases de dados: algumas vantagens e desvantagens.	58
III.3	Algumas vantagens dos SGBD (RUMBAUGH <i>et al.</i> , 1991).	68
III.4	Regras para criar uma estrutura relacional (adaptado de DATE, 1990; RUMBAUGH <i>et al.</i> , 1991).	72
III.5	Algumas formas normais da estrutura relacional (adaptado de DATE, 1990; RUMBAUGH <i>et al.</i> , 1991).	73
III.6	Algumas características de bancos/bases de dados em França nas décadas de 70/80.	75
III.7	Algumas BDR de áreas urbanas dos anos oitenta.	76
III.8	Alguns <i>software</i> utilizados em BDR na década de noventa.	78
III.9	Hipóteses admitidas na BD para controlar a exactidão da descrição da profundidade em perfis verticais.	87
III.10	Principais dados que existem associados a um PERFIL VERTICAL.	88
IV.1	Algumas definições associadas a SIG.	97
IV.2	Sistemas de projecção mais utilizados em bases topográficas para fins de engenharia: relação entre coordenadas em Portugal.	97
IV.3	Comparação entre representações de dados vectorial e matricial em SIG (adaptado de BONHAM-CARTER, 1997; BURROUGH, 1994).	100
IV.4	Alguns elementos geométricos que podem ser utilizados para representar objectos que integram cartas geotécnicas.	105
IV.5	Comparação entre digitalização manual e rasterização.	106
IV.6	Principais operações de aquisição, validação, estruturação e manipulação disponibilizadas em SIG.	108
IV.7	Principais ferramentas de um SIG para análises de dados e modelação (adaptado de BONHAM-CARTER, 1997; HOLDSTOCK, 1998).	110
IV.8	Estruturação da informação gráfica da BD para a cidade de Tunis (KAÂNICHE <i>et al.</i> , 2000).	116
IV.9	Coberturas temáticas definidas por DIONÍSIO (1998).	117
IV.10	Estruturação da informação gráfica de DIONÍSIO (1998) no MGE [®] .	118
IV.11	Principais fontes cartográficas utilizadas.	122
IV.12	Proposta de informação gráfica básica para cartografia geotécnica.	124
V.1	Planos de amostragem - algumas opções (adaptado de FOOKES, 1997)	134
V.2	Intervalos das classes de declives adoptados e algumas características relevantes para uma futura análise geotécnica (adaptado de AGUILLO ALONSO <i>et al.</i> , 1996; MARSH, 1978; TURNER & COFMAN, 1973).	153

Quadro		Pág.
V.3	Unidades litostratigráficas da zona emersa do concelho de Almada (adaptado de ANTUNES <i>et al.</i> , 2000).	161
V.4	Listagem das litologias definidas no concelho de Almada.	162
V.5	Distribuição dos principais sismos históricos e instrumentais para o concelho de Almada em função dos domínios sismogénicos e algumas características desses eventos (INMG, 1947/96; JORGE & COELHO, 1998; NGDC/NESDIS, 1999; OLIVEIRA <i>et al.</i> , 1992; PAULA & OLIVEIRA, 1997a,b; PAIS <i>et al.</i> , 1996; SENOS <i>et al.</i> , 1994; RODRIGUES, 1998).	186
VI.1	Listagem das unidades geotécnicas definidas no concelho de Almada.	206
VI.2	Unidades geotécnicas do concelho de Almada - Quadro resumo.	211
VI.3	Valores estatísticos de algumas propriedades físicas e mecânicas das rochas do Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos.	255
VI.4	Resultados de quatro ensaios de compressibilidade (valores estatísticos) da BD obtidos em solos do Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados.	262
VI.5	Valores estatísticos de algumas propriedades físicas das rochas incluídas no Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados.	263
VI.6	Aptidão para a construção das unidades geotécnicas no concelho de Almada.	283

I. INTRODUÇÃO

"Land is after all but the surface expression of underlying geology"

LEGGETT, 1987

1. OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação insere-se no âmbito de uma linha de investigação sobre "Cartografia Geotécnica Assistida por Computador" em curso desde 1988 na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL). A abordagem do tema surge por sugestão do Professor J. A. Rodrigues Carvalho, aquando do ingresso da autora, na qualidade de Assistente estagiária, naquela Faculdade. Numa primeira fase, então iniciada e no contexto da elaboração de uma tese de Mestrado em Geologia de Engenharia, efectuou-se uma recolha bibliográfica preliminar subordinada à temática da cartografia geotécnica, tendo-se recorrido ao programa Dbase IV® para elaboração de um ficheiro de sondagens e ao *software* AutoCAD® para armazenamento de diversas cartas de factores e ulterior traçado de uma carta de zonamento geotécnico para fins múltiplos. A área abrangida pelo estudo foi a dos taludes marginais do Tejo, fronteiras a Lisboa, entre Cacilhas e Portinho da Costa (SILVA, 1990).

O trabalho que agora se apresenta, pretende realçar o contributo que a cartografia geotécnica constitui, na perspectiva de um planeamento cientificamente voltado para a melhoria da qualidade de vida das populações e da preservação do ambiente, minimizando os custos socioeconómicos e ambientais inerentes ao desenvolvimento. Simultaneamente, procura ser uma contribuição para a evolução dos conhecimentos sobre o desenvolvimento e exploração de bases de dados (BD) no domínio da Geologia e Geotecnia em Portugal, bem como para incentivar a utilização de sistemas de informação geográfica (SIG) na elaboração de cartografia geotécnica.

A vertente de aplicação territorial do trabalho desenvolvido recaiu sobre a área do concelho de Almada. Trata-se de uma região sujeita a forte pressão demográfica, e localizada numa zona particularmente sensível do ponto de vista ambiental - a orla litoral, com o respectivo Plano Director Municipal (PDM) já aprovado, mas onde não se tiveram em devida conta as características geológicas e geotécnicas dos terrenos. O Município de Almada desenvolveu um SIG, designado por Sistema de Informação do Município de Almada (SIGMA), que tem por base uma cartografia de referência em formato digital, à escala 1:1 000, aspecto que constituiu uma mais valia como ponto de partida para o presente trabalho.

Os principais resultados práticos perseguidos foram o desenvolvimento de um projecto de cartografia geotécnica em formato digital com vista à sua utilização futura na avaliação das estratégias de planeamento daquele Município recorrendo a uma nova tecnologia - os SIG.

O presente trabalho integra um conjunto de BD que efectuam a ligação entre a informação geométrica das cartas e os seus atributos alfanuméricos, de índole geológica e geotécnica. Tal permite pesquisar informação digital no que se refere a litologia, tectónica, propriedades geotécnicas e pontos de informação (sondagens, furos de captação, poços, valas e/ou trincheiras) e complementá-la e actualizá-la a partir de nova informação que for sendo obtida. Para além disso, tentou deixar-se já definida uma ligação a uma outra BD, que eventualmente possa vir a ser desenvolvida, sobre as características das captações subterrâneas no concelho e da qualidade da água captada. Procurou-se, assim, que o sistema de informação concebido, designado SIGEO-ALMADA, complemente o SIGMA com informação especializada das Ciências da Terra.

Os resultados deste estudo poderão contribuir para:

- promover a utilização de bases de dados alfanuméricas e gráficas georreferenciadas no domínio da Geologia de Engenharia, através de uma metodologia aqui aplicada e que poderá ser ulteriormente utilizada, a nível nacional, para fins idênticos;
- incentivar o recurso a tecnologia computacional no processamento daqueles dados, para a elaboração e a apresentação rápidas de cartografia temática diversa, nomeadamente de índole geotécnica e, simultaneamente, facilitar a actualização e a pormenorização futuras de informação sobre o meio físico;
- melhorar o conhecimento básico do meio físico indispensável ao ordenamento do território no concelho de Almada, através da identificação e caracterização geotécnica dos materiais e dos potenciais fenómenos geológicos perigosos ali existentes;
- demonstrar a utilidade pública dos trabalhos de investigação na especialidade em que o estudo se insere e difundir as vantagens sociais, económicas e ambientais dos estudos geotécnicos na gestão urbana e da qualidade do ambiente;
- difundir, junto dos técnicos e decisores ligados ao planeamento, as potencialidades e, sobretudo, a importância da cartografia geotécnica e do seu desenvolvimento apoiado nos modernos SIG, como auxiliares preciosos quanto ao conhecimento da aptidão dos terrenos para determinada finalidade ou intervenção, e para a preparação de futuros planos municipais;
- encorajar o desenvolvimento de outros projectos de investigação neste domínio.

Inicia-se esta dissertação - capítulo I - com uma discussão sobre a problemática actual do planeamento da ocupação humana do meio natural e refere-se a contribuição importante que a cartografia geotécnica pode dar para garantir um desenvolvimento sustentado e inverter a actual situação de planear à revelia do conhecimento de características do território tão importantes como são as geotécnicas.

Segue-se um capítulo onde se tecem algumas considerações sobre o âmbito e história da cartografia geotécnica e os principais métodos e técnicas utilizados na sua elaboração, com incidência na aplicação de métodos computacionais.

Os terceiro e quarto capítulos referem-se, respectivamente, à elaboração de bases de dados alfanuméricos e gráficos e à sua aplicação no domínio da cartografia geotécnica. Ambos se iniciam por uma breve síntese dos conhecimentos naquelas áreas, seguida de uma resenha histórica que inclui exemplos de aplicação nas Ciências da Terra e, em especial, na cartografia geotécnica. Referem-se, também, os custos associados a este tipo de trabalhos e apresentam-se, ainda, esquemas de bases para informação não espacial (alfanumérica) e espacial, a explorar e desenvolver no domínio da Geologia de Engenharia aplicada ao planeamento urbano e com base nos quais se poderão obter cartas geotécnicas recorrendo a SIG.

No quinto capítulo, as bases definidas nos dois capítulos anteriores são aplicadas a um caso concreto - o concelho de Almada. Para o efeito foi necessário desenvolver trabalhos de diferentes tipos que serão descritos em pormenor e que englobaram:

- recolha bibliográfica de índole geológica e geotécnica para a região a estudar;
- levantamento de campo (cartografia litológica e tectónica, escala 1:5 000) e recolha de cerca de duas centenas de amostras indeformadas e remexidas de solos e de blocos de rocha, para submeter a ensaios de laboratório;
- ensaios de laboratório no domínio da Geologia e Geotecnia;
- elaboração das “cartas base”, com resolução da escala 1:5 000, considerando os seguintes factores:
 - declives (a partir de um modelo digital de terreno),
 - litologia e tectónica,
 - movimentos de terrenos e de fenómenos de erosão,
 - e pontos de informação geotécnica e hidrogeológica;
- carregamento e validação dos atributos alfanuméricos e gráficos para os factores considerados num sistema de informação geográfica.

No sexto e penúltimo capítulo descrevem-se as diferentes cartas **derivadas** (unidades geotécnicas, susceptibilidade aos movimentos de terrenos e de erosão potencial) e de **síntese** (aptidão à construção) que integram o SIGEO-ALMADA em resultado da exploração deste sistema no domínio da cartografia geotécnica.

Finalmente, sintetizam-se as conclusões resultantes do estudo e apontam-se algumas perspectivas de trabalhos futuros, para prosseguimento e aprofundamento da matéria aqui tratada.

2. SOBRE O TEMA E SUA IMPORTÂNCIA

A Terra atingiu os 6 mil milhões de habitantes em finais de 1999 (POPULATION ACTION INTERNATIONAL, 1999) e de acordo com projecções do *Bureau of Census* dos Estados Unidos da América (EUA), a população irá aumentar até 8 mil milhões nos próximos 25 anos (McDEVITT, 1998).

Procurando melhores condições de vida, o Homem persiste em migrar maciçamente para as áreas urbanas, a maioria das quais tende a concentrar-se em regiões costeiras, já mais sensíveis, *per si*, à intervenção antrópica. Continua a engrossar o crescimento populacional nas cidades e grandes metrópoles e, contrariamente, o despovoamento das zonas rurais e/ou interiores, gerando grandes concentrações e cada vez maiores pressões de ocupação em áreas restritas da crosta.

As estimativas da Organização das Nações Unidas indicam que a partir do ano 2 000, mais de 50% das pessoas habitarão em cidades e que existirão 21 megacidades no mundo, isto é, centros populacionais com mais de 10 milhões de habitantes, a maioria dos quais nos países em vias de desenvolvimento, como é o caso de Jacarta, Nova Deli, Bombaim ou Calcutá, entre outras (McCALL *et al.*, 1996; McDEVITT, *op. cit.*). Estima-se que, nas regiões industrializadas, cada homem movimente cerca de 20 toneladas de materiais geológicos por ano; no início deste novo século, o volume de material movimentado pela população mundial seria da ordem de 20 mil milhões de toneladas por ano; isto é, um volume idêntico ao de crosta oceânica que é produzido anualmente nas cristas médias (MULDER *in* McCALL *et al.*, 1996).

A crosta terrestre constitui a epiderme da Terra e serve de base à paisagem que abriga e sustenta a vida biológica e a produção florestal e agrícola; é reservatório e filtro do abastecimento de água e fonte de minerais, bem como fundação de zonas residenciais, industriais e das mais diversas infra-estruturas. Desenvolvimento é sinónimo de necessidade de mais recursos naturais e maior pressão sobre o ambiente, sendo imprescindível o uso prudente daqueles, garantindo que são utilizados de maneira eficiente, minimizando os resíduos e deixando para as gerações vindouras os meios suficientes para uma vida de nível pelo menos tão elevado quanto o actual, o que não tem vindo a acontecer. É o caso, por exemplo, da Silésia, Polónia, onde o lançamento indiscriminado de resíduos tóxicos no terreno contaminou o solo e a água de tal maneira que ulteriormente, naquela região, 10% dos recém-nascidos apresentaram diversas malformações (LINDEN, 1993).

As situações de má gestão ambiental que existem um pouco por todo o mundo terão que ser invertidas com a maior brevidade devendo caminhar-se, efectiva e aceleradamente, de encontro às recomendações da "Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento", também designada de "Conferência da Terra", promovida no Rio de Janeiro, em 1992. Embebido no conceito de desenvolvimento sustentado defendido nesta Conferência está o da mútua dependência entre a sociedade e o ambiente natural. Assim,

as actividades de planeamento, projecto e construção interferem com o meio natural e não lhe podem ser simplesmente justapostas sem considerar todos os possíveis impactes, isolados ou acumulados, a curto ou a longo prazo. As preocupações levantadas pela Conferência da Terra viriam a ser retomadas em 2002, na Cimeira Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas realizada em Joanesburgo.

O planeamento do uso do solo procura resolver o conflito entre a necessidade do homem em utilizar o terreno para construir habitações, indústrias e infra-estruturas, para extrair minerais e depositar resíduos, por um lado, e a exigência em proteger o ambiente, por outro. Ao longo do tempo, tem-se modificado o balanço observado entre as vantagens e as desvantagens de formas particulares de desenvolvimento e os técnicos de planeamento têm, frequentemente, que avaliar os benefícios e custos de tais actividades.

Consoante a situação, verifica-se que os aspectos económicos e socioculturais e, na maioria dos casos, alguns dos ambientais (ar, água, etc.) são globalmente considerados, com maior ou menor ênfase, mas o mesmo não se verifica com os terrenos, que possuem determinadas características físicas e mecânicas, estão sujeitos a diversos processos geodinâmicos ou constituem, eles mesmos, recursos. Contudo, sempre que estes factores e processos sejam devidamente estudados, podem ser controlados e o impacte da intervenção no meio geológico minimizado, evitando-se ainda potenciais perigos naturais, a esterilização ou esgotamento de recursos geológicos ou custos adicionais na construção.

Os fundamentos para um desenvolvimento sustentado já tinham sido introduzidos por FLAWN (1967 *in* HILPMAN, STEWART *et al.*, 1968) e MCHARG (1971) há três décadas, ao salientarem a necessidade de considerar todas as componentes do meio natural, isto é, biológicas e físicas, que influenciam a ocupação racional do solo, tais como as geológicas e geotécnicas, a fim de avaliar as reais aptidões naturais dos terrenos. O arquitecto paisagista I. MCHARG (*ib.*) que lançou as bases do planeamento biofísico, preconizou a execução de cartas em superfícies transparentes, que permitissem a sua sobreposição, para avaliar o efeito combinado no planeamento das “condicionantes fisiográficas”, isto é, dos declives, da drenagem e dos solos e substrato rochoso. Designou, então, este

procedimento de “projectar com a natureza” (*design with nature*). No entanto, para que tal se verifique, é necessário entender a natureza no seu todo e não pode continuar a ser menosprezado o contributo dos especialistas nas Ciências da Terra, como acontece, infelizmente, em Portugal. Embora a informação sobre o meio geológico, às vezes designado por geoambiente, possa não ser sempre decisiva para a selecção final do uso do solo, ela contribuirá certamente para fundamentar objectivamente as decisões finais, garantindo uma economia e segurança adicionais.

Os poucos países, essencialmente os mais desenvolvidos, que em todo o mundo têm atribuído o devido valor à informação de índole geológica e geotécnica no processo de planeamento, correspondem geralmente àqueles onde, no passado, se construíram novas áreas urbanizadas ou se registou um rápido crescimento demográfico que provocou situações de conflito com o meio geológico e conduziu à valorização dessas situações. Tal surgiu devido à ocupação de terrenos de características geotécnicas desfavoráveis que levantaram problemas de estabilidade (zonas propícias a movimentos de terrenos catastróficos, assentamentos exagerados ou fenómenos de liquefacção), zonas de sismicidade elevada, de elevadas taxas de erosão, etc.. Nos restantes países, tem-se vindo a assistir lentamente, a partir da última década do século XX, à redescoberta da contribuição das Ciências da Terra para o desenvolvimento harmonioso do meio urbano e suburbano (entre outros, ZUQUETTE *et al.*, 1993; RAU, 1994; MULDER, 1994; BARROSO & BARROSO, 1996; VAN ROOY, 1996; MULDER *et al.*, 1997; AKHTAR, 1998).

ROBINSON e SPIECKER (1978) foram editores de um trabalho do *United States Geological Survey* (USGS) que constitui, ainda hoje, um documento de divulgação excepcional, da importância dos conhecimentos das Ciências da Terra no planeamento e ordenamento de áreas urbanas e suburbanas. Para título do trabalho, utilizaram parte de uma sugestiva citação atribuída a Francis Bacon, do século XVI: “*Nature to be commanded... (must be obeyed!)*”. Incluíram um conjunto de cartas temáticas, coloridas, ilustrativas de diversas informações da Geologia de Engenharia úteis para o ordenamento de regiões (*quadrangle*), municípios ou urbanizações nos EUA. Ulteriormente, instituições geológicas de outros países tentaram efectuar acções de sensibilização semelhantes, realizando conferências ou seminários abertos a entidades com poder decisório na área do ordenamento e planeamento, como foi o caso do Reino Unido (CULSHAW *et al.*, 1987), Países Baixos (NOSSIN & VAN ZUIDAM, 1993) e Bangladesh (AKHTAR, 1998), entre outros.

Um meio eficaz de transmitir a informação das Ciências da Terra e que integra frequentemente os estudos de planeamento é, sem dúvida, a utilização de mapas associados a perfis e/ou diagramas. Uma outra forma de apresentação é a organização de bases de dados devidamente actualizadas, para utilização pela equipa de planeamento, e por outros técnicos em tarefas mais específicas.

A Geologia de Engenharia, em particular, tem vindo a desempenhar um papel cada vez mais importante no planeamento de áreas urbanas e suburbanas, contribuindo com uma

cartografia específica que representa a informação obtida nos estudos geológicos e geotécnicos. Esta informação é preparada de modo a ser entendida não só pelos especialistas na matéria, mas também pelos potenciais utilizadores, os técnicos de planeamento e os políticos, entre outros, que muitas vezes não possuem nenhum (ou quase nenhum) conhecimento de Geologia, nem sensibilidade para apreciar o comportamento mecânico de solos e rochas. Por outro lado, evidencia as informações necessárias à compreensão dos aspectos geológicos e geotécnicos do ambiente de uma dada região ou área mais restrita (planeamento civil ou mineiro), ou de um determinado local para uma obra de engenharia específica. Por último, facilita a previsão de quaisquer mudanças no meio geológico por forma a propor eventuais medidas preventivas ou de correcção.

O que foi enunciado não são mais do que os fundamentos que, de acordo com os princípios gerais definidos no guia da UNESCO/IAEG (1976), devem orientar a elaboração de uma **carta geotécnica** para apoio ao planeamento.

A pesquisa, armazenamento e análise de dados de natureza geológica e geotécnica, tem vindo a atingir um desenvolvimento elevado com o recurso progressivo a computadores, especialmente no que respeita a áreas urbanas, onde o volume de informação disponível é grande, e em contínuo crescimento. Em 1975, o Departamento de Engenharia da cidade de Joanesburgo, na África do Sul, lançou um estudo piloto que culminou na realização de um banco de dados de registos de sondagens daquela cidade (DE BEER, 1986 *in* LEGGET, 1987). À semelhança desta, muitas outras cidades na Europa (Paris, *Rouen*, Madrid, Barcelona, Bruxelas, Amesterdão, etc.) e no resto do mundo, promoveram a realização de bases de dados de índole geológica e geotécnica.

Contudo, o armazenamento dos dados alfanuméricos em bases de dados não é suficiente para auxiliar os técnicos de planeamento, por muito bem que estas estejam concebidas: a informação não está frequentemente disponibilizada sob a forma gráfica e nem sempre é fácil a sua visualização e interpretação. O ideal é cruzar a informação a duas dimensões contida numa carta com a da base de dados, isto é, associar a informação alfanumérica dos registos com a gráfica. Actualmente, é comercializado diverso *software* que possibilita aquelas operações de uma maneira mais ou menos concertada, mas talvez nenhum constitua um auxiliar tão precioso como os SIG.

Os SIG constituem ferramentas especialmente vocacionadas para o armazenamento e auxílio à elaboração de cartografia, *senso lato* (HENRIQUES, 1994; WORBOYS, 1995). Existem inúmeros exemplos de aplicação de SIG na elaboração de cartas geotécnicas viradas para a análise de perigos geológicos (entre outros, BENTLEY *et al.*, 1990; VAN WASTEN *et al.*, 1994; CARRARA *et al.*, 1995; JALALI & JAFARI, 1996); contudo, estão a dar-se ainda os primeiros passos na aplicação ao ordenamento do território (OLIVEIRA *et al.*, 1995; MULDER *et al.*, 1997; DIONÍSIO, 1998; KÂANICHE *et al.*, 2000; CAVALEIRO, 2001). Estes sistemas têm a particularidade de permitirem trabalhar com informação de natureza

multidisciplinar, revelando-se uma ferramenta de eleição para os que lidam com o planeamento, o ordenamento ou a gestão de recursos e do ambiente.

3. PLANEAMENTO E MEIO GEOLÓGICO EM PORTUGAL

O meio geológico, para além de condicionar as actividades antrópicas, é explorado e alterado pelo Homem. Considere-se o caso de Portugal. Embora tenha sido referido pela primeira vez em 1977, o planeamento municipal só foi regulamentado pelo decreto-lei (D.L.) n.º 208/82 de 26 de Maio, que atribuiu à Administração Local a responsabilidade de combinar a definição de objectivos de desenvolvimento económico e social e planificação da ocupação do solo através de Planos Directores Municipais (PDM). Devido às críticas suscitadas pelo conteúdo daquele decreto, nos oito anos subsequentes à sua promulgação apenas se verificou a ratificação de dois PDM's das centenas a elaborar para o país (PARTIDÁRIO, 1992). Os PDM's são constituídos por um conjunto de mapas, acompanhados de um regulamento, com valor jurídico uma vez ratificado, onde se especificam os objectivos a atingir para o concelho a que respeitam, e a maneira de o conseguir.

Quando o planeamento regional foi criado, em 1983, através dos Planos Regionais de Ordenamento do Território (PROT), e de outros dois planos, essencialmente económicos - o Plano Integrado para o Desenvolvimento Regional (PID), e o programa de desenvolvimento integrado - separava-se o planeamento físico dos objectivos socioeconómicos e culturais, o que só veio a ser corrigido em 1988, através do D.L. n.º 176-A/88 de 18 de Maio. Foi em consequência desta regulamentação que se efectuaram o PROTAL, isto é, o PROT para a região do Algarve onde predomina, essencialmente, uma perspectiva de desenvolvimento económico no ordenamento (MENDES, 1991), bem como a primeira parte do estudo relativo ao PID para o distrito de Setúbal, cujo segundo volume incluía uma caracterização do meio biofísico (HIDROTÉCNICA PORTUGUESA, 1989). Este último estudo englobou, para além de uma breve descrição de aspectos morfológicos e geológicos daquele distrito, uma inventariação das explorações de recursos minerais activas, abandonadas ou com lavra suspensa, e uma breve síntese hidrogeológica; todos os respectivos documentos cartográficos foram elaborados na escala 1:500 000 e são, portanto, simples. Actualmente, os PROT's estão regulamentados pelo D.L. n.º 48/98 de 11 de Agosto, complementado pelo D.L. n.º 380/99 de 22 de Setembro, que redefiniram a Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e Urbanismo.

A Lei de Bases do Ambiente (D.L. n.º 11/87 de 7 de Abril) estabelece as bases da política do ambiente em cumprimento do disposto nos artigos 9º e 66º da Constituição da República. Em 1990, surgiu a nova regulamentação sobre os Planos Municipais de Ordenamento do Território - PMOT (D.L. n.º 69/90 de 2 de Março), onde o ambiente emerge como um factor restritivo em vez de uma fonte de recursos; ulteriormente, aquela legislação foi complementada pelo D.L. n.º 211/92 de 8 de Outubro. Em Março de 1990

foram publicados mais dois decretos com reflexo no meio geológico: um, o D.L. n.º 90/90 de 16 de Março, fixa as normas para identificar e salvaguardar eventuais georrecurso durante o processo de ordenamento e gestão do território, ainda que o seu aproveitamento não aconteça a curto/médio prazo; outro, refere-se à redefinição da Reserva Ecológica Nacional (REN), inicialmente estabelecida no D.L. 321/88 de 5 de Julho e substituído pelo D.L. n.º 93/90 de 19 de Março, ulteriormente alterado por D.L. n.º 213/92 de 12 de Outubro, e que visa racionalizar a exploração dos recursos do território de modo a não pôr em causa o equilíbrio ecológico e os valores económicos, sociais e culturais (Quadro I.1).

Quadro I.1 - Alguma legislação portuguesa e as implicações do meio geológico no planeamento.

D.L. n.º	Designação	Implicações do meio geológico
11/87	<i>Bases do Ambiente</i>	Artigo 5º - definição dos conceitos de ambiente, ordenamento do território, paisagem, " <i>continuum naturale</i> ", qualidade do ambiente e conservação da Natureza. Artigo 27º - RAN e REN como instrumentos fundamentais da política do ambiente, bem como o ordenamento integrado a nível regional e local e os respectivos planos regionais, municipais e outros instrumentos de intervenção urbanística; os estudos de avaliação de impacte ambiental e a cartografia do ambiente e do território.
93/90 e 213/92	<i>REN (Reserva Ecológica Nacional)</i>	Artigo 2º e Anexos I, II e III - integra as seguintes zonas (a demarcar na escala 1/25.000): - áreas litorais, - águas interiores (leitos de cursos de água, áreas inundáveis, lagoas e albufeiras, cabeceiras de linhas de água e áreas de infiltração máxima), - zonas declivosas (sujeitas a perigos de erosão; escarpas ou abruptos de erosão). Artigo 4º - nas áreas da REN está proibida a ocupação do solo, salvo algumas excepções.
196/89 e 274/92	<i>RAN (Reserva Agrícola Nacional)</i>	Artigos 25º e 27º - para além de áreas com solos de capacidade de uso A e B, integram a RAN os solos de baixas aluvionares ou coluviais.

Mais recentemente, foi aprovado o Plano Nacional de Política de Ambiente (MARN, 1995). Na sua sequência surgiu também o Plano Municipal de Ambiente, também designado de Plano de Acção para o Ambiente ou Agenda Local do Ambiente, que no seu conteúdo contempla dois níveis de acção: por um lado, a curto prazo, através do plano operacional, e por outro a longo prazo, para o novo milénio, no âmbito de um plano estratégico (ROSETA, 1995; FARINHA *et al.*, 1998). Em PARTIDÁRIO (1999) é possível complementar a análise atrás apresentada sobre legislação aplicada ao ordenamento e planeamento do território.

Ainda que a maioria dos PMOT's portugueses incluam um esboço geológico do concelho, o facto é que a informação de índole geológica e, raramente geotécnica, é geralmente apenas referida ou referenciada, mas não é efectivamente considerada na elaboração das estratégias de planeamento. Na maioria esmagadora dos casos, não integram informação adequada sobre as características geológicas e geotécnicas dos terrenos, bem como análises da ocorrência de fenómenos geológicos eventualmente perigosos; a inventariação dos recursos geológicos, quando abordada, corresponde geralmente a um levantamento de explorações conhecidas na área, independentemente da sua fase de actividade. Aquela informação continua a ser menosprezada na definição, por exemplo, das áreas a incluir na

REN, não sendo raros os casos em que se verifica que zonas definidas como de infiltração máxima correspondem, afinal, a aluviões argilosas, de baixa permeabilidade.

Não são raros os casos de previsão de construção de estruturas ou infra-estruturas em áreas com valor para a região como fonte de materiais de construção, inviabilizando a exploração de recursos estrategicamente situados e cujo impacte da exploração seria minimizado, quer por menores distâncias de transporte, quer pelo potencial reaproveitamento final da zona como futura área de desenvolvimento urbano. Por outro lado, continua a promover-se a expansão urbana e suburbana para zonas susceptíveis a perigos geológicos naturais, através da construção em zonas inundáveis ou em cristas ou encostas de taludes instáveis (ZÉZERE, 1988; LAMAS, 1989, 1998; SILVA, 1990; MARQUES, 1997, entre outros).

Na última década, apesar de se ter verificado um acréscimo no número de cartas geotécnicas elaboradas para apoio ao planeamento municipal, em Portugal, na sequência do que ocorreu, há mais tempo, no resto do mundo, os trabalhos realizados surgiram sempre de esforços individuais de especialistas em Geologia de Engenharia (COELHO, 1980; FARRAIA, 1989; LAMAS, 1989; SILVA, 1990; ALMEIDA, 1991; SOBREIRA, 1995; CAVALEIRO, 2001; etc.), que tentaram evidenciar as vantagens deste tipo de cartografia junto da Administração Local.

As novas tecnologias de informação e comunicação vieram fornecer o suporte necessário para a divulgação da aplicação de sistemas de informação georreferenciada aos domínios de planeamento e análise espacial também em Portugal, já no desenrolar da década de noventa, através da criação e desenvolvimento da rede do Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG) em 1995. Esta rede, disponibiliza na Internet um programa, designado de "Apoio à Gestão Informatizada dos Planos Municipais de Ordenamento do Território" (PROGIP), que visa auxiliar a execução daqueles planos e facilitar a aplicação das normas e regras neles estabelecidas, bem como efectuar uma avaliação contínua das acções incidentes no território de cada Município face aos objectivos e às propostas do respectivo plano (CNIG, 1999). Entre as centenas de Municípios e Associações que aderiram ao PROGIP, incluem-se os da Área Metropolitana de Lisboa (AML), designadamente o de Almada. A AML e o Município de Almada possuem domínios de informação geográfica definidos por equipas de trabalho independentes e que estiveram na base do aparecimento do Sistema Metropolitano de Informação Geográfica da AML, SMIG/AML (MACHADO *et al.*, 1997; MOTA *et al.*, 1999) e do SIGMA (BEIRA *et al.*, 1997). À semelhança de outras bases de dados espacialmente referenciados (BDER) em desenvolvimento a nível regional ou municipal, as daqueles dois sistemas carecem de informação válida e actualizada no domínio da Geologia e Geotecnia.

Numa visão abrangente, pode considerar-se que o planeamento contém as regras a que devem obedecer todos os projectos de arquitectura e engenharia a desenvolver num dado território e, como tal, a Geologia e, em particular, a Geologia de Engenharia, devem estar sempre presentes nestes processos de gestão do território.

Infelizmente, verifica-se que os especialistas em Geologia de Engenharia são, ainda com frequência, encarados como causadores de problemas uma vez que, como referem McCALL *et al.* (1996), eles identificam as desvantagens da ocupação de determinadas áreas o que se reflecte, muitas vezes, não só em dificuldades para os que pretendem efectuar ali um determinado empreendimento, como para os próprios donos dos terrenos que vêm as suas propriedades desvalorizadas. As vantagens inerentes à intervenção do especialista que se norteia pelo conhecimento científico das características dos terrenos, são geralmente ignoradas.

As condições geológicas e geotécnicas têm que ser consideradas como factores físicos essenciais a nível do planeamento. E se não o foram numa primeira oportunidade, o mesmo não poderá acontecer no âmbito da segunda geração de PDM's que resultará da revisão dos inicialmente elaborados, em cumprimento da legislação, e que actualmente já está a desenrolar-se. Seria já indesculpável, pelo que significaria de retrógrado e de subdesenvolvimento.

4. CONCELHO DE ALMADA - BREVES NOTAS GEOAMBIENTAIS E HISTÓRICAS

O concelho de Almada (Fig. I.1), uma região ribeirinha da Área Metropolitana de Lisboa, que partilha com a Capital o "Mar da Palha" e o troço terminal do Tejo, com boa acessibilidade tanto por via marítima como terrestre, foi sujeito a uma forte intervenção humana, com especial ênfase a partir de meados do século XIX, que deixou marcas na sua morfologia.

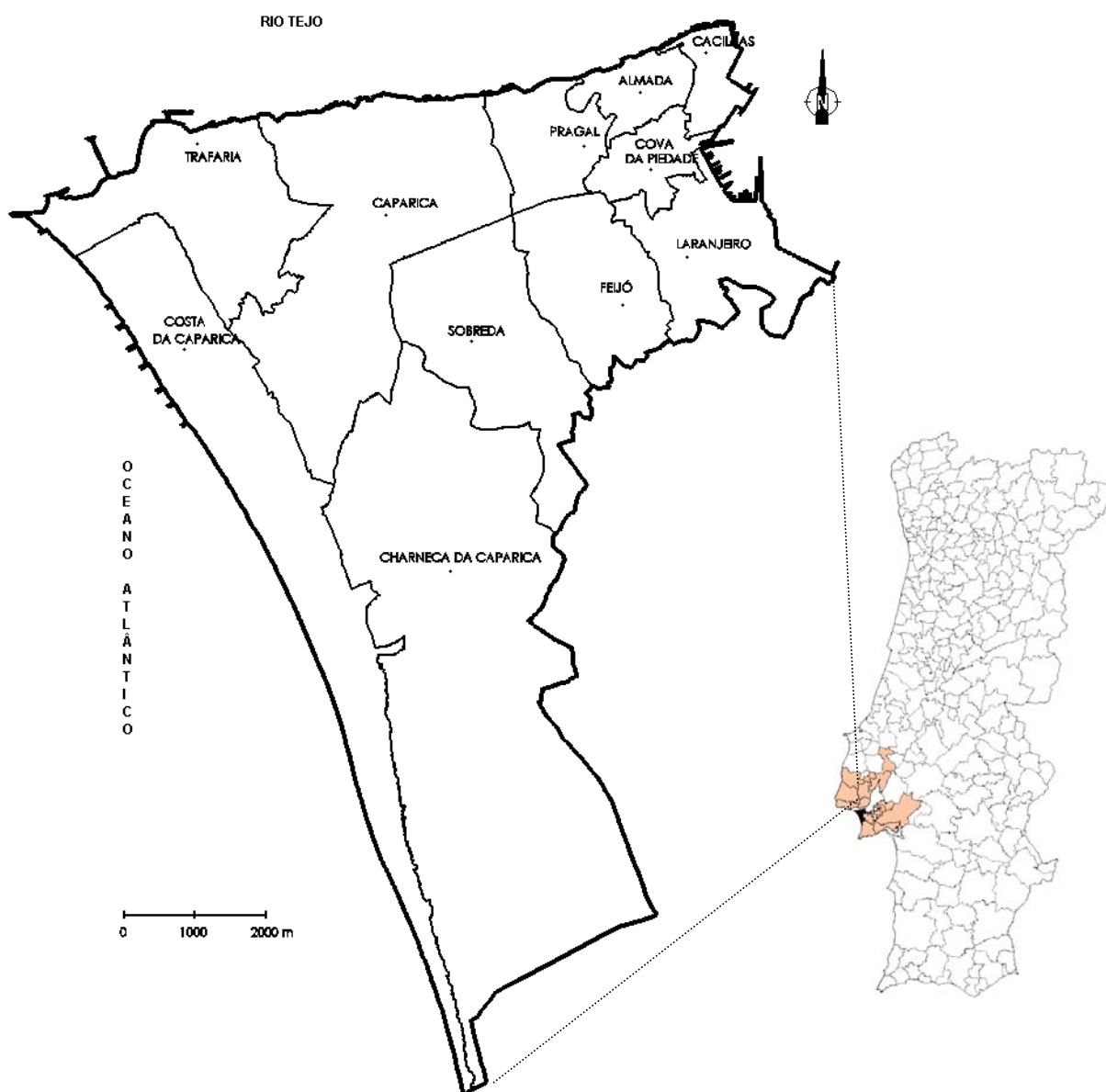


Figura I.1 - O concelho de Almada – localização e divisão administrativa.

O limite natural, setentrional, é constituído pelos denominados "Taludes da Margem Sul do Tejo", que ascendem à cota (124,40) no Alto do Raposo, e são formados por terrenos miocénicos, que se apresentam em costeira. São constituídos por alternâncias de rochas brandas (siltitos, argilitos e calcarenitos) e solos, em regra duros, que se estendem ao longo de 7 300 metros numa direcção aproximadamente ENE-WSW, desde Cacilhas até à vila de Trafaria. Nesta localidade, os afloramentos miocénicos são interrompidos por importante depressão, a Vala da Enxurrada (ou ribeira da Trafaria). A partir daqui, sofrem um recuo de poucas centenas de metros em relação à margem do Tejo e prolongam-se por cerca de um quilómetro segundo nova escarpa com a mesma direcção. Inflectem, então, para sudeste, sob a forma de uma arriba com altitudes em regra superiores à meia

centena de metros – a “Arriba Fóssil da Costa de Caparica”. A sul da Ribeira da Foz do Rego, a arriba passa a ser maioritariamente constituída por assentadas espessas de materiais predominantemente granulares, arenosos e areno-argilosos (com maior ou menor grau de cimentação), ricos em feldspatos e com percentagem variável de seixos e calhaus, plio-quadernários, e que teriam sido depositados por um "pré-Tejo" sob eventual influência marinha, ainda que episódica. Pouco antes do extremo meridional do concelho, a arriba volta a estar em contacto com o mar (zona da Mina de Oiro).

As arribas miocénicas setentrionais prolongavam-se para sudeste ao longo da Margueira e Mutela até à foz da Vala do Caramujo, na Romeira, a norte da Base Naval do Alfeite, e apresentavam no sopé, junto ao rio, praias arenosas, hoje destruídas pelo Homem, mas cujos testemunhos remanescentes ainda se podem observar pontualmente no sopé da costeira virada a Norte. A Ocidente, junto à barra do Tejo, a extensão de areia de praia é engrossada por um cordão dunar que se prolonga para sul e que atingia o sopé da "Arriba Fóssil"; este último encontra-se actualmente destruído junto à base da arriba, na área compreendida entre S. Pedro de Trafaria e a praia do Castelo, pela actividade agrícola e por edificações.

O concelho confronta a sudeste com o do Seixal através de um conjunto de esteiros da Vala de Corroios. Imediatamente a Norte, na baía do Alfeite, o homem conquistou importante área ao “Mar da Palha” quando da instalação do novo Arsenal, no final dos anos 20, onde desmontou uma parte da arriba esculpida em materiais arenosos pliocénicos que se erguia junto ao Rio, a sul do Palácio Real do Alfeite. O volume de material colocado no terraplano foi da ordem de um milhão e oitocentos mil metros cúbicos, tendo cerca de dois terços da sua área sido conquistada ao Tejo (FLORES & POLICARPO, 1998).

A área interior do concelho, maioritariamente constituída por materiais granulares plio-quadernários, apresenta suaves ondulações recortadas por alguns vales amplos, de interflúvios arredondados. Nela, ainda se conseguem descortinar depressões de paredes abruptas, algumas já disfarçadas pelo tempo e/ou ocupadas por edificações, que resultaram da exploração de agregados para a indústria de construção na AML ao longo deste século, com especial incidência a partir das décadas de 50/60.

De acordo com o sistema de Koppen modificado, Almada situa-se numa região de clima mediterrânico (Csa - Verão quente e seco, Inverno ténido e CSb - Verão moderado e seco, Inverno moderado), fortemente influenciado pela proximidade do Atlântico (MCKNIGHT, 1996). Nele podem identificar-se duas zonas com características ligeiramente diferenciadas: uma ao longo do litoral oeste, englobando a Arriba Fóssil da Costa da Caparica e a Aroeira (Csb), e outra que inclui o restante território (Csa). A classificação climática de Thornthwait indica um clima pouco húmido, com um défice de água moderado no Verão (HIDROTÉCNICA PORTUGUESA, 1989). As médias anuais de precipitação são próximas de 700 mm, concentrando-se em cinco ou seis meses (Novembro a Abril), com uma variação inter-anual bastante acentuada; o período seco decorre sempre entre Maio e Setembro; as

temperaturas médias anuais rondam os 16° C - 17° C (ATLAS DO AMBIENTE, 1999). A humidade relativa do ar atinge 77% e o número médio anual de horas com insolação é elevado - em regra, superior a 3000 horas; a parte atlântica é afectada por nevoeiros litorais ou de advecção e a região nascente, em Almada, por significativos nevoeiros de irradiação ou das baixas continentais, em particular durante a noite e manhã, e os ventos predominantes são de noroeste (DAVEAU *et al.*, 1979 *in* CMA, 1992b).

A situação geográfica, a Geologia e as condições climáticas ocorrentes foram propícias à ocupação humana, cujos vestígios remontam à Pré-História, pelo menos desde o final do Neolítico, há aproximadamente cinco mil anos (BARROS & HENRIQUES, 1996b), tendo-se encontrado instrumentos do Homem primitivo na Ponta do Cabedelo, a sul do Convento dos Capuchos (BREUIL & ZBYSZEWSKI, 1945). A ocupação de Almada é já antiga, em particular nas zonas mais altas, relativamente aplanadas, remontando ao tempo dos fenícios (séculos VIII-VII A.C., segundo BARROS & HENRIQUES, 1996a), de acordo com vestígios encontrados em Cacilhas e a nascente do Castelo de Almada, na Quinta de Almaraz, onde se têm desenvolvido escavações arqueológicas. Estes povos teriam aproveitado as condições naturais especiais ali existentes: a faixa ribeirinha abrigada e a banda elevada das ribas, que lhes proporcionavam uma posição defensiva particularmente favorável - boa visibilidade e existência de obstáculos naturais. Na mesma área conhecem-se, ainda, vestígios de ocupação romana e árabe (BARROS & AMARO, 1984; SOUSA, 1985; AMARO, 1990).

Desde os primórdios, o Homem escavou cisternas nos materiais miocénicos (Almada antiga ou Murfacém) e simultaneamente explorou-os para a extracção essencialmente de dois tipos de matérias-primas: materiais silto-argilosos, para a produção de cerâmica e blocos de calcarenito, biocalcarenito e calcário para construção diversa, nomeadamente de fortificações (muralha fenícia de Almaraz) ou de habitações e muros (edificações mais antigas dispersas pelo concelho). Explorou ouro nos depósitos deixados pelo “pré-Tejo” e seus afluentes, em Almada e a sul da Foz do Rego e da Fonte da Telha (ANDRADA e SILVA, 1817; CHOFFAT, 1912/13; CAMPOS, 1957; MONTEIRO, 1970; CARVALHO, 1975; DUARTE, 1995) e escavou várias centenas de metros de minas para extracção de água do maciço miocénico ou aproveitou as muitas nascentes de água que tinham origem em importantes acidentes tectónicos, como é o caso das da Biquinha do Alfeite, Fontes da Pipa (Almada e Costa), Lavadeiras, Romeira ou Fonte da Telha, entre outras (POLICARPO, 1993a; FLORES & CANHÃO, 1994).

Não existe consenso para a origem do topónimo Almada. De acordo com o arabista Prof. David Lopes, “Al Maden”, isto é, “Almada, a mina” ou seja “lugar onde uma coisa se encontra em abundância” (MONTEIRO, 1970; SOUSA, 1985), isto é, o ouro. De acordo com *Edrisi*, geógrafo árabe, seria nas praias junto ao forte de Almada, que se pesquisavam as palhetas que o Rio Tejo arrastava (CARVALHO, 1975).

Almada foi conquistada pelos cristãos em 1147 e, em 1190, D. Sancho I criou o concelho de Almada por meio de foral dado aos moradores do “castelo d’almada” e das “herdades d’almada” (SOUSA, 1985). O documento não menciona qualquer referência à delimitação do concelho e/ou termo (SOUSA, 1985; FLORES, 1996), o qual só surgiu por ordem do Rei D. Dinis, datada de Dezembro de 1297, e incluía os actuais concelhos do Seixal e Almada. Cerca de trezentos anos depois, em 1527, a vila de Almada e o seu termo possuíam cerca de 2214 habitantes. Na época filipina registou-se importante fluxo migratório da Estremadura, Beira, Entre Douro e Minho, Alentejo e Algarve, proliferando na região quintas agrícolas e de veraneio de fidalgos. No final do século XIX, em 1890, o concelho de Almada incluía as freguesias de Santiago e N.^a Sr.^a do Monte de Caparica e tinha cerca de 13 530 habitantes (FLORES, 1996).

A intervenção antrópica veio, desde final do século XIX, alterar as condições naturais de equilíbrio na região. Aquela altura coincidiu com a implantação de indústrias na zona do Caramujo-Mutela, e a execução de importantes obras de drenagem superficial junto à vala do Caramujo. No século seguinte, nos anos vinte, foram criadas duas novas freguesias, Trafaria (1926) e Cova da Piedade (1928). Foi também por esta altura que se iniciou a construção/ampliação de diversos cais de atracação, visando o aproveitamento do leito do Tejo que, ao correr encostado a esta margem, apresenta aqui os seus fundos mais importantes. Em 1948 foi apresentado um Plano Parcial de Urbanização de Almada, onde se esboçou o desenvolvimento do centro da cidade moderna, contemplando a zona do mercado, praça do Tribunal e actual Praça do MFA (RODRIGUES, 1996). Um ano depois nasceu a freguesia da Costa de Caparica.

Enquanto que as populações antigas se instalaram preferencialmente sobre plataformas conformadas por bancadas miocénicas rijas, nomeadamente, no núcleo histórico de Almada, no Pragal, em Pêra, em Costas de Cão ou em Murfacém, verificou-se em finais do século XIX e já no século seguinte, uma expansão da zona habitacional para áreas de fracas características geotécnicas - zonas aluvionares de drenagem deficiente (Cova da Piedade e Charneca da Caparica), zonas do reverso da costeira descomprimidas (Almada e Banática), rebordos de escarpas (Raposeira e Alto dos Capuchos) ou respectivos sopés (Olho de Boi, Banática, Porto Brandão, Santo António de Caparica). Por outro lado, a densificação urbana teve como consequência o induzir e/ou acelerar de fenómenos de instabilidade, tanto nas vertentes de material brando como em certas escarpas rochosas (LAMAS, 1989).

A partir da década de sessenta, registou-se uma explosão significativa nos índices demográficos do concelho (Fig. I.2) com a construção da ponte sobre o Tejo. As terraplenagens entretanto efectuadas interferiram com depósitos de vertente (Porto de Buxos e Palença), criaram aterros marginais que obliteraram praias e linhas de água (caso da Arrábida na base da Praça da Portagem da Ponte 25 de Abril) e aproximaram o rio do sopé de algumas escarpas (Palença de Baixo), ou seja, modificaram-se e aceleraram-se os processos de evolução natural das escarpas do Tejo e da Arriba Fóssil da Costa da Caparica (RODRIGUES-CARVALHO & COSTA, 1986; FREIRE, 1989; RODRIGUES-CARVALHO *et al.*, 1989, 1990 e 1994; LAMAS, 1989; LAMAS & RODRIGUES-CARVALHO, 1994). Taparam-se ou intersectaram-se minas de água, como é o caso da do Pombal em Almada, com a construção de habitações (POLICARPO, 1993b).

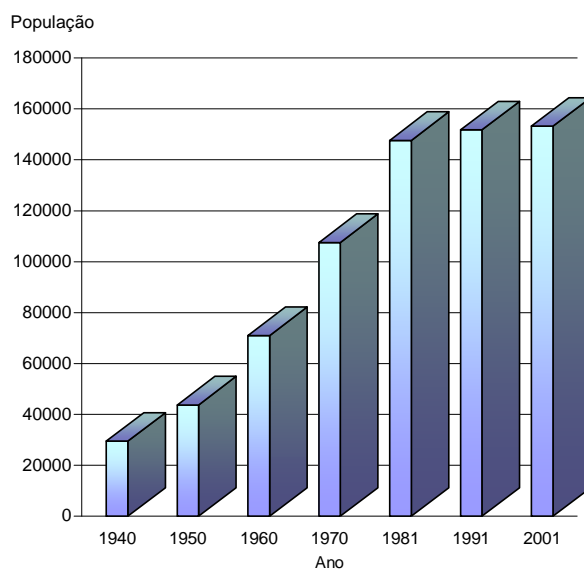


Figura I.2 – Evolução real da população do concelho de Almada (adaptado de CMA, 1991b; INE, *Census*, 2001).

A movimentação de terras que se gerou em consequência do crescimento da população, da extração de agregados e das estruturas e infra-estruturas que entretanto iam surgindo, induziu um conjunto de impactes negativos no meio natural, registando-se significativas alterações morfológicas, das quais, uma das mais notórias, talvez tenha sido a colmatação da linha de água de Vale de Cavala, que corria para o Atlântico ao longo da Descidas das Vacas, frente à Praia do Rei, antes da construção das instalações da NATO e das respectivas infra-estruturas de acesso.

A modificação do transporte sólido do Tejo devido à construção de barragens, dragagens no rio na zona ribeirinha de Lisboa - Algés e a construção de aterros marginais na margem sul, romperam o equilíbrio natural na região entre a Trafaria e a Costa de Caparica o que,

associado a processos climáticos excepcionais, gerou uma alteração na linha de costa naqueles locais (ABECASSIS, 1987; FREIRE, 1989; RODRIGUES-CARVALHO *et al.*, 1994).

Em 16 de Junho de 1973, Almada ascendeu a Cidade por D.L. n.º 308/73. Em 1985, foram criadas as freguesias de Cacilhas, Pragal e Sobreda; e cinco anos depois surgiram as duas últimas das onze que compõem actualmente o concelho: Charneca e Feijó. Entretanto, as freguesias de Santiago e de Santa Maria do Monte passaram a ser conhecidas por Almada e Caparica, respectivamente (FLORES, 1996).

Um outro fenómeno acompanhou a evolução moderna da região: a explosão dos loteamentos clandestinos na década de setenta, princípio da década de oitenta, e que terá sido em grande parte condicionada pelas praias da costa atlântica do concelho, mas também devido à melhoria do acesso a Lisboa, com a actual Ponte 25 de Abril. Em consequência, geraram-se áreas urbanas de génese ilegal que acarretaram, entre outros, a ocupação desregulada de zonas dunares na Costa da Caparica e Fonte da Telha, dos rebordos de escarpas em S. Pedro de Trafaria ou no Poço Novo, bem como de zonas de cabeceira de linhas de água e depressões, aluvionares ou de antigas zonas de extracção abandonadas, na freguesia da Charneca da Caparica.

Foi neste contexto que se iniciou a execução do PDM do concelho com a nomeação da equipa que o iria desenvolver, em 1987. Foi considerado como um dos objectivos iniciais do PDM, tal como aprovado pela Assembleia Municipal em 1989, a formulação de um plano de ocupação do solo que integrasse os planos prévios que existiam para a região a uma escala mais pequena (CMA, 1991a). Entre 1978 e 1986 foram elaborados planos urbanísticos para cerca de 10% do território de Almada, se bem que com metodologias e conceitos urbanísticos diferenciados (Quadro I.2); nessa altura, e a fim de apoiar o Plano Integrado de Almada (Monte de Caparica), realizado pelo então Fundo de Fomento para a Habitação, foi efectuado um estudo geológico e geotécnico, que esteve a cargo do LNEC (1973).

O PDM baseou-se num acervo significativo de informação (CMA, 1991a,b; 1992a), cuja quantidade não facilitou ou acelerou a tomada de decisões. No início da década de 90, iniciou-se a concepção do SIGMA (BEIRA *et al.*, 1997).

Concluído e aprovado pela Assembleia Municipal em 1993, o PDM viria ulteriormente a ser aprovado pelo Conselho de Ministros apenas em 1997 (Resolução n.º 5/97 de 14 de Janeiro). Na sua sequência, vários loteamentos, equipamentos e infra-estruturas nasceram ou estão em vias de surgir no concelho, introduzindo novas alterações no meio geológico. No final de 1998 e início do ano seguinte, a faixa atlântica do concelho foi abrangida pela elaboração dos Estudos de Base do “Plano de Ordenamento da Orla Costeira entre Sintra e Sado”, que incluiu um esboço litológico da área na escala 1:25 000 (PLURAL *et al.*, 1999).

Quadro I.2 - Planos urbanísticos anteriores ao PDM de Almada.

Plano	Designação	Data
P.I.A.	<i>Plano Integrado de Almada</i>	Maio 1973
P.G.A.	<i>Plano Geral de Almada</i>	Fevereiro 1979
P.G.D.	<i>Plano Geral de Urbanização da Trafaria – Vila Nova – Costa da Caparica</i>	1979
P.G.B.	<i>Plano Parcial do Feijó - Corroios</i>	Outubro 1981
P.G.C.	<i>Plano Parcial do Monte de Caparica</i>	Julho 1981
P.G.E.	<i>Plano Geral de Urbanização da Sobreira, Vale Figueira e Vale Flores</i>	Setembro 1983
P.G.F.	<i>Plano Geral de Urbanização de Vale Fetal e Vale Rosal</i>	Setembro 1983
P.G.H.	<i>Plano Geral de Urbanização das Quintinhas – Aroeira</i>	Setembro 1983
P.G.K.	<i>Plano Geral de Urbanização da Foz do Rego</i>	Agosto 1984
P.G.D.1	<i>Revisão Parcial do Plano Geral de Urbanização da Trafaria – Sector C</i>	Maio 1985
P.G.J.	<i>Plano Geral de Urbanização de Vale Mourelas – Funchalinho</i>	Julho 1986

Merecem ainda referência a exploração do eixo ferroviário Norte-Sul, na Ponte 25 de Abril, em 1999, que implicou nova movimentação importante de terras: só na zona da estação do Pragal foram escavados cerca de meio milhão de metros cúbicos de terrenos (ROTH, 1999, informação oral). Mais recentemente, a implantação do Almada Forum, na zona da Quinta de Espadeiros, imediatamente a sudoeste do nó de Almada da auto-estrada A2, veio gerar novas escavações e aterros em que o volume de terras movimentadas foi também da ordem do anteriormente referido (CEL, 1998).

II. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

1. CARTAS GEOTÉCNICAS

Um mapa é uma representação gráfica, em regra bidimensional, da distribuição espacial de entidades seleccionadas que existem à superfície/subsuperfície da Terra, apresentada em formato analógico ou digital.

O Quadro II.1 enumera vários tipos de cartas citados por diversos autores como potenciais fontes de informação derivadas das Ciências da Terra para estudos de planeamento.

Quadro II.1 - Cartas do domínio das Ciências da Terra referidas em estudos de Planeamento.

Tipo de Carta	Terminologia anglo - saxónica e/ou francófona
Geológica	<i>Geological map, carte géologique.</i>
Geotécnica	<i>Engineering geological map; applied earth science map; carte géotechnique.</i>
“Geoambiental” Geocientífica	<i>Environmental geology map; carte géologique de l’environnement. Geoscientific map; geoscience map.</i>
Ambiental (atlas; ecoregiões)	<i>Environmental atlas; Ecoregions map.</i>

Consideremos o caso das **cartas geológicas**. Trata-se de um tipo de cartografia complexo, que utiliza terminologia muito específica, especialmente vocacionada para especialistas em Geociências e que apresenta graficamente o resultado das observações e das interpretações geológicas num plano horizontal, geralmente projectado sobre uma base topográfica (MARJORIBANKS, 1997). São cartas executadas há milhares de anos, como atesta o célebre “*Turin Papyrus*” elaborado no reinado do Faraó Ramsés IV, cerca de 1150 A.C., que retrata uma zona no Egipto, a leste do Rio Nilo, indicando a disponibilidade e localização de minério (ouro) e de uma rocha ornamental acinzentada, com importante valor económico na sociedade de então (VOÛTE, 1993).

Este tipo de mapa, para além de representar um conjunto de objectos com determinadas características geológicas, localiza-os no espaço e tempo e simboliza-os, tentando ainda mostrar o que não se vê (a maior profundidade), através da interpretação das estruturas geológicas. Frequentemente, efectua ou contém extrapolações para áreas que não se observaram directamente, com base em conhecimentos adquiridos pelo(s) especialista(s) noutras zonas. Quando um mapa é concluído, representa uma interpretação geológica, num determinado momento. Regiões adjacentes, ainda que

cartografadas por um mesmo geólogo, mas separadas no tempo, podem ser incompatíveis, porque entretanto se desenvolveram novos conceitos que afectaram a interpretação (HAUGERUD, 1998).

Algumas cartas geológicas foram apresentadas no âmbito de alguns PDM, em Portugal, vulgarmente na escala de 1:25 000 ou mais pequena; frequentemente acontece ainda que essas cartas são obtidas por simples ampliação de outras existentes. Contudo, o principal obstáculo para que sejam normalmente utilizadas por técnicos de planeamento e decisores é a linguagem especializada que utilizam e que induz que a informação retirada delas seja, em geral, restrita.

A única carta geológica que representa uma zona urbana portuguesa, Lisboa, na escala de 1:10 000, isto é, uma escala grande, foi elaborada pelo Eng.º Moitinho de Almeida, que recorreu sistematicamente à consulta de informação de sondagens, de pesquisa de água ou prospecção geotécnica, devido à escassez de afloramentos (ALMEIDA, 1986; ALMEIDA & ALMEIDA, 1997). Este mapa constitui um exemplo único de cartografia geológica no nosso país onde, para além de vários perfis geológicos bastante pormenorizados, se apresentam as principais sondagens analisadas e, através de uma simbologia simples, se indica uma ordem de grandeza da profundidade atingida por cada uma e qual a última unidade litostratigráfica atravessada, sempre que possível. Trata-se de uma carta especial que permite a um utilizador com alguns conhecimentos em Geologia, por exemplo um engenheiro civil, obter uma estimativa da ordem de grandeza da espessura de algumas baixas aluvionares, da inclinação geral das camadas, do comportamento de algumas falhas, etc..

O desfecho do sismo de 27 de Março de 1964 em *Anchorage*, Alasca (E.U.A.), onde se verificaram nove vítimas mortais e cerca de mil milhões de dólares de prejuízos (LEGGETT, 1987), é um dos exemplos internacionais que elucidam melhor a deficiente utilização de cartas geológicas por técnicos de planeamento que, sem o auxílio de especialistas em Ciências da Terra, conduz ao menosprezo do que existe abaixo da superfície do terreno, bem como dos processos geológicos activos que põem em perigo a segurança de pessoas e bens. Em 1959, o *United States Geological Survey* (USGS) entregou a várias entidades governamentais com jurisdição na área, uma carta geológica sobre a zona, acompanhada da respectiva memória descritiva. Nela era descrita uma unidade, designada de *Bootlegger Cove Clay*, de natureza argilo-siltosa (argilas sensíveis), em grande parte subsuperficial, e referida como constituída por materiais susceptíveis à ocorrência de escorregamentos rotacionais (*slumps*) e fluxos de terras (*flows*) sob determinadas condições, nomeadamente de sismos (MILLER & DOBROVOLNY, 1959 in DOBROVOLNY & SCHMOLL, 1968). Após o sismo de 1964, uma das encostas declivosas na base da qual afloravam as argilas escorregou sobre construções, que obedecendo a planos do município ocupavam o respectivo sopé.

II. Cartografia Geotécnica

DOBROVOLNY & SCHMOLL (*op. cit.*) referem que a carta geológica tinha sido concebida para ser consultada por geólogos (ou técnicos com algum conhecimento de Geologia), que nenhum integrava a equipa de planeamento e que as características de geologia com interesse para a engenharia não estavam presentes. Ironicamente, anos mais tarde voltaram a construir-se habitações sobre aquelas argilas sensíveis, demonstrando que os mesmos erros se podem repetir (NUHFER, PROCTOR & MOSER, 1993 *in* FOOKES, 1997).

A **cartografia geotécnica** apresenta a identificação e caracterização geotécnica dos materiais e as zonas sujeitas a processos geológicos activos no meio geológico, quer ele se encontre sob pressão demográfica ou não; baseia-se noutros mapas tais como litológicos, estruturais, hidrogeológicos e geomorfológicos, que são preparados e avaliados em termos de Geologia de Engenharia. Sob aquela designação, inclui-se um conjunto de cartas que podem ser classificadas em função do respectivo conteúdo, da finalidade para a qual foram elaboradas e da escala de trabalho (UNESCO/IAEG, 1976; COELHO, 1980). As principais características desta cartografia, que a diferencia da geológica, encontram-se sintetizadas no Quadro II.2.

Quadro II.2 - Comparação entre cartas geológicas e geotécnicas.

Cartas geológicas	Cartas geotécnicas
<ul style="list-style-type: none">• Escalas geralmente pequenas ($\leq 1:25\ 000$) - estudos de regiões/países;• Geralmente são elaboradas para diversas aplicações, dando igual ênfase a todas as características geológicas, em especial as estruturais e estratigráficas;• As cartas efectuadas para uma aplicação específica geralmente incluem-se nos seguintes grupos de cartas: metalogenéticas ou mineiras; petrolíferas; litostratigráficas, tectónicas, hidrogeológicas ou geomorfológicas (importantes para a Geologia de Engenharia); cartas de anomalias gravimétricas; etc.	<ul style="list-style-type: none">• <i>Diferentes escalas*</i> - desde estudos de sítios ($\geq 1:5\ 000$) até regiões/países;• <i>Realizadas antes (diagnóstico da situação) ou durante a execução (verificação dos prognósticos) de uma determinada intervenção projectada para o meio natural;</i>• <i>A definição do tipo de unidades a cartografar (grau de homogeneidade e principais características geológicas e geotécnicas a considerar) dependem, essencialmente, da escala e da finalidade para a qual a carta está a ser efectuada.</i>
<ul style="list-style-type: none">• Terminologia específica, geralmente pouco familiar aos políticos, engenheiros ou técnicos de planeamento.	<ul style="list-style-type: none">• <i>Terminologia mais vocacionada para pessoas com poucos conhecimentos de Geologia, embora nas escalas detalhadas ($\geq 1:5\ 000$) a terminologia possa ser mais específica;</i>
<ul style="list-style-type: none">• Todos os materiais são considerados rochas;• Rochas ou solos embora com características geotécnicas diferentes são englobadas na mesma unidade, por terem a mesma idade.• Em Portugal, não diferenciam a camada superficial dos solos de cobertura do substrato rochoso que ocorre em profundidade.	<ul style="list-style-type: none">• <i>Rochas e Solos são materiais distintos por pressuporem, à partida, comportamentos mecânicos diferentes;</i>• <i>Os limites entre unidades cartografadas correspondem à separação entre terrenos com diferentes comportamentos face a uma determinada solicitação;</i>
<ul style="list-style-type: none">• Tendencialmente subjectivas: ricas em dados qualitativos e interpretações sobre a geologia da área representada, incluindo a mineralogia, mas pobres em elementos quantitativos, nomeadamente sobre as características físicas dos terrenos, estado de alteração, etc..	<ul style="list-style-type: none">• Tendencialmente objectivas: requerem a quantificação de características físicas e mecânicas - exigem geralmente o planeamento e execução de programas de prospecção e ensaios, cuja dimensão é função da escala de trabalho e de condicionamentos económicos e de tempo.

De acordo com os critérios da IAEG (UNESCO/IAEG, 1976), as escalas (E) das cartas geotécnicas classificam-se de: grandes ($E \geq 1:10\ 000$), médias ($1:100\ 000 < E < 1:10\ 000$) e pequenas ($E \leq 1:100\ 000$).

A cartografia geotécnica constitui um instrumento imprescindível para o planeamento e integração de futuras obras de engenharia, na medida em que contém em si os

elementos necessários para indicar as aptidões, condicionantes e restrições ao desenvolvimento, bem como as necessidades de prevenção/protecção para determinadas zonas. No entanto, apenas alguns países, como a Espanha e os que integravam a antiga COMECON, têm programas de cartografia geotécnica sistemática para o território. Nos restantes, os trabalhos resultam, em regra, de estudos que:

- a) nos países onde a cartografia geotécnica é ainda incipiente, como é o caso de Portugal, a maior parte dos trabalhos são efectuados por investigadores a fim de persuadir os técnicos de planeamento e decisores sobre a relevância, utilidade e necessidade da informação das Ciências da Terra. Citem-se, entre outros, os estudos de HAFDI (1987), MOUSTAFA *et al.* (1991), MAHARAJ (1995) e PEREIRA & KOMOO (1998);
- b) nos outros países com alguma tradição na cartografia geotécnica, estes trabalhos podem dever-se a três tipos de circunstâncias:
 - ocorrência de perigos geológicos específicos que se prevê poderem vir a ocorrer ou que ocorreram há pouco tempo e estiveram na origem de alguma catástrofe (ex.^o: ABOLMASOV & SOTJKOV, 1994; MATEOS & FERRER, 1994; CHACÓN *et al.*, 1997; WENDLAND, 1997);
 - projecto de desenvolvimento ou recuperação, a curto prazo, de determinadas áreas (IRIGARAY *et al.*, 1994; RIVAS *et al.*, 1994; VORONOV & KOZLOVA, 1994; WANG & JIONG, 1997, entre outros);
 - estudos de cartografia estratégicos (ex.^o: NICKLESS, 1982 *in* DEARMAN, 1991; CHARLIER, 1992; NICKLESS & JACKSON, 1994; ORLIC, 1997; PROSKA & VLCKO, 1997).

As primeiras cartas geotécnicas aplicáveis ao planeamento da ocupação do território terão sido, provavelmente, as efectuadas na Alemanha e apresentadas no âmbito da "Exposição Técnica de Construção" que decorreu em *Leipzig*, em 1913. Os primeiros mapas registavam essencialmente a informação disponível de sondagens em áreas urbanas e suburbanas e apresentavam esses dados geológicos, que eram particularmente importantes para a construção/reconstrução de algumas cidades, como *Erfurt*, *Frankfurt on Older* e *Danzig*, entre outras (PETER, 1966 *in* COELHO, 1980; DEARMAN, 1991).

Três dezenas de anos atrás, assumia já particular relevância a elaboração de um outro tipo de cartas geotécnicas que tentavam sensibilizar as entidades com poder legislativo e decisório para o potencial efeito destruidor, com forte impacte económico, de alguns processos e fenómenos geológicos perigosos. Estes processos geológicos assumem importância em áreas edificadas, devido às potenciais perdas em termos humanos e económicos; em contraste, em zonas rurais, onde predomina a actividade agrícola, representam um menor grau de perigo para a sociedade, originando apenas prejuízos económicos transitórios. A importância socioeconómica destes processos e o seu reconhecimento crescente pela generalidade dos países, levou a Assembleia Geral das Nações Unidas a decretar em Dezembro de 1989 a década 1990-2000 como "Decénio

Internacional para Prevenção das Catástrofes Naturais", salientando desde logo a necessidade de contemplar estes processos geológicos no âmbito do ordenamento e planeamento do território.

Relacionada com aquele tipo de cartas geotécnicas, existe uma terminologia específica fundamental para estabelecer a diferença entre os diversos mapas que se podem desenvolver e avaliar, a sua aplicabilidade, no ordenamento do território e mesmo a sua exequibilidade.

As cartas de ocorrências ou de inventariação (cartas base) permitem identificar os fenómenos e registar a sua distribuição em área; as de susceptibilidade (cartas derivadas) têm por fim a prevenção de fenómenos nocivos ou catástrofes e resultam da interpretação de cartas de factores, tais como litologia, profundidade do nível freático, declives, inventariação de ocorrências, etc., com o objectivo de definir zonas com limitações geológicas à ocupação humana; as de perigosidade (cartas de síntese) resultam do cruzamento das cartas anteriores com o uso do solo e com base na avaliação da vulnerabilidade dos elementos expostos definem-se zonas sujeitas a diferentes níveis de perigo, possibilitando a selecção de áreas onde se devem adoptar medidas preventivas; para as entidades de protecção civil, propiciam a delimitação de zonas de intervenção prioritária e outras que são indicadas para implantar os serviços de emergência a prestar, em caso de calamidade ou catástrofe (AYALA-CARCEDO, 1988, 1990; FOOKES, 1997; LAMAS, 1998).

Deliberadamente, omitiu-se a inclusão dos termos carta de *hazard*, ou seja probabilidade de ocorrência segundo LAMAS (1998), e de risco (*risk*). Trata-se de dois tipos de cartas muito específicos, por vezes de execução difícil ou mesmo impossível, pela inexistência de informação necessária.

Subsidiariamente, refira-se que no início da década de setenta, a bibliografia de expressão anglo-saxónica começou a utilizar a designação de "Geologia ambiental", bem como de cartas "geoambientais" (FLAWN, 1967 in HILPMAN, STEWART *et al.*, 1968; FLAWN, 1970; TURNER & COFFMAN, 1973; LUTTIG, 1987; entre outros) influenciada, sem dúvida, pelo movimento ambientalista que ocorreu na década de sessenta nos EUA, e que esteve na base da importante peça de legislação designada por *National Environmental Policy Act* (NEPA), em 1969.

A cartografia correspondente, dita "geoambiental", foi inicialmente desenvolvida pelas delegações estaduais de USGS, como *Kansas*, *Mississippi* ou *Illinois*, ou por Universidades, como a de Texas, e incluíam informações geotécnicas sobre o substrato e os depósitos de cobertura, cartas de inventariação e de protecção de recursos, cartas de susceptibilidade aos movimentos de terrenos, ou ainda de perigosidade e de aptidão ou restrição à ocupação do solo.

No domínio de mapas com formato especial e que derivaram da corrente anterior, referem-se os que visam obter uma carta síntese para o uso do solo baseada em diferentes cartas base e derivadas, fundamentando-se nas componentes bióticas e abióticas do meio, mas com maior ênfase nas últimas e que resultam de uma colaboração entre o especialista em Geologia de Engenharia e os de outros domínios das Ciências da Terra e da Natureza (agrónomos e botânicos, essencialmente) - são as cartas geocientíficas (*geoscientific maps*), que surgiram na Alemanha (LUTTIG, 1974 *in* LUTTIG, 1979) e em Espanha na década de setenta (CENDRERO, 1975). As cartas de síntese finais então obtidas, multidisciplinares, de escala média, apresentam um zonamento do solo de acordo com a sua aptidão para a ocupação e, por outro, a apresentação de recomendações sobre essa ocupação (CENDRERO & DIAZ de TÉRAN, 1987; CENDRERO *et al.*, 1990).

Algumas zonas do globo particularmente conhecidas pelos seus atractivos ecológicos, estiveram na origem da publicação de trabalhos mais abrangentes, que resultaram também da colaboração entre vários especialistas em diferentes domínios das Ciências da Terra e do Ambiente, designados de atlas ou, mais recentemente, as cartas de ecoregiões (*ecoregions maps*), como são as que foram elaboradas, respectivamente para a província de *León*, em Espanha (ITGE, 1996) ou *Alaska*, nos EUA (GALLANT *et al.*, 1995) e na Nova Zelândia (HARDING & WINTERBOURN, 1997). As cartas de ecoregiões têm boas perspectivas de continuidade, no futuro, uma vez que delimitam ecossistemas que podem ser monitorizados para tentar avaliar os eventuais efeitos das actividades antrópicas no meio natural (GALLANT *et al.*, 1995; HARDING & WINTERBOURN, 1997).

2. ELABORAÇÃO DE CARTAS

2.1 Informação e Métodos de Classificação

Os dados relevantes para a cartografia classificam-se, quanto à sua origem, em primários ou secundários (BONHAM-CARTER, 1997). Os primeiros são directamente obtidos durante as operações de reconhecimento no campo, análise por sensores remotos, ou por determinação das características do terreno, através de prospecção geofísica ou mecânica e realização de diversos ensaios *in situ* ou em laboratório.

Quando dados primários, incluídos em trabalhos preexistentes, realizados para uma dada área são interpretados, processados e editados, tornam-se dados secundários ou derivados.

No caso concreto de relatórios geotécnicos, os resultados são normalmente apresentados de duas maneiras distintas: uma consiste nos dados referentes aos resultados das observações e ensaios efectuados; outra corresponde à interpretação destes dados feita por um especialista que, após análise dos dados primários, elabora um modelo e, com base nele, tece considerações e recomendações. Torna-se importante distinguir entre ambos os dados, tanto mais que os primeiros têm um carácter factual e quantitativo, ou semi-quantitativo, e os secundários tendem a ser geralmente qualitativos e/ou até subjectivos.

A pesquisa e o acesso a dados dependem essencialmente de três factores:

- forma de organização dos dados (em arquivos tradicionais ou em bases de dados);
- maior ou menor facilidade de acesso aos mesmos concedida pelas entidades que estiveram na origem de tais estudos;
- eventual natureza confidencial de alguns deles.

Os dados, depois de coligidos, são organizados, revistos, analisados e avaliados, passando então a constituir **informação**. Contudo, esta mantém o carácter factual ou subjectivo dos dados originais. Acresce ainda que os dados podem estar em formato analógico ou digital.

Um mapa é elaborado através da classificação de dados e da definição de limites entre classes. Entende-se por classificação o processo através do qual um conjunto de objectos não organizados é agrupado com base em propriedades, ou atributos, semelhantes (SOKAL, 1966 *in* VARNES, 1974); sucede-lhe o processo de identificação, que permite colocar novos objectos na classe correcta, anteriormente definida.

Ao analisar uma carta geotécnica, ou outra das Ciências da Terra, verifica-se que consta de objectos que foram classificados com base na validação de um conjunto de propriedades ou características e das relações entre eles, ou seja dos **atributos** de cada uma das diferentes classes (VARNES, *op. cit*). Idealmente, uma unidade é definida por um único atributo ou conjunto único de atributos (Quadro II.3); constitui, assim, o elemento básico a representar graficamente num mapa onde se pode apreciar a sua distribuição bidimensional. Esta é complementada por uma legenda que traduz, através de palavras e símbolos, os atributos essenciais que as áreas definidas representam.

A essência da cartografia geotécnica é delimitar áreas que são homogéneas, ou heterogéneas dentro de um domínio aceitável, tendo em vista a finalidade da carta. Em função dos atributos em análise, da escala e do grau de homogeneidade/heterogeneidade, será possível estimar comportamentos. Contudo, a homogeneidade deve ser considerada para cada atributo separadamente, uma vez que um solo/rocha pode ser homogéneo com respeito a um ou mais atributos e heterogéneo para outros,

podendo ainda ser variáveis no espaço (por exemplo em profundidade) e no tempo (por exemplo, ao longo dos meses do ano - caso do teor em água natural de um solo). Em cartografia geotécnica, os limites entre os diferentes multiatributos são determinados apenas pela sua distribuição espacial.

Quadro II.3 - Características dos atributos (VARNES, 1974).

Características	Significado
Absolutos, essenciais ou acessórios	<i>Na identificação e classificação de objectos, podem ser únicos ou não, estar presentes ou ausentes.</i>
Mensuráveis ou não	<i>Em termos quantitativos e qualitativos.</i>
Variáveis ou não	<i>No espaço e/ou tempo podem ser constantes ou evoluírem e apresentar, ou não, relações de dependência ou de causa-efeito.</i>

Um problema básico nesta cartografia é, portanto, identificar e seleccionar os atributos adequados para definir as unidades a cartografar e, depois, delimitar as áreas representativas dos terrenos, de acordo com aqueles. Contudo, é difícil definir o(s) conjunto(s) de atributos fundamentais, na medida em que existem diversas combinações possíveis de propriedades físicas, químicas, estruturais e/ou mecânicas dos terrenos. Para além disso, existe uma tendência para a heterogeneidade dos materiais naturais que implica que a extrapolação desses atributos para além da zona que foi amostrada seja efectuada cuidadosamente.

Internacionalmente, tem-se assistido a tentativas de uniformizar o tipo de atributos considerados em determinados mapas em função do conteúdo, finalidade e escala, bem como as palavras e símbolos a juntar-se-lhes, isto é, as legendas a utilizar. Existe um conjunto de obras que visa a normalização da apresentação de informação a nível nacional, como é o caso do Reino Unido (ANON., 1972; GEOLOGICAL SOCIETY, 1982) e da França (ANON., 1977), ou internacionais, como as publicações elaboradas por organismos diversos, nomeadamente a IAEG ou a *International Association of Hydrogeologists* – IAH, algumas das quais com o patrocínio da UNESCO (UNESCO/IAEG, 1976; IAEG, 1981a,b; VARNES, 1984; VRBA & ZAPOROZEC, 1994; LANGER, 1995; STRUCKMEIER & MARGAT, 1995).

Existem essencialmente três mecanismos básicos para definir as unidades nos mapas geotécnicos (VARNES, 1974):

- Matrizes simples;
- Matrizes tridimensionais;
- Árvore lógica.

Na prática, a última revela-se um mecanismo eficaz para determinar quais as unidades a considerar e as matrizes aplicam-se melhor à análise das unidades e das relações entre si, nomeadamente as espaciais. Os mapas não são mais do que a representação gráfica das matrizes.

A árvore lógica é estruturada com base nos atributos que se estipularam como essenciais para definir as unidades do mapa (VARNES, 1974). Em seguida, para montá-la, os atributos têm que ser avaliados e seleccionados os seus valores limites, para depois os ordenar de acordo com a sua influência no comportamento da unidade em termos geotécnicos (Fig. II.1). A esta estrutura montada pode atribuir-se uma ponderação, quantificando-a, a fim de diminuir a subjectividade da análise.

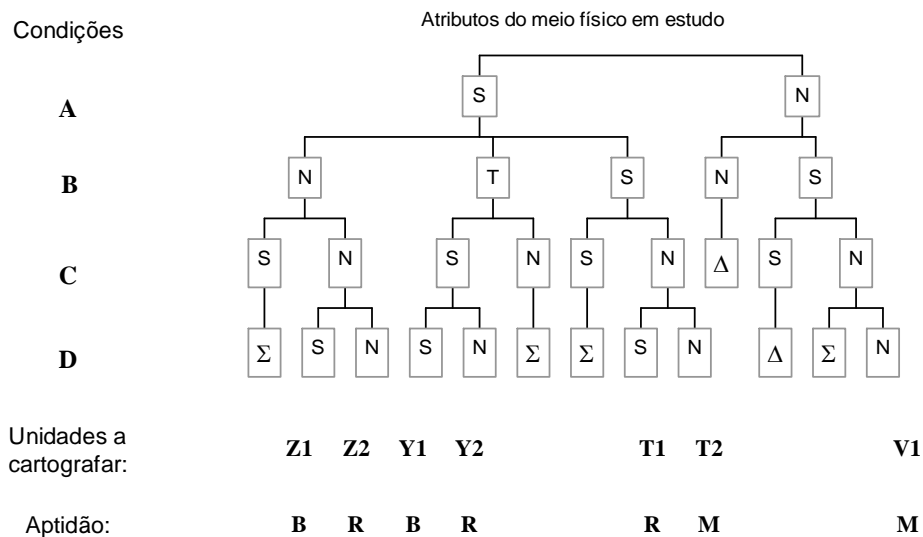


Figura II.1 - Exemplo de uma árvore lógica para definir as unidades a cartografar (YINGQING, 1994, adaptado).

Legenda: S - sim, N - não, T - talvez. Σ - Logicamente improvável; Δ - Conjunto vazio. B - boa, M - má, R - razoável.

Uma vez obtidas as unidades, são concebidas as matrizes, com base nos atributos utilizados na árvore lógica, para avaliar relações entre unidades. Uma dificuldade do processo consiste no número de atributos que é exequível analisar, manualmente, numa matriz, normalmente três ou quatro. Para quatro atributos, deve manter-se constante um deles, por conveniência de análise. Este obstáculo é ultrapassado com a utilização de computadores, onde a limitação é conseguir validar as conclusões que se obtêm.

Existem diversas maneiras de analisar dados através de matrizes, que incluem desde a comparação do arranjo das células dentro de linhas ou colunas (ou parte delas), passando pela comparação entre várias colunas a fim de separar ou agrupar atributos e

tentar avaliar covariâncias espaciais (BROSTER & BRUCE, 1990). Um meio de controlar o processo é utilizar um número limitado de atributos em cada mapa para obter um zonamento (ROSENBAUM & ROSE, 1994) de âmbito genérico, e depois combiná-los sucessivamente entre si até se obter a carta que se pretende para um objectivo específico.

Uma parte significativa da informação em Ciências da Terra é representada graficamente, em mapas bidimensionais, sob a forma de pontos, linhas ou áreas (Quadro II.4). Uma entidade geológica pode ser representada por qualquer uma destas formas em função do tipo e da escala do mapa: numa escala pequena, unidades de terreno pouco espessas são representadas por superfícies, delimitadas por linhas, e unidades pequenas, mas importantes, podem ser representadas por pontos.

O problema mais vulgar é a **exactidão de posição** (vertical e horizontal) de linhas, que depende essencialmente da escala de trabalho e dos métodos de edição adoptados. No caso da representação de limites entre unidades, uma dificuldade frequente, função da escala de trabalho, é o da largura de terreno que é abrangida pelo traço de uma linha que representa aquele limite. Considere-se, por exemplo, o traço de uma caneta de desenho com 0,1 mm de espessura: este traço significa cerca de 1,0 m na escala 1:10 000 ou cerca de 2,5 m na escala 1:25 000. Por outro lado, o computador une sempre os pontos digitalizados através de um segmento de recta, embora a linha possa parecer curva pela proximidade dos pontos observados à escala de trabalho.

O nível de exactidão com que um limite pode ser traçado num mapa já é um problema mais complicado que, para além do problema de custos e tempo, tem que considerar o espaçamento entre pontos do levantamento de terreno e o da facilidade na identificação e localização daqueles limites. Por exemplo, num documento de inventariação, o limite entre duas unidades pode ser difícil de identificar, o que pode dever-se a um problema geológico, ou a problemas de acesso/visibilidade; neste último caso pode modificar-se graficamente a simbologia para fazer evidenciar a diminuição de exactidão (Quadro II.4). As dificuldades de limites indeterminados são problemas de **exactidão de atributos**. Genericamente, os erros de atributos podem ter essencialmente três origens (CHRISMAN, 1987): identificação incorrecta do atributo (por falta de informação, dados incorrectos de origem, má interpretação ou classificação errada); deficiente separação de tipos adjacentes (também é um erro posicional) e falta de homogeneidade da propriedade discriminante ("grau de confiança").

O que é importante é tornar claras as limitações de exactidão, interpretação e do uso a atribuir aos dados representados graficamente numa carta, seja ela geotécnica ou não.

Quadro II.4 - Representação cartográfica de dados das Ciências da Terra.

Dados	Potenciais elementos	Representação cartográfica
Ponto	<i>Localização de objectos específicos. Localização de pontos de amostragem.</i>	Símbolo (ex.º: atitude diaclase; sondagem)
Linha	<i>Limites entre unidades cartografadas. Falhas e outros alinhamentos.</i>	Linhas, cujo estilo (cheio, tracejado ou ponteadado, etc.) pode demonstrar o grau de confiança no limite traçado. Às vezes podem juntar-se símbolos para identificar o tipo de limite (ex.º: falha normal ou de desligamento)
Área	<i>Extensão em área de um atributo/objecto (unidade cartografada; área afectada por um escorregamento, etc.).</i>	Zona limitada por linhas fechadas.

2.2 Operações com Cartas

As operações lógicas para elaboração de cartas temáticas em geral e, em concreto, de cartas geotécnicas, fazem com que o recurso a computadores possa facilitar as operações de armazenamento, manipulação, visualização, edição, análise e actualização dos dados sob forma gráfica e/ou alfanumérica. Apresentam-se, em seguida, algumas dessas operações, bem sintetizadas por VARNES (1974), e que têm sido utilizadas na elaboração de diferentes cartas geotécnicas, analógicas ou digitais.

Existem quatro operações básicas mais frequentemente utilizadas para manipular os dados até se obter a carta geotécnica pretendida: generalização, selecção, sobreposição ou adição e transformação.

2.2.1 Generalização

Uma carta só pode ser submetida a uma operação de generalização se existir previamente uma outra mais detalhada, o que significa, em regra, de maior escala. A generalização corresponde, como o nome indica, a uma simplificação dos atributos, sejam eles do tipo área (generalização cartográfica ou espacial) e/ou relativos às suas propriedades ou qualidades (generalização de atributos); o objectivo final é realçar ou clarificar o conteúdo da carta (Fig. II.2). Esta operação pode não ser reversível, excepto quando se utilizam meios informáticos que permitam recuperar os conteúdos originais mediante algum tipo de instrução (por exemplo do tipo desfazer a operação de generalizar - *undo*) ou da recuperação do ficheiro inicial.

Na generalização espacial os limites entre unidades são suavizados, eliminando-se irregularidades ou pequenas ilhas de uma unidade noutra. A unidade que absorve as menores é seleccionada em função da escala da carta e do seu objectivo. O número de classes de objectos poderá permanecer inalterada, o que se verifica é que a sua heterogeneidade aumentará nas imediações do antigo contacto (VARNES, 1974).

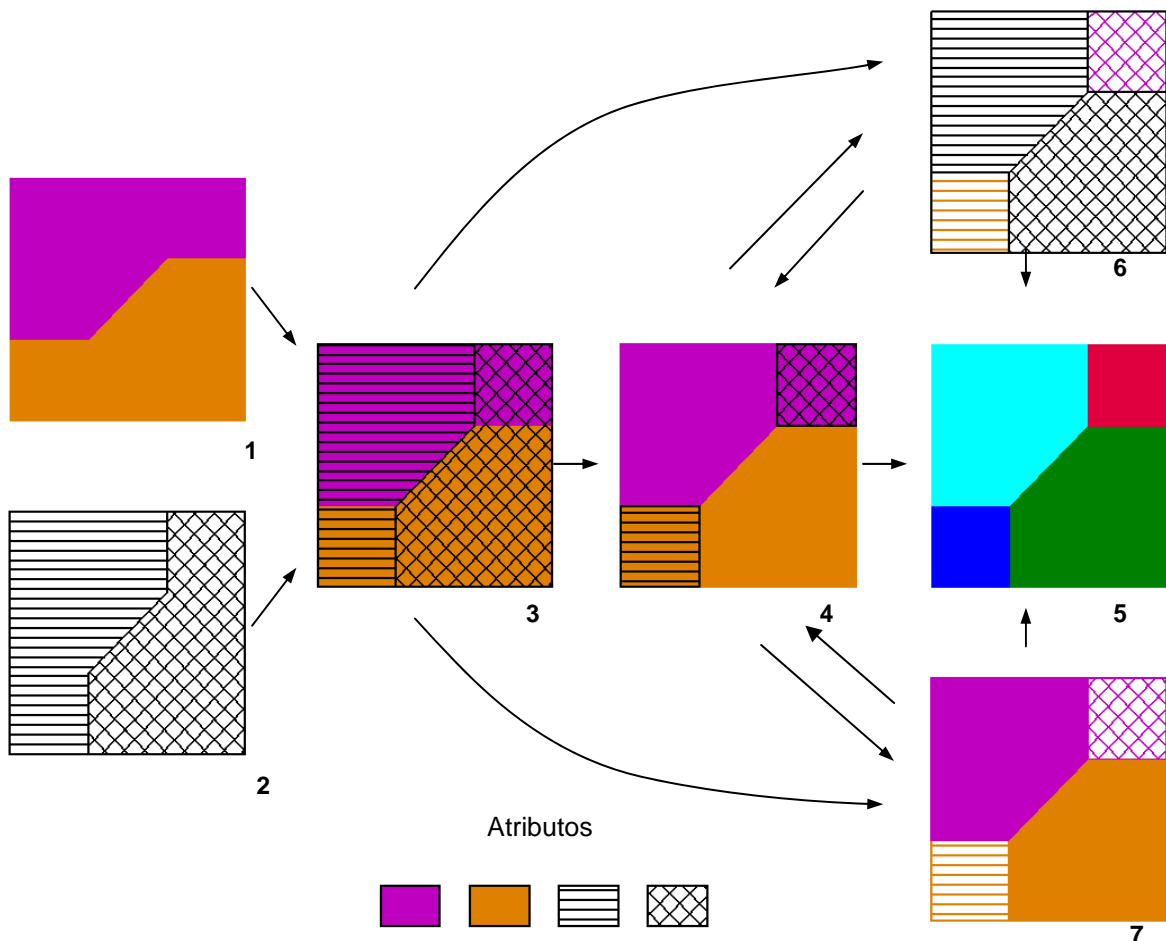


Figura II.2 - Diferença entre generalização tipológica por fusão de atributos e sobreposição (adaptado de RODOMAN, 1965 *in* VARNES, 1974).

Legenda: 1 e 2 - cartas básicas; 3 - sobreposição; 4 - generalização atribuindo igual peso aos quatro atributos; 5 - análise completa através da generalização tipológica por fusão de atributos; 6 - zonamento com as tramas subordinadas às cores; 7 - zonamento com as cores subordinadas aos padrões.

Na generalização de atributos o que se verifica é uma fusão de unidades (ou agrupamento), por junção dos atributos que as caracterizavam, dando lugar à redefinição de um novo conjunto de atributos essenciais, que podem incluir alguns dos antigos. Se

as unidades são contíguas, o limite entre elas é eliminado; se o não são, a única diferença é que passam a apresentar, todas, um único padrão ou legenda. Com esta operação a heterogeneidade pode ser reduzida, contudo alguma informação é perdida.

Os dois tipos de generalização podem ser necessários se os dados forem recompilados para uma escala mais pequena.

2.2.2 Selecção

Este processo permite separar as informações desejadas e adequadas para um determinado fim e desenvolve-se ao longo de toda a execução do mapa, até à sua edição final, antecedendo frequentemente duas outras operações - adição e sobreposição e transformação. Por outro lado, implica, muitas vezes, a eliminação de unidades fora de um determinado limite (efeito espacial) ou mesmo de unidades: para se atingir um determinado objectivo é necessário eliminar um certo número de relações.

2.2.3 Adição e Sobreposição

A sobreposição de informação é, talvez um dos métodos mais utilizados em cartografia geotécnica (KANSAS GEOLOGICAL SURVEY, 1968; LAIRD *et al.*, 1979; LAMAS, 1989; SILVA, 1990, entre outros), pode envolver um ou todos os seguintes processos (VARNES, 1974):

- extensão de atributos já definidos para uma nova área que foi adicionada e/ou que anteriormente ainda não tinha sido cartografada;
- adicionar informação relativa a atributos espaciais ou tipológicos (relações e/ou qualidades) numa altura diferida no tempo - por exemplo, acrescentar informação a uma carta já elaborada, ao fim de um certo lapso de tempo, para a actualizar, melhorando o nível de informação;
- sobrepor novos atributos de uma carta aos de outra (base ou derivada), Fig. II.2-3.

Uma carta obtida da sobreposição de outras mais simples, por exemplo, que representem cada uma apenas uma componente do meio geológico (carta base), onde não houve integração ou generalização, é designada por carta derivada e pode ser considerada como o registo de uma matriz em que está representado um determinado atributo e a sua localização.

Há diversas maneiras de adicionar informação a um mapa. Uma podem não implicar alterações nos limites previamente marcados entre unidades - é o caso de novos dados que exigiam apenas a adição de números ou letras às informações preexistentes da unidade e cujo significado é descodificado na legenda ou numa tabela anexa ao mapa.

Contudo, outras podem implicar algumas mudanças que se traduzem na definição de novos limites e/ou unidades, pelo que se deve primeiro aferir se existe ou não uma covariação espacial entre elas e, em caso afirmativo, verificá-la a fim de traçar os novos limites (VARNES, 1974). Neste caso, efectua-se um zonamento que poderá ser definido em função de uma determinada aplicação, pelo que será variável o tipo de atributos a considerar.

2.2.4 Transformação

Consiste numa operação que altera o carácter e, geralmente o significado, de linhas, áreas e símbolos de uma carta, tornando-a mais acessível aos seus eventuais utilizadores. As modificações relacionam-se geralmente com a simbologia adoptada, a identificação, disposição e, em especial, a descrição ou a associação dos dados existentes (VARNES, *op. cit.*).

A transformação abrange seis procedimentos diferentes, com complexidade crescente e a seguir referidos. Os primeiros três relacionam-se com a recolha, classificação e edição dos dados para que a carta possa atingir melhor o objectivo para o qual é elaborada; os outros três são processos mecânicos que têm a ver com a associação, classificação e fixação de dados, e são fundamentais na medida em que alteram o significado de linhas previamente desenhadas.

Os seis procedimentos referidos são:

- alteração do método de armazenamento ou de visualização;
- modificação da simbologia;
- alteração nas unidades métricas - por transformação dos atributos espaciais (escala ou tipo de projecção) ou das suas relações;
- extrapolação espacial;
- extrapolação tipológica;
- extrapolação temporal.

2.2.5 Zonamento

As cartas de zonamento, que representam as relações funcionais e espaciais dos atributos básicos que definem as unidades homogéneas (ou com um grau de heterogeneidade aceitável) para uma certa área, são a forma mais indicada para transmitir informações mais simplificadas sobre as condições geológicas e geotécnicas. Na realidade, elas constituem as verdadeiras cartas geotécnicas (DEARMAN, 1991).

O zonamento pode ser obtido de duas maneiras: para diversas finalidades (fins múltiplos), ou para uma finalidade específica (fins específicos).

Zonamento para fins múltiplos

Fundamenta-se na definição de unidades “homogéneas”, individualizadas em função das diversas especificidades das condições geotécnicas da área em referência. As operações mais utilizadas são as de selecção, sobreposição e transformação. Como é difícil sobrepor e transpor muitos atributos, o ideal é usar no máximo três atributos de cada vez e ir definindo unidades e, portanto, derivando (sobrepondo) cartas umas a partir das outras até se obter a de síntese. Geralmente utilizam-se escalas pequenas a médias.

Zonamento para fins específicos

As cartas de aptidão, protecção, previsão de comportamentos, “risco” e de recursos são exemplos de diferentes tipos de mapas que se podem realizar visando uma intervenção predefinida: construção, fundações, inventariação de recursos, infra-estruturas viárias, etc..

O método de agregação (*nested*) é muito utilizado para cartas de zonamento que ilustram diversas aptidões ou restrições à ocupação do solo. As unidades são obtidas pela utilização de diagramas de *Venn* ou *Euler*, verificando-se que cada unidade engloba atributos das outras unidades (Figura II.3).

A sua apresentação baseia-se na expressão da aptidão das diferentes unidades (desfavorável, favorável com restrições, boa, etc.), das técnicas a que se tem que recorrer em cada unidade para garantir determinada aplicação (suporte, escavação, etc.) ou até de custos (elevados, médios, etc.).

Na apresentação final pode recorrer-se a cores, nomeadamente ao sistema de codificação de cores definido por ZEMAN (1962 *in* DEARMAN, 1991), que se baseia nas dos semáforos para graduar a qualidade (ou outra):

- Verde ⇒ zonas favoráveis;
- Laranja ou amarelo ⇒ zonas com algumas restrições que necessitam de um estudo mais detalhado;
- Vermelho ⇒ zonas desfavoráveis ou com problemas graves.

Podem associar-se, quer diferentes tonalidades dentro da mesma cor, quer símbolos, geralmente números, para acrescentar unidades e indicar graus ascendentes ou descendentes de aptidão.

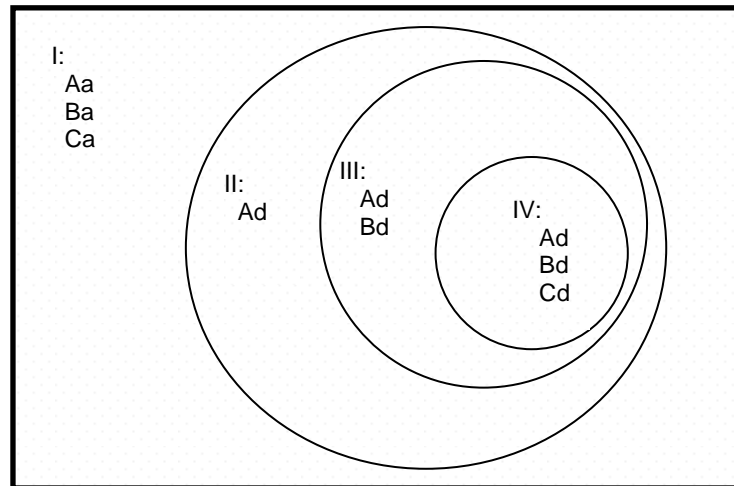


Figura II.3 - Exemplo de um diagrama de Euler para obtenção das unidades de uma carta de restrição à ocupação obtida pelo método da agregação.

Legenda: Usos em análise A = Industrial; B = Infra-estruturas viárias; C = Agrícola. Recomendação quanto ao uso: a - apto; d - desfavorável. I - favorável aos três tipos de ocupação; II - favorável a agricultura e infra-estruturas viárias; III - favorável a agricultura; IV - desfavorável aos três tipos de usos.

2.3 Representações 2,5-D

Como já se referiu, um mapa é uma forma de apresentação a duas dimensões (área) da variação de determinados atributos. Contudo, na cartografia das Ciências da Terra, a terceira dimensão assume particular importância (Fig. II.4), tendo em conta as possíveis variações que podem ocorrer em profundidade - desde a constituição litológica e a sua espessura, até às características físicas (teor em água, densidade, permeabilidade, etc.) ou mecânicas (compressibilidade, resistência, etc.).

Neste contexto, foram desenvolvidos diversos sistemas para tentar apresentar as variações de características de unidades em profundidade, a maioria dos quais não constituem verdadeiras representações tridimensionais, mas são antes o que se designa por 2,5-D. Qualquer dos sistemas tem vantagens face a certas aplicações finais, bem como desvantagens, que serão referidas adiante.

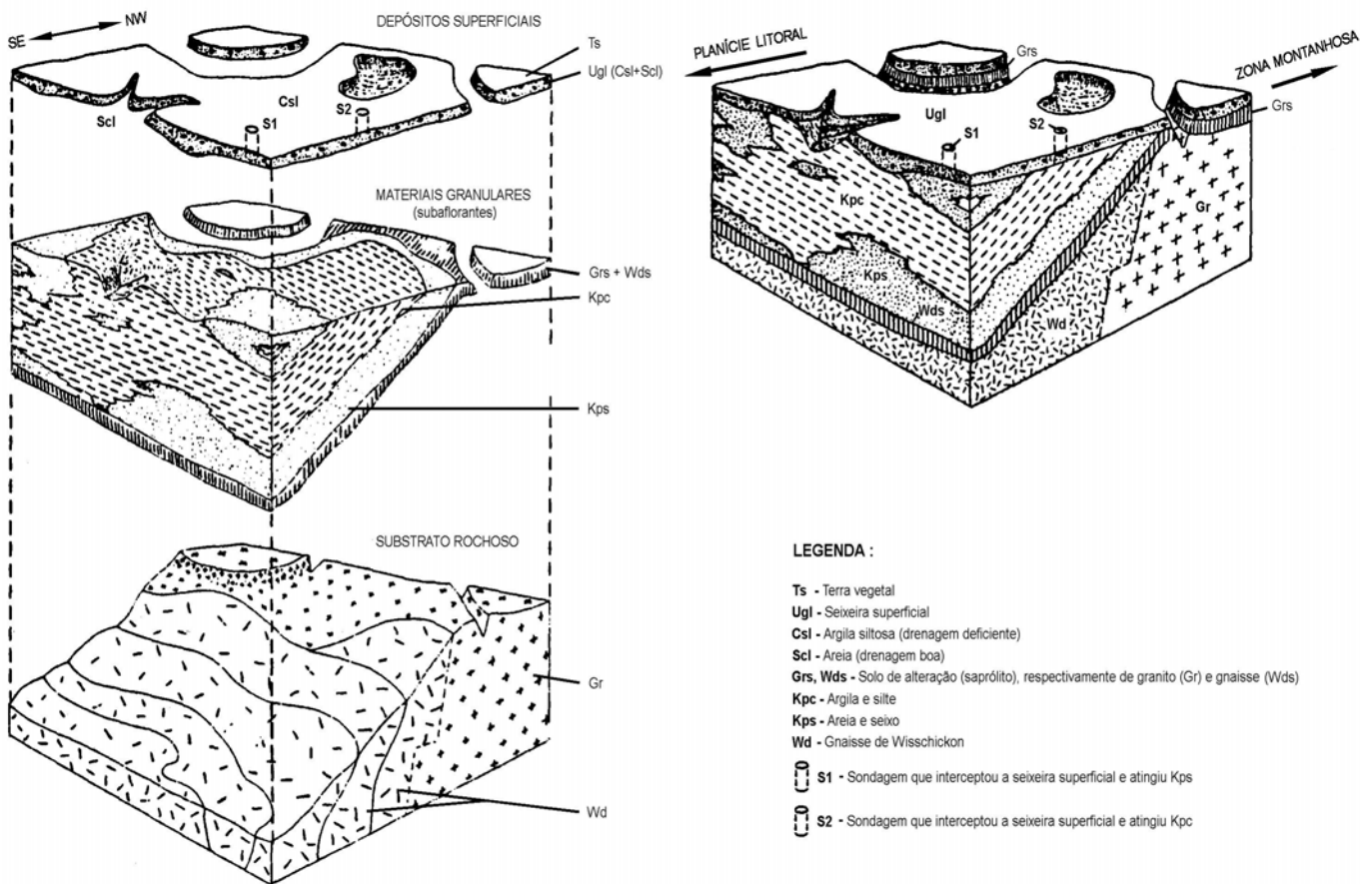


Figura II.4 - A importância da terceira dimensão em Ciências da Terra: o bloco diagrama da área de *Franconia* (adaptado de FROELICH *et al.*, 1978).

O método tradicionalmente seguido consiste em adicionar perfis, secções cruzadas, perfis parciais ou blocos diagrama aos mapas (Fig. II.4) para representar, em profundidade, as variações das características que interessa realçar.

2.3.1 Sobreposição Simples de Simbologia

É o método mais simples de cartografar a variação de características do terreno em profundidade e representa, no máximo, as duas unidades mais superficiais; para isso recorre a modelos simbólicos (padrões, letras e números) e/ou a cores.

Trata-se de um procedimento limitado, que é apenas aconselhado para situações pouco complexas; tem sido utilizado na Grã-Bretanha (NICKLESS *et al.*, 1986; FORSTER *et al.*, 1987), onde, por exemplo, à simbologia adoptada para um terreno rochoso é sobreposta uma cor diferente consoante o tipo de solo superficial que o recobre, ou vice-versa. A identificação é obtida pela conjugação de uma letra e um número, cujo significado é explicado na legenda.

Outro método consiste nos sistemas codificados utilizados na Checoslováquia (MATULA, 1969 *in* DEARMAN, 1991) ou nos EUA (TURNER & COFFMAN, 1973; LAIRD *et al.*, 1979; etc.), em que a primeira letra representa o terreno (solo ou rocha mais superficial) a que sucede um segundo símbolo, geralmente numérico, que está relacionado, em regra, com a espessura máxima desse terreno ou com a variação na composição litológica; podem seguir-se-lhes outras letras e/ou números para representar os terrenos em profundidade.

2.3.2 Isopacas

Esta técnica permite apresentar as variações de espessura de uma única unidade através de isolinhas - linhas que significam igual espessura. Estas são, em regra, marcadas sobre um fundo topográfico.

2.3.3 Cartas de Níveis ou Horizontes

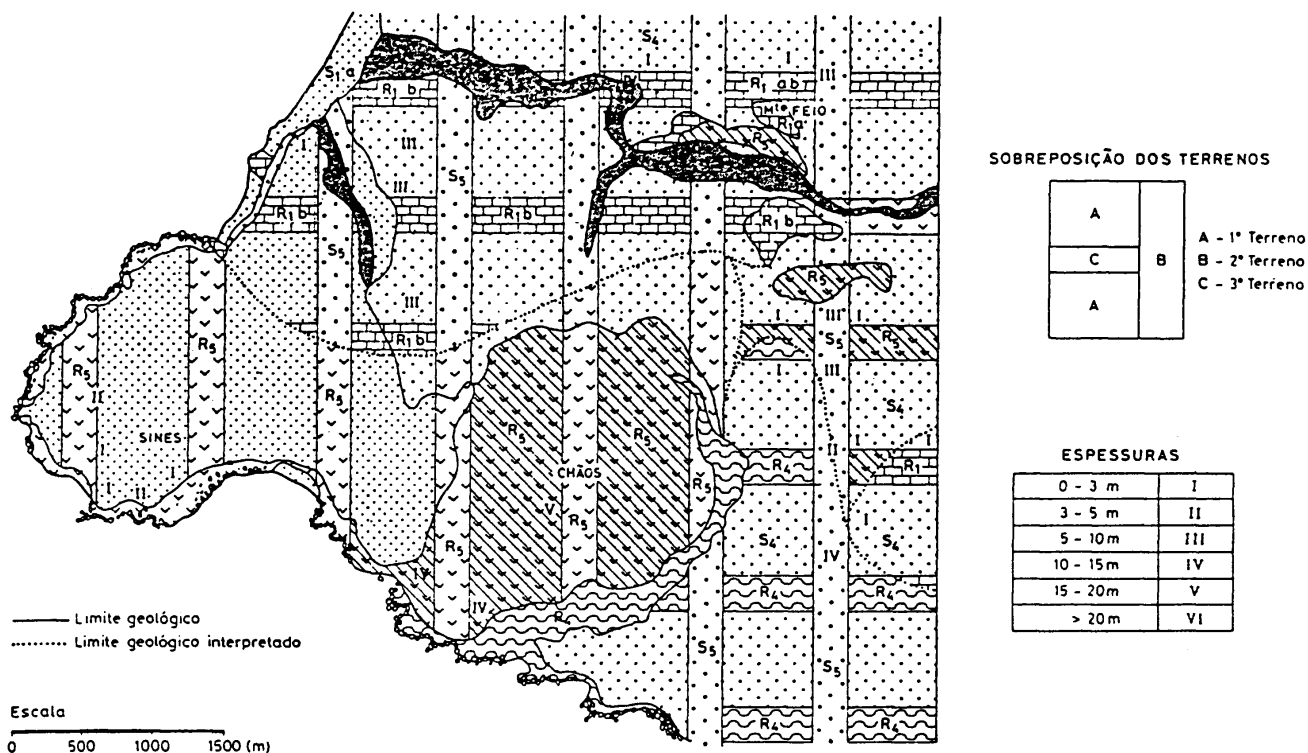
São cartas em que os contactos entre diversas unidades são representados em níveis predefinidos ou uniformizados, pelo que se usam essencialmente em escalas detalhadas ($E > 1:5\ 000$) e, em especial, no âmbito de estudos de sítios. Dividem-se em três tipos, e cada um representa um dos três aspectos seguintes:

- um plano horizontal, a uma cota constante - são as cartas de níveis, que se utilizam essencialmente em obras de engenharia, como no caso da cartografia do tecto de um túnel;
- um determinado horizonte litológico ou geotécnico com interesse para uma determinada aplicação no meio - são as cartas de horizontes que apresentam o tecto do substrato rochoso em profundidade ou a base e/ou tecto de outra(s) unidade(s);

II. Cartografia Geotécnica

- uma profundidade específica abaixo da superfície e os terrenos ou ocorrências que se encontram a essa cota - são as cartas de profundidade específica, como as que estudam níveis de fundações por exemplo a 2 m, 5 m e 10 m; geralmente recorre-se a representações em transparentes (ou a diferentes níveis de informação num computador) para depois poder sobrepô-los e ter uma imagem da sucessão vertical.

2.3.4 Método das Bandas



	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	UNIDADES LITOLÓGICAS	COMPLEXOS GEOTÉCNICOS	
FORM. SUPERFICIAIS	HOLOCÉNICO	Areias de praia	S ₁	SOLOS
		Areias de duna	S ₂	
		Atuviões argilosos e areno-argilosos	S ₃	
	Solos residuais	S ₄		
	PLISTOCÉNICO	Cascalheiras (Terraços) Cobertura arenosa superficial	S ₅	
PLIOCÉNICO	Areias argilosas e ferruginosas	S ₅	ROCHAS	
MIOCÉNICO	Areias argilosas micáceas	R ₁		
	Grés calcários Calcários lumachélicos	R ₁		
JURÁSSICO	Calcários margosos	R ₁		
	Calcários detriticos oolíticos e conglomeráticos	R ₁		
	Calcários margosos dolomíticos	R ₁		
	Calcários dolomíticos	R ₁		
	Margas e argilas margosas	R ₂		
TRIÁSSICO	Conglomerados, grés grosseiros e argilas gresosas	R ₃		
CARBÓNICO	Xistós e grauvaques	R ₄		
	Gabros - Sienitos	R ₅		

Figura II.5 - Carta geotécnica de Sines - um exemplo do método das bandas (COELHO, 1980).

Esta metodologia, foi inicialmente desenvolvida na Checoslováquia por ZEBERA (1947 *in* COELHO, 1980), tendo duas décadas depois sofrido adaptações na França e Bélgica (DEARMAN, 1991). De uma maneira geral consiste na representação das três unidades mais superficiais da área cartografada, recorrendo a símbolos e bandas cuja espessura, cor e orientação são função da espessura das camadas, da sua sucessão vertical (aflorante, intermédia ou mais profunda) e/ou das suas características essenciais. Na representação da camada mais superficial são “abertas” janelas para os níveis imediatamente subjacentes.

DEARMAN (*op. cit.*) dedicou a esta metodologia um capítulo inteiro do seu livro “*Engineering Geological Mapping*”, traçando a sua evolução e exemplificando-a.

Este método foi empregue em diversos países da Europa, inclusive Portugal (Fig. II.5), nas cartas geotécnicas da Área de Sines (LNEC, 1974) e do Porto (OLIVEIRA *et al.*, 1995); contudo, caiu em desuso. Em situações em que as variações em profundidade são mais significativas, a trama das faixas é mais densa, e a leitura destes documentos torna-se difícil.

2.3.5 Sucessão de Unidades e Legenda Tipo Perfil

Em regiões onde existe uma homogeneidade muito grande da sequência dos terrenos em profundidade, pode recorrer-se a uma técnica muito utilizada nas cartas de solos, em que se faz uso de uma cor (ou símbolo) ou conjunto de cores (ou símbolos) para representar uma sucessão de duas ou mais unidades.

A representação da distribuição espacial das características geotécnicas pode ser associada, quer localmente, em função de zonas onde se avaliaram aquelas propriedades, quer em toda a área cartografada recorrendo, por exemplo, a isolinhas ou a tabelas onde se definem as propriedades geotécnicas associadas a determinado símbolo /padrão ou cor (Quadro II.5). Esta metodologia admite que os limites entre as unidades assim definidas são verticais, pelo que as interpretações estruturais convencionais dos limites geológicos não podem ser aplicadas.

Uma modificação desta metodologia foi concebida nos Países Baixos por HAGEMAN (1963 *in* GEOLOGICAL SURVEY OF NETHERLANDS *et al.*, 1986) para resolver o problema da representação das relações entre os depósitos do Holocénico e do Plistocénico. Aplica-se predominantemente a regiões planas, com poucos afloramentos, onde ocorrem formações aluvionares ou deltaicas.

II. Cartografia Geotécnica

Quadro II.5 - O método da sucessão de unidades litogenéticas utilizado por DAM *et al.* (1977, adaptado) para definir as unidades da carta geotécnica de Bruxelas.

Formações Cartografadas	Unidades Geotécnicas										
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1. Aterros		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
2. Argilas aluvionares		◆	◆								
3. Turbiditos		◆	◆								
4. Siltes		◆		◆		◆	◆			◆	◆
5. Areias e seixeiros aluvionares		◆	◆	◆	◆						
6. Areias "Lédiens"											◆
7. Areias "Bruxelliens"							◆		◆		
8. Areias argilosas e argilas "Paniséliens"										◆	◆
9. Complexo areno-argiloso e argiloso "Yprésiens"		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
10. Complexo arenoso Landeliano		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
11. Complexo argilo-arenoso Landeliano		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
12. e 13. Crés e Soco Paleozóico		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆

O método não mostra claramente qual a verdadeira extensão em área das principais unidades que afloram, o que constitui uma desvantagem. Outra consiste na dificuldade em apreciar a variação da espessura das unidades, bem como a de outros atributos.

2.4 Utilização de Computadores

Embora os métodos analógicos convencionais permitam o manuseamento dos dados das Ciências da Terra, eles são extremamente limitados pela sua natureza não digital, ou seja, é possível efectuar análises numéricas e estatísticas dos dados que existem nas cartas, mas à medida que aumenta a quantidade de dados que contém, aquela análise torna-se impraticável, como já se mencionou anteriormente.

A evolução rápida do *software* e *hardware* nos últimos tempos, em especial na última década, tem vindo a proporcionar novos métodos de trabalho aos especialistas em Ciências da Terra e, em particular, na área da cartografia digital. Contudo, tais métodos têm vindo a ser aplicados essencialmente a situações geológicas pouco complexas.

Entre as primeiras utilizações de computadores para a elaboração de sínteses a partir de diferentes cartas, incluem-se os trabalhos de TILMAN *et al.* (1975), FROELICH *et al.* (1978), LAIRD *et al.* (1979), VAN DRIEL (1980) e RADBRUCH-HALL *et al.* (1987). Neste último trabalho, a metodologia seguida foi designada por *computer composite-mapping*, englobando os seguintes passos (Fig. II.6):

- a) após a selecção dos atributos ou conjuntos de atributos que influenciam o objectivo da carta em elaboração, divide-se a área em análise segundo uma malha regular definindo células;
- b) a cada célula definida atribui-se um peso em função da importância relativa do atributo em análise; efectua-se então a soma dos pesos parciais de cada célula para obter o peso total;
- c) definição de um símbolo/padrão/cor para cada célula em função do peso total; delimitação das unidades assim definidas.

Este método é uma variação da metodologia analógica definida por MCHARG (1971) e já referida no capítulo anterior. Este procedimento ainda hoje é utilizado na análise de dados em modelos matriciais dos SIG.

Os computadores vieram proporcionar os meios necessários à manipulação eficaz de grandes volumes de dados e à sua análise, nomeadamente numérica tentando-se, assim, diminuir a subjectividade na elaboração de mapas e auxiliar o processo de interpretação e de avaliação de inter-relações entre os diferentes atributos. A expressão cartográfica final é também facilitada, ao disponibilizarem uma extensa gama de ferramentas de desenho que permitem melhorar a representação gráfica final.

Para além disso, como uma carta geotécnica é um tipo de documento que pode ser sempre actualizado e melhorado à medida que aumenta o volume de dados disponível sobre a área representada, a utilização de computadores para armazenar todos os dados utilizados anteriormente, facilita e acelera grandemente a revisão e a edição de uma versão mais actualizada, uma vez que a informação não se torna obsoleta só porque se alteraram as necessidades ou os objectivos que conduziram à sua selecção (JONHSON *et al.*, 1998).

Há diversos tipos de *software* que permitem manipular dados e representar cartas digitais; os mais comuns são sistemas do tipo CAD e SIG existindo, contudo, alguns outros *software* específicos.

Das quatro funções que o computador pode desempenhar, isto é, manipulação, interpretação, representação e edição, apenas a primeira e a última são completamente automáticas (SILVA, 1990). O processo de interpretação tem um grau de automatismo variável, permitindo distinguir duas técnicas distintas:

II. Cartografia Geotécnica

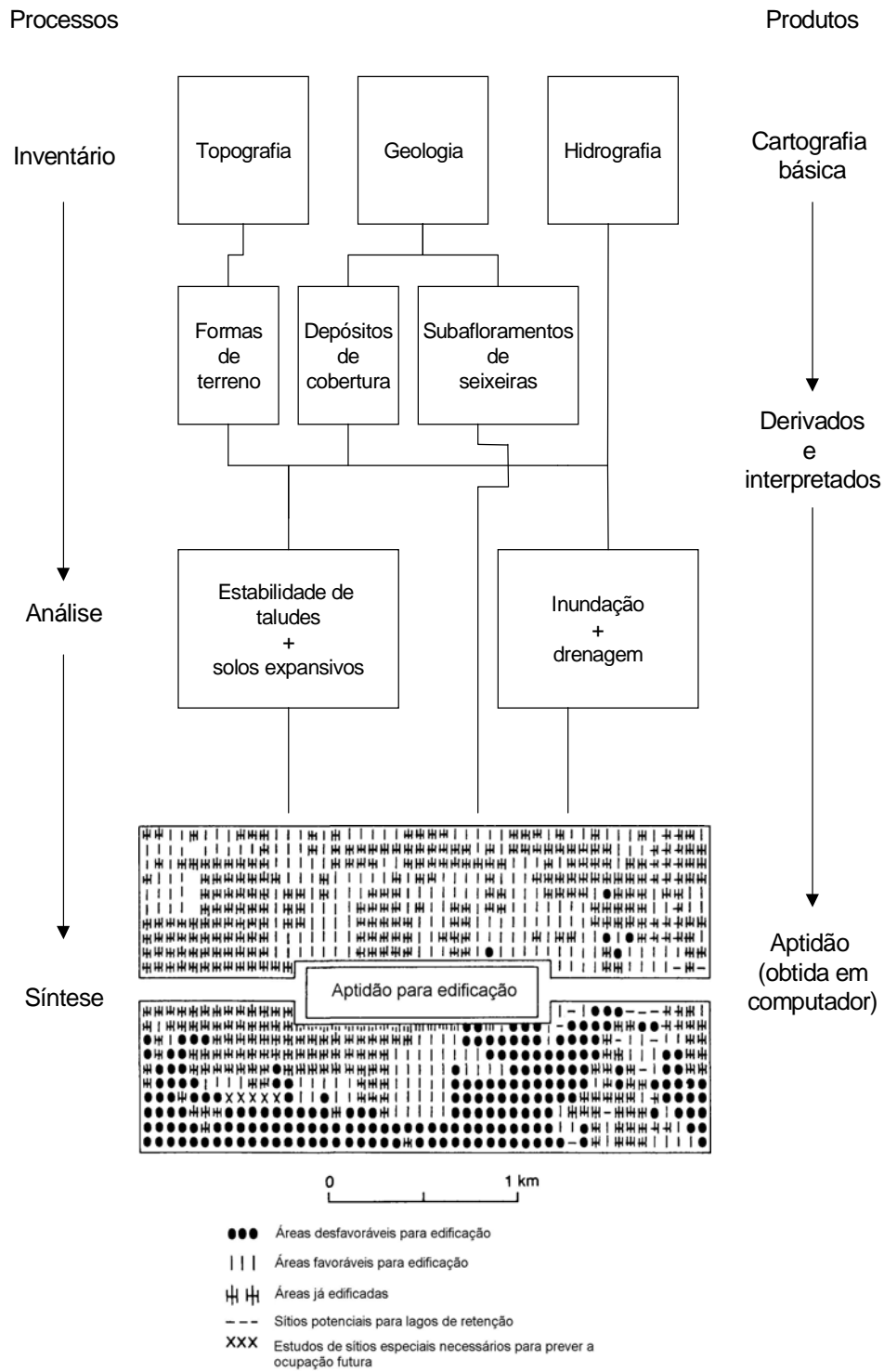


Figura II.6 - Esquema do sistema "computer composite-mapping" de FROELICH *et al.* (1978, adaptado).

- a **automática**, em que o computador efectua a interpretação rápida dos dados com base em análises lógicas, por exemplo booleana (NATHANIEL & ROSENBAUM, 1994; MARINOS, PERLEROS *et al.*, 1997; MARINOS, PLESSAS & VALADAKI-PLESSAS, 1997), ou matemáticas, por exemplo através da elaboração de algoritmos (NARANJO *et al.*, 1994; ORLIC & SUNARIC, 1994; MEIRA & CALIJURI, 1997; ABOLMASOV *et al.*, 1998). Uma vez efectuada e testada a programação inicial, é simples examinar as implicações que resultam, quer da alteração dos critérios de selecção dos atributos a pesar, quer da ponderação dos pesos que lhe foram atribuídos, bem como de qualquer actividade relativa à actualização dos ficheiros existentes. Há apenas que ter o cuidado de **avaliar** os resultados obtidos;
- **com auxílio do computador**, em que, por processos iterativos, o especialista vai interpretando os dados sendo assistido por ferramentas que os programas de desenho em computador lhe facultam, em consonância com as suas necessidades, nomeadamente, a possibilidade de efectuar em tempo real ampliações ou reduções de uma área, sobreposição alternada de diferentes níveis de informação (que correspondem a diferentes factores do meio em análise), etc.. SILVA (1990) e SILVA & RODRIGUES-CARVALHO (1991) fazem uma breve apreciação das vantagens deste método com base numa aplicação a um caso real. Esta tecnologia foi utilizada essencialmente durante cerca de uma década (BUISSON *et al.*, 1979; MONTANARI & PREVIATELLO, 1979; VAN ZUYLEN, 1982a, b; BOONSTRA, 1983; BOCCO *et al.*, 1990; COULTHARD *et al.*, 1990; DURAND, 1990; SILVA 1990), que coincidiu com a implantação dos programas de desenho do tipo CAD em computadores pessoais.

Ambas as técnicas cartográficas atrás expostas baseiam-se, geralmente, na existência de uma BD que serve de suporte à informação utilizada e às interpretações feitas. Foi nos finais da década de sessenta, inícios da década seguinte, que surgiram as primeiras BD geotécnicas, ligadas a grandes zonas urbanas, onde a informação geológica e geotécnica disponível, em especial sob a forma de sondagens, cresce rapidamente devido à realização contínua de novos estudos. Foi o que aconteceu no Canadá (num total de vinte e oito cidades, tendo *Ottawa* sido a pioneira) e em França (*Nancy*, *Paris* ou *Rouen*) e, posteriormente, noutros centros europeus como Barcelona, Helsínquia, Bruxelas, Londres, Madrid, Porto, etc. (ARNOULD *et al.*, 1978; DAM *et al.*, 1977; CALEMBERT *et al.*, 1980, CANDELA, 1988; SILVA, 1990; ELLISON *et al.*, 1993; TELES & FERNANDES, 1994; OLIVEIRA *et al.*, 1995; WHITE & KARROW, 2001, entre outros).

O facto de as políticas de gestão dos recursos naturais implicarem a disponibilização de informação actualizada de natureza multisectorial, tem conduzido à necessidade de criar sistemas de bases de dados afim de se poder aceder à informação actualizada sobre o uso do solo, em tempo real. A aplicação tradicional dos diversos tipos de SIG em termos de gestão, cartografia e modelação de dados espaciais e atributos associados, bem como a tomada de decisões espaciais iniciou-se, como seria de esperar, nas ciências e profissões que têm a ver com o terreno. Os respectivos modelos de dados também

foram herdados de fontes de aquisição de dados terrestres (WRIGHT & GOODCHILD, 1997). Os modelos de dados constituem o coração dos SIG, uma vez que determinam o modo como os fenómenos são representados em formato digital. Os SIG são BD concebidas para conter informação espacialmente localizada na Terra e proporcionam ao utilizador uma interface gráfica associada a uma capacidade de efectuar análises temáticas, espaciais ou não. Ao oferecer capacidades analíticas mais sofisticadas, espera-se que os SIG constituam mais do que um inventário e um sistema de visualização para as cartas digitais. Nesta ferramenta, as operações de interrogação, análise e visualização são interdependentes e permitem ter dois tipos de interacção com a BD: pode-se aceder a dados, mas também se pode contribuir com os resultados da análise para completar a BD. Assim, derivam-se novas cartas a partir da informação inicialmente existente e com base num determinado conjunto de associações especificadas.

2.5 Custo - Benefício

Existem poucos trabalhos que se tenham debruçado sobre a análise de custos associados à execução de cartas geotécnicas e dos benefícios obtidos, devido à problemática inerente à quantificação dos parâmetros que se utilizam numa análise deste tipo (BHAGWAT & BERG, 1992; MULDER, 1990). Os dois estudos mencionados em seguida têm subjacentes contextos diferentes: o mais antigo foi efectuado imediatamente após a elaboração de uma carta geotécnica, enquanto que o outro pretendeu avaliar os benefícios de cartas efectuadas dez anos antes; mas ambos têm a mesma finalidade - avaliar a rentabilidade do investimento que se efectua ao realizar uma cartografia geotécnica para uma dada área com um determinado tipo de ocupação do solo.

No que se refere aos benefícios, salienta-se que estas cartas não podem substituir os estudos de sítios, mas apenas orientar a sua concepção e apoiar a selecção dos métodos a utilizar. Para além disso é difícil contabilizar as reduções nos encargos que decorrem da existência de cartografia geotécnica adequada, não só porque estes documentos não têm apenas repercussão imediata, eles prolongam-se no tempo, mas também porque é difícil calcular o valor económico daqueles. Tenha-se em atenção, por exemplo, os benefícios que resultam de se cumprirem as restrições à ocupação do solo em zonas susceptíveis de serem afectadas por fenómenos naturais perigosos.

No que respeita aos custos, existem alguns conceitos intuitivos:

- o custo unitário de uma carta será necessariamente dependente da dimensão da área a levantar, da sua acessibilidade, bem como da respectiva escala de trabalho e características do terreno (morfologia, homogeneidade e heterogeneidade geológica), na medida em que condicionam o tempo exigido para um mesmo nível de detalhe;

- o custo irá aumentar com a distância a que a área se encontra da base de trabalho;
- o custo será, igualmente, muito dependente da quantidade e tipo de informação disponível, uma vez que esta condiciona a quantidade e tipo de informação adicional a obter. A disponibilidade de informação bibliográfica, a sua distribuição na área a estudar e a forma como se encontra organizada, são ainda factores importantes.

MULDER (1990) desenvolveu uma metodologia, que considerou os benefícios e custos listados no Quadro II.6 referentes à carta geotécnica elaborada para a cidade de Amesterdão, tendo verificado que ao fim de 3.2 anos o montante investido no mapa estaria amortizado, contabilizando apenas os custos associados aos estudos de sítios e de pesquisas bibliográficas que seria necessário efectuar caso não existisse aquela carta; ou menos de 1.2 anos, se fossem consideradas, ainda, as economias relativas à selecção de sítios mais adequados para construção.

BHAGWAT & BERG (1992) seguiram uma via metodológica mais elaborada, o que não significa que seja mais precisa do que a anterior, para avaliar as vantagens económicas de ampliar a cartografia “geológica e ambiental” para outras zonas do Estado de *Illinois*, em resposta a um pedido do Senado ao *Geological Survey* daquele estado americano. Utilizaram como base para essa estimativa os resultados (custos/benefícios) obtidos da publicação, em 1982, de cartografia idêntica para dois concelhos naquele Estado, *Boone* e *Winnebago*.

Quadro II.6 - Cartas geotécnicas de Amesterdão: estimativa dos benefícios e dos custos inerentes, segundo MULDER (1990, adaptado).

Actividades em que se verificam eventuais economias	Encargos referentes às fases de elaboração
<ul style="list-style-type: none">• Pesquisa bibliográfica de dados.• Concepção de planos de urbanização e de estudos de sítios (para expansão urbana e/ou infra-estruturas)• Exploração de materiais de construção e água potável.• Preparação de escavações (profundidade do nível freático, escavabilidade dos materiais e estabilidade de taludes).• Avaliação da aptidão (fundações, instalação de aterros sanitários, etc.).• Prevenção da ocupação de locais susceptíveis de serem afectados por fenómenos naturais eventualmente perigosos ou mitigação da perigosidade através da adopção de medidas de protecção.	<ul style="list-style-type: none">• <i>Estudos de gabinete (recolha bibliográfica e interpretação de fotografia aérea).</i>• <i>Aquisição de dados (levantamento de terreno, prospecção e ensaios, amostragem; análise de resultados).</i>• <i>Concepção, manipulação e edição de mapas (eventual constituição de bases de dados).</i>• <i>Elaboração de uma memória descritiva.</i>• <i>Reprodução dos documentos.</i>• <i>Eventual manutenção de bases de dados.</i>

No âmbito do trabalho tentaram definir, quantitativamente, os potenciais benefícios que resultariam apenas de eventuais economias, por unidade de área cartografada, ao

evitar-se, futuramente, a realização de trabalhos de descontaminação do geoambiente, nomeadamente dos solos e dos aquíferos subterrâneos, que constituem uma riqueza geológica importante naquele Estado. Consideraram que os efeitos benéficos significativos só se fariam sentir cerca de 10 anos após a realização das cartas, tendo estimado que nessa altura, e para o cenário considerado, se teria um retorno de cerca de 1.2 a 2.7 vezes os valores investidos na realização dos mapas (*op. cit.*).

3. ABORDAGENS METODOLÓGICAS

A experiência de aplicação de cartografia geotécnica ao planeamento não é igual em todo o mundo, verificando-se que cada país seguiu preferencialmente um ou outro tipo de metodologia, tendo alguns privilegiado a aplicação mais precoce de métodos de cartografia digital, nomeadamente os EUA e França. Como seria de esperar, a dimensão do país condicionou de sobremaneira a escala de trabalho, como é o caso do Brasil, EUA e ex-União Soviética, entre outros, onde preponderaram as escalas pequenas e, marginalmente, as médias. Como para estas escalas os limites apresentados numa carta de unidades geotécnicas se aproximam das unidades litostratigráficas das cartas geológicas, e considerando ainda que implicam uma abordagem mais genérica das diferentes características do meio físico, nomeadamente as geotécnicas, considerou-se não ser de incluir neste subcapítulo tal abordagem, tanto mais que a presente dissertação é especialmente vocacionada para a ocupação do meio urbano e suburbano. Consultaram-se, por isso, apenas trabalhos a uma escala maior ou igual a 1:25 000.

Os exemplos que se apresentam incluem, quer cartografia analógica quer digital e, nesta última, serão referidos alguns dos vários exemplos internacionais de aplicação de SIG na elaboração de cartas geotécnicas, nomeadamente no âmbito da cartografia de fenómenos geológicos perigosos.

Existem alguns estudos sobre os métodos de elaboração de cartografia geotécnica, dos quais se destacam os publicados por SANEJOUAND (1972) e ANON. (1972) e, em parte com base nestes dois trabalhos, o guia da UNESCO/IAEG (1976). Mais recentemente, refira-se o livro de DEARMAN (1991) que, contudo, ignora algumas contribuições metodológicas importantes, como a espanhola (CENDRERO *et al.*, 1987) ou brasileira (ZUQUETTE & GANDOLFI, 1990), entre outras.

Seria impossível apresentar neste subcapítulo todas as metodologias utilizadas ou, inclusive, comparar as suas vantagens e desvantagens, uma vez que muitas têm um carácter regional.

As cartas geotécnicas, qualquer que seja o seu método de elaboração, têm implicações legais em alguns países, como é o caso das cartas geocientíficas na Alemanha (LUTTIG, 1978) e as cartas PER (*Plans d'Exposition aux Risques*) em França (ver COELHO, 1980 e LAMAS, 1998). Na Inglaterra e Gales existe legislação que descreve a informação que é necessário obter antes de se projectar a ocupação de terrenos instáveis, a qual inclui cartografia no domínio das Ciências da Terra (DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, 1989 *in* MCCALL & MARKER, 1990).

Na sequência de recomendações apresentadas por MATULA (1979) ao Simpósio de Cartografia Geotécnica que decorreu em *New Castle upon Tyne*, alguns estudos passaram a conter, a partir da década de noventa, nas cartas geotécnicas para fins de planeamento:

- uma análise dos impactes que certos atributos geológicos têm no desenvolvimento urbano e a avaliação das potenciais alterações introduzidas no meio geológico pela intervenção humana (cartas de vulnerabilidade à poluição / protecção ou preservação). São exemplo, os trabalhos desenvolvidos por HRASNA & SZABO (1994), HRASNA & VLCKO (1994), VORONOV & KOZLOVA (1994) ou WANG & JIONG (1997);
- a quantificação dos atributos utilizados nos zonamentos para fins específicos, a fim de minimizar a subjectividade inerente a uma análise deste tipo. Entre os muitos estudos que seguiram esta abordagem, refiram-se os de BOTTINO & CIVITA (1986), CENDRERO & TERAN (1987), MIN-ZONG & HONG-QI (1990), PACHAURI & PANT (1992), ORLIC & SUNARIC (1994), VAN WESTEN *et al.* (1994), VLAHOVIC (1994) e ABOLMASOV *et al.* (1998).

Existe uma grande diversidade de métodos e critérios que são utilizados na elaboração das cartas geotécnicas. Para aplicações no âmbito do planeamento e ordenamento do território, recomenda-se a representação de um conjunto de factores (litologia, morfologia, processos activos, etc.) separadamente em cartas descritivas que se designam de básicas, na medida em que contém os elementos do meio geológico com os quais o Homem vai interagir, ou já foram por ele afectados. Estes mapas são depois combinados e integrados derivando-se então novas cartas que interpretam “qualidades significativas”, isto é, relevantes para o planeamento (estabilidade de taludes, susceptibilidade à erosão, trabalhabilidade dos materiais, etc.); as unidades geotécnicas são geralmente definidas segundo o critério litogenético (UNESCO/IAEG, 1976). No conjunto, são documentos de diagnóstico que reflectem as condições actuais da região e os seus recursos.

A partir das cartas de base e/ou derivadas obtêm-se as cartas de síntese, os documentos finais directamente utilizados por outros profissionais, que avaliam a capacidade, impacte ou aptidão para o desenvolvimento de certas actividades, ou que recomendam ou restringem determinados tipos de usos do solo.

O Quadro II.7 apresenta alguns tipos de cartas geotécnicas que a Geologia de Engenharia pode desenvolver para fins de planeamento.

Existirá sempre algum grau de incerteza no conhecimento geológico e geotécnico de qualquer área devido, quer à insuficiência de dados, quer à variabilidade espacial das condições ou aos processos de evolução geológica naturais. Deste modo, a par das referências às potenciais utilizações da informação final apresentada, devem também referir-se sempre as respectivas limitações.

Quadro II.7 – Algumas cartas geotécnicas para o planeamento.

Cartas temáticas	Observações
<p>Base (factores do meio)</p> <p>Litologia/Estrutura; Geomorfologia, ex.º: - declives, - formas do relevo, - inventário de movimentos de terreno.</p> <p>Hidrogeologia, ex.º: - inventário de pontos de água; - tipos de aquíferos e circulação de água subterrânea; - níveis piezométricos;</p> <p>Inventariação das actividades antrópicas.</p> <p>Sítios de observação/prospecção/ensaios</p>	<p><i>São, na globalidade, cartas factuais que ilustram a distribuição de algumas componentes do meio natural: solos e rochas, declives, movimentos de terreno, etc.</i></p> <p><i>Carta auxiliar, por exemplo, para documentar pontos de amostragem.</i></p>
<p>Derivadas</p> <p>Unidades geotécnicas; Susceptibilidade/Perigosidade, ex.º: - movimentos de terreno, - inundação, - contaminação água, - liquefacção.</p>	<p><i>Obtidos apenas da análise das cartas base, às vezes implicando uma avaliação entre a inter-relação dos diferentes factores em referência que resultam num zonamento preliminar.</i></p>
<p>Síntese</p> <p><i>Fins múltiplos, ex.º:</i> - Zonamento geotécnico, - Probabilidade de ocorrência (hazard).</p> <p><i>Fins específicos, ex.º:</i> - Aptidão / Restrição à ocupação, - Inventariação / Protecção de recursos. - Riscos (<i>risk</i>).</p>	<p><i>Compiladas a partir dos tipos de cartas anteriores. Tentam avaliar o comportamento dos terrenos face a determinada solicitação/intervenção e representar globalmente os recursos a proteger para o desenvolvimento ou áreas com especial aptidão ou restrições à ocupação do solo. As cartas de zonamento para fins múltiplos, são cartas geotécnicas que têm informação para leigos misturada com outras para profissionais com alguns conhecimentos nas Ciências da Terra - por exemplo engenheiros civis. De todas as cartas referidas, as elaboradas para fins específicos são as que têm uma terminologia menos específica, surgindo a jusante das anteriores.</i></p>

4. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA EM PORTUGAL

A cartografia geotécnica em Portugal remonta à década de sessenta, quando o Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, iniciou os trabalhos que pretendiam culminar na elaboração de uma carta geotécnica para Lisboa e que se quedou por uma carta litológica complementada com informação relativa à construção de pavimentos de infra-estruturas viárias (LNEC, 1962 *in* COELHO, 1980).

Durante a década de setenta, o LNEC iria contribuir com alguns trabalhos de cartografia geotécnica para fins de planeamento, de que se destacam os do Plano Integrado de Almada (LNEC, 1973) e da Área de Sines (LNEC, 1974), que implicaram a realização das mais desenvolvidas campanhas de prospecção geotécnica (métodos geofísicos e mecânicos) e de ensaios *in situ* e em laboratório que até hoje se realizaram para a elaboração de cartas geotécnicas.

No início da década seguinte, foi publicado o trabalho de Gomes COELHO (1980), que constituía, até ao aparecimento da carta geotécnica do Porto (OLIVEIRA *et al.*, 1995), o trabalho de cartografia geotécnica mais abrangente que foi desenvolvido em Portugal para fins de planeamento municipal. O mesmo autor esteve, alguns anos depois, na origem da primeira tentativa de microzonamento sísmico que se efectuou em Portugal para uma área urbana - Faro (COELHO, 1986).

Na década de oitenta incluem-se, ainda, algumas cartas litológicas complementadas por observações de carácter geotécnico elaboradas por Mendia de Castro para alguns gabinetes de apoio técnico às autarquias (GAT) da região Centro (CASTRO 1985; 1986; 1988; 1989 *in* GOMES, 1992). Os restantes trabalhos de cartografia para apoio ao planeamento e gestão do território foram realizados no âmbito de trabalhos de investigação ligados às universidades de Aveiro, Coimbra e Lisboa.

A Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa foi sede de um conjunto de investigações que visaram obter cartas designadas “geoambientais” (FARRAIA, 1989; SILVA, 1989; LISBOA, 1993; SOBREIRA, 1995), isto é, tentaram seguir a metodologia de CENDRERO & DIAZ DE TÉRAN (1990). O trabalho de LISBOA (1993) representa um esforço mais compensado, tendo caracterizado o meio geológico da Área de Paisagem Protegida da Costa Vicentina. Merecem ainda referência os trabalhos de ALMEIDA (1991), que viria a contribuir com mais alguns elementos relativos ao conhecimento do comportamento geotécnico do solo e subsolo de Lisboa, e MARQUES (1997) que analisou, exaustivamente, a dinâmica de movimentos de terrenos ao longo da costa algarvia, constituindo um contributo valioso para o ordenamento daquela orla costeira.

As Faculdades de Letras da Universidade de Lisboa (ZÊZERE, 1988; 1992; ZÊZERE & RODRIGUES, 1992, entre outros) e de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (LAMAS, 1989; GRAÇA, 1990; NEVES, 1995) contribuíram igualmente com alguns estudos de inventariação de movimentos de terrenos e erosão, tendo inclusive alguns deles avançado para a realização de cartas de susceptibilidade à ocorrência daqueles fenómenos, embora sob a designação de “cartas de risco”; apenas um corresponde a uma carta de perigosidade relativa a um eixo viário (*op. cit.*, 1995).

A Universidade de Aveiro esteve na base da execução de um conjunto de cartas de factores e de síntese para apoio ao planeamento de municípios da região Centro durante a última década do século XX. Neste âmbito, foi apresentado um conjunto de cartas de capacidade resistente (LADEIRA & GOMES, 1994a,b; LADEIRA & RODRIGUES, 1994) que aparecem no seguimento de uma metodologia avançada por COELHO (1980) para elaboração da carta de aptidão para fundações de Setúbal.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra esteve igualmente na origem de alguns trabalhos de investigação que incluíram a realização de cartografia temática no domínio da Geotecnia, como os trabalhos de SARAIVA (1986) e TAVARES (1990).

A ilha da Madeira foi igualmente abrangida por cartografia geotécnica, no âmbito de estudos desenvolvidos por RODRIGUES & AYALA (1994) e ROSA (1995), o segundo dos quais apresentou uma tese de mestrado à Universidade Nova de Lisboa neste domínio.

A década de noventa corresponde à introdução de computadores na elaboração de cartas geotécnicas em Portugal, primeiramente para assistir o especialista no processo de desenho, sobreposição e análise das cartas de factores utilizados e, finalmente, para a edição final da carta.

No primeiro estudo, SILVA (1990) aplicou o programa AutoCAD à elaboração de uma carta de zonamento para fins múltiplos para a faixa marginal do Tejo, entre Cacilhas e Portinho da Costa, no concelho de Almada.

Finalmente, refiram-se três exemplos de cartas elaboradas com o apoio de SIG. A primeira base de dados gráfica - a carta geotécnica do Porto, elaborada em ambiente UNIX, foi encomendada por aquela edilidade (OLIVEIRA *et al.*, 1995). Um método de barras ortogonais, representando o nível aflorante e o imediatamente subjacente, foi o seleccionado para apresentar a carta de zonamento para fins múltiplos; para além desta carta, incluía ainda uma carta de aptidão à construção, obtida a partir da maioria das cartas de factores entretanto realizadas (Quadro II.8).

Quadro II.8 - Cartas de factores e auxiliares da carta geotécnica do Porto (OLIVEIRA *et al.*, 1995).

Cartas temáticas	Entidades representadas
<p>Factores</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geologia, • Geomorfologia, • Hidrogeologia, • Drenagem de superfície, • Inventário de materiais de construção e explorações mineiras, • Ocupação de superfície. 	<ul style="list-style-type: none"> • Declives, inventário de movimentos de terrenos e erosão fluvio-marinha e obras de estabilização e de defesa costeira. • Idêntica à apresentada por COELHO (1980), incluindo cadastro dos pontos de água. • Delimitação de bacias e coeficiente de escoamento. • Cemitérios, lixeiras e entulheiras, e zonas de recursos naturais.
<p>Auxiliar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Localização dos trabalhos de prospecção. 	

DIONÍSIO (1998), no âmbito de uma tese de mestrado realizada para a UNL, elaborou uma carta geotécnica para a encosta sul do Casal Ventoso, em Lisboa, em que se concebeu uma base integrada de dados gráficos e alfanuméricos, em ambiente DOS, para um conjunto de características geológicas e geotécnicas.

Já no início do presente século, CAVALEIRO (2001) utilizou ferramentas de um SIG, em ambiente UNIX, para analisar automaticamente informação geográfica, de índole geológica e geotécnica, e desenvolver um conjunto de cartas geotécnicas para a futura área de expansão da Covilhã. Este trabalho, desenvolvido no âmbito de uma dissertação de doutoramento apresentada à Universidade da Beira Interior, incluiu ainda um conjunto de ficheiros (desenvolvido em ACCESS[®]), relativos a dados de ensaios, *in situ* e em laboratório, efectuados também pelo autor.

III. BASES DE DADOS ALFANUMÉRICOS

1. ORGANIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA

1.1 Problemática Geral

A informação existente em formato analógico encontra-se frequentemente apenas parcialmente arquivada, de difícil acesso, alguma dela está degradada ou mesmo extraviada; para além disso, a sua natureza heterogénea e o peso da exploração manual de um grande volume de informação tornam atractivo o formato digital. Os especialistas em Geologia de Engenharia têm contribuído, com algum sucesso, para melhorar as condições anteriormente existentes no seu domínio de actividade, através da constituição de bases de dados (BD). Contudo, um problema específico com que se debatem é a **complexidade e diversidade das informações de natureza geológica e geotécnica** (Quadro III.1) que têm que ser adequadamente geridas numa BD.

Quadro III.1 - Natureza da informação que se pode incluir em BD de Geologia de Engenharia.

Natureza	Exemplo
Descritiva	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Narrativa de forma e estrutura variável (descrição de materiais expostos numa trincheira, etc.);</i> • <i>Classificações de solos e maciços utilizando sistemas de classificações internacionalmente adoptadas - ASTM, AASHTO, ISRM, etc..</i> • <i>Propriedades físicas (por exemplo, grau de fracturação).</i> • <i>Composição química/mineralógica.</i>
Numérica	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Valores de atitudes de diaclases, resultados de ensaios, etc.</i>
Interpretada	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Interpretações do especialista dos dados observados / registados e correspondendo a informações de natureza subjectiva / empírica.</i>
Gráfica	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mapas; fotografias, esquemas, cortes geológicos, etc.</i>

As BD são uma ferramenta importante para gerir grandes quantidades de informação (Quadro III.2). As suas potencialidades para armazenar, manipular, editar e seleccionar vários tipos e volumes de dados, bem como para os analisar, actualizar ou modificar, constituem instrumentos fundamentais para as tarefas de planeamento e gestão sustentada de um município, bem como para apoiar as actividades de concepção e projecto em engenharia. Comparativamente, as desvantagens associadas à sua criação e exploração são mínimas.

Pôr à disposição da comunidade uma experiência geológica e geotécnica extensa e valiosa, essencialmente à custa da reinterpretação maciça e sistemática da informação já existente, e particularmente abundante em zonas urbanas e suburbanas, tem sido

preocupação de algumas entidades como é o caso de universidades e outros centros de investigação geológica e geotécnica, que efectuam estudos de sítios e/ou investigação aplicada à caracterização geotécnica de determinados terrenos. Por outro lado, são várias as empresas de projecto e de construção que utilizam actualmente BD como parte integrante dos seus sistemas de concepção de projecto e/ou controlo da construção. Por exemplo, em Londres, a concepção e exploração de uma BD com informação geológica e geotécnica preexistente (sondagens e ensaios *in situ* e em laboratório) teve um impacte positivo, quer no cativar de investidores, quer na própria concepção do projecto das *Docklands* (HOWLAND, 1992).

Quadro III.2 - Bases de dados: algumas vantagens e desvantagens.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> Facilidade na consulta por diversos utilizadores, inclusive à distância (Internet). 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Investimento para aquisição de hardware, software e na concepção inicial.</i>
<ul style="list-style-type: none"> Compactas e flexíveis, desde que concebidas para múltiplas aplicações. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Se forem concebidas visando apenas uma determinada aplicação, a sua utilização futura ficará limitada.</i>
<ul style="list-style-type: none"> Rapidez na pesquisa, reavaliação de dados preexistentes e no processamento de dados. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Exigência de formação contínua de pessoal dispendiosa.</i>
<ul style="list-style-type: none"> Melhoria potencial na qualidade da informação manipulada através da concepção de sistemas para o seu controlo. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Necessidade de uniformização e revisão da informação, pelo que os dados em formato analógico e digital podem diferir.</i>
<ul style="list-style-type: none"> Versatilidade permitindo, nomeadamente, a aplicação de <i>software</i> para visualização gráfica e modelação. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Custo e tempo significativos no que se refere a recolha, carregamento e validação de dados.</i>
<ul style="list-style-type: none"> Possibilidade de assegurar um apoio mais fundamentado à tomada de decisões. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Como a duração média da versão de um software é inferior a 2-3 anos, é necessário ir migrando a base para as novas versões que forem surgindo no mercado.</i>

Ao longo da última vintena de anos têm sido disponibilizadas no mercado cada vez mais e melhores ferramentas para a gestão de um grande volume de dados em formato digital. Acresce ainda que, até final da década de oitenta, a informação gráfica, ou geométrica, era arquivada em BD independentes das que continham as restantes informações, designadas alfanuméricas ou semânticas. Uma vez que, inicialmente, as bases de dados alfanuméricas apareceram separadas das de informação geométrica, bem como os respectivos *software*, o presente capítulo refere-se, essencialmente, às primeiras sendo as últimas apresentadas no capítulo IV.

A maioria dos dados semânticos que integram as bases alfanuméricas referem-se a registos de sondagens, embora também possam existir resultados de ensaios *in situ* ou em laboratório, de furos de pesquisa e captação de água, perfis de poços, de trincheiras e, nalguns casos, notas referentes ao acompanhamento de obras. Cada um

destes tipos de “dados pontuais” consiste geralmente num registo com uma dada localização na Terra, sendo, por isso, georreferenciável.

Um problema inerente à realização de BD de registos de trabalhos de prospecção deriva da utilização de elementos cuja exactidão e/ou critérios e classificações utilizados são desconhecidos; para além disso, alguns dados são já interpretados e, portanto, é difícil avaliar a sua qualidade. As descrições dos registos de sondagens são feitas por técnicos com diferentes formações no domínio das Ciências da Terra, e portanto, umas são mais subjectivas e/ou incompletas do que outras. Em Portugal, particularmente, não existe um consenso explícito sobre os elementos e a sequência a contemplar na descrição de uma sondagem geotécnica (SILVA & RODRIGUES-CARVALHO, 2000), ao contrário do que acontece noutros países, como a Grã-Bretanha (GILES, 1994) ou Alemanha (KRAUTER *et al.*, 1990).

Outro factor importante diz respeito às datas dos registos, uma vez que ao longo do tempo as normas e procedimentos de trabalho evoluíram. Para além disso, a proveniência diversificada dos dados e as suas distintas finalidades (por exemplo, geotecnia ou hidrogeologia), faz com que certos aspectos se achem pormenorizados e, inversamente, outros sejam generalizados.

As primeiras tentativas de armazenamento de dados geológicos e geotécnicos em formato digital, tiveram resultados desencorajadores, porque foram demasiado codificados e de uma maneira demasiado simplista (MARCHAND, 1990). A exagerada codificação dos dados pode, inclusivamente, levar à perda de informação. Ainda hoje perdura, nalguns utilizadores de BD, a ideia primitiva de que a transferência de dados para o formato digital lhes confere melhor qualidade, quando de facto apenas se melhorou a capacidade de armazenar e manipular esses mesmos dados.

Os primeiros ficheiros e BD surgiram como uma tentativa de automatizar o trabalho de selecção e processamento dos dados. Alguns deles correspondiam a um inventário das informações geológicas e geotécnicas disponíveis para uma dada região ou país, isto é, a metadados (*metadata*). MCDONNELL & KEMP (1995) define-os como informações relativas a dados e, ulteriormente, SCHWEITZER (1997) considera-os como documentação formalmente estruturada sobre conjuntos de dados digitais.

As redes informáticas e, em especial, o crescimento explosivo da Internet vieram dar outro impulso às BD, existindo actualmente várias bases de metadados que são disponibilizadas para todo o mundo. A era da “sociedade de informação” também atingiu as Ciências da Terra; as novas BD, contudo, não se referem apenas a dados semânticos, mas também a informação geométrica, como mapas. É o caso da base GEIXS, um projecto comunitário e da *European Union of Geological Surveys* (EUGS), sobre metainformação, no domínio das Geociências, necessária para descrever e

caracterizar a informação geocientífica que se encontra dispersa pelos serviços geológicos dos vários países participantes (<http://geixs.brgm.fr/>); neste projecto participa também o Instituto Geológico e Mineiro (IGM).

A concepção de BD implica o acordo prévio sobre um conjunto de definições de termos técnicos com um valor amplo. Este trabalho ainda está no início no domínio da Geotecnia em Portugal (SILVA & RODRIGUES-CARVALHO, 2000).

No que se refere à informação geológica e, em particular, à geotécnica nem sempre é melhor ter informação em formato digital independentemente da sua qualidade. Uma informação imprecisa, incompleta ou até questionável, pode destruir a confiança numa BD geotécnica. A recolha e transcrição das informações pontuais para uma BD deve ser efectuada por alguém com bom conhecimento do modelo geológico e geotécnico da zona em referência e não por alguém que recolhe e introduz mecanicamente os dados sem avaliar a sua exactidão ou fiabilidade. Há uma vintena de anos atrás THOMAS *et al.* (1978) já salientavam que **um dado não controlado é um dado inútil**.

É fundamental que a comunidade geológica e geotécnica entenda que os erros existem em praticamente todos os conjuntos de dados e que, por isso, devem sempre adoptar-se medidas que avaliem a sua qualidade. O único problema que subsiste é que os sistemas de validação automáticos não conseguem distinguir entre um dado correcto e outro errado, mas apenas entre os que são válidos ou não no contexto em referência.

Por outro lado, embora sendo impossível prever todas as utilizações futuras, o modelo adoptado para a BD deve ser o mais flexível possível para garantir a sua aplicação ao mais vasto número de interesses sectoriais, e também a sua longevidade.

Um problema, no mínimo complicado na realização das BD, é a questão de quem é dono das informações pontuais e, portanto, o seu grau de confidencialidade. Em Portugal, a única legislação existente sobre o assunto é antiga e, portanto, está desactualizada, permanecendo assim a confidencialidade das informações uma questão de abordagem difícil.

Uma solução para garantir a confidencialidade poderá ser a manutenção de certa informação na BD como tal. Assim, o administrador da BD tem que incorporar no modelo uma solução para garantir restrições de acesso de acordo com o que fôr definido - por exemplo, os dados podem ser utilizados para fins de investigação (à semelhança do que acontece com os relatórios de sondagens no IGM), mas o acesso directo ao público em geral só pode ser autorizado pelo dono da informação.

Os aspectos envolvidos no processo de divulgação de dados são complexos e de ordem diversa. Um dos exemplos mais citados prende-se com eventual diminuição do

valor de propriedades por se conhecerem certas características geotécnicas adversas (veja-se HEUSER, 1990), ou conduzir à especulação no caso de outros, por possuírem determinada aptidão.

Cada BD deve ter um administrador. Muitas vezes, a inexistência deste é, à partida, motivo para o insucesso da sua exploração e actualização (LOWE, 1995). O seu papel é efectuar a gestão dos dados e deverá contemplar os elementos apresentadas na Figura III.1 (FEINEMAN, 1992 *in* LOWE, 1995). Compete-lhe também gerir os recursos de dados, garantir a integridade do todo e assegurar que ele representa as partes, e que os diversos itens são consistentes e acessíveis; ele decidirá quais os dados a integrar e quais é que são específicos de um determinado grupo de utilizadores e que devem ser mantidos à parte ou que não podem ser livremente consultados. Ele é também responsável pela manutenção e segurança dos dados.

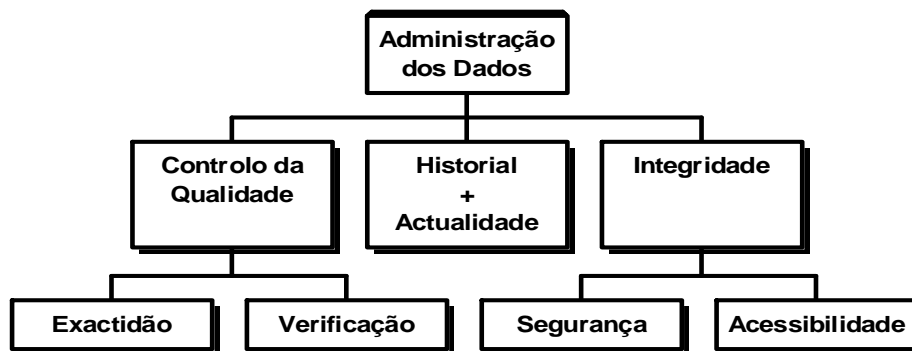


Figura III.1 - Relações entre os diferentes elementos da gestão de qualidade de dados (LOWE, 1995, adaptado).

O administrador de BD geológicos ou geotécnicos é frequentemente alguém que não é da área das Ciências da Terra (DULLER, 1995; GILES, 1995). Nesta situação, ele tem necessariamente que colaborar com um especialista naquele domínio, quer durante a fase de exploração, quer na de actualização.

Os três elementos fulcrais na gestão de uma BD são a qualidade, o tempo e o custo (BECK, 1997). A primeira não pode ser sacrificada só porque se pretende cumprir um determinado prazo ou um orçamento mais exíguo. Por outro lado, o tempo não pode ser ignorado na procura obsessiva de qualidade. O tempo despendido na concepção criteriosa da BD irá diminuir substancialmente os custos futuros, e esta é uma certeza que vale a pena reter.

A concepção e desenvolvimento de uma BD alfanuméricos no domínio da Geologia de Engenharia seguem, em linhas gerais, o esquema apresentado na Figura III.2 e que se irá, de seguida, analisar.

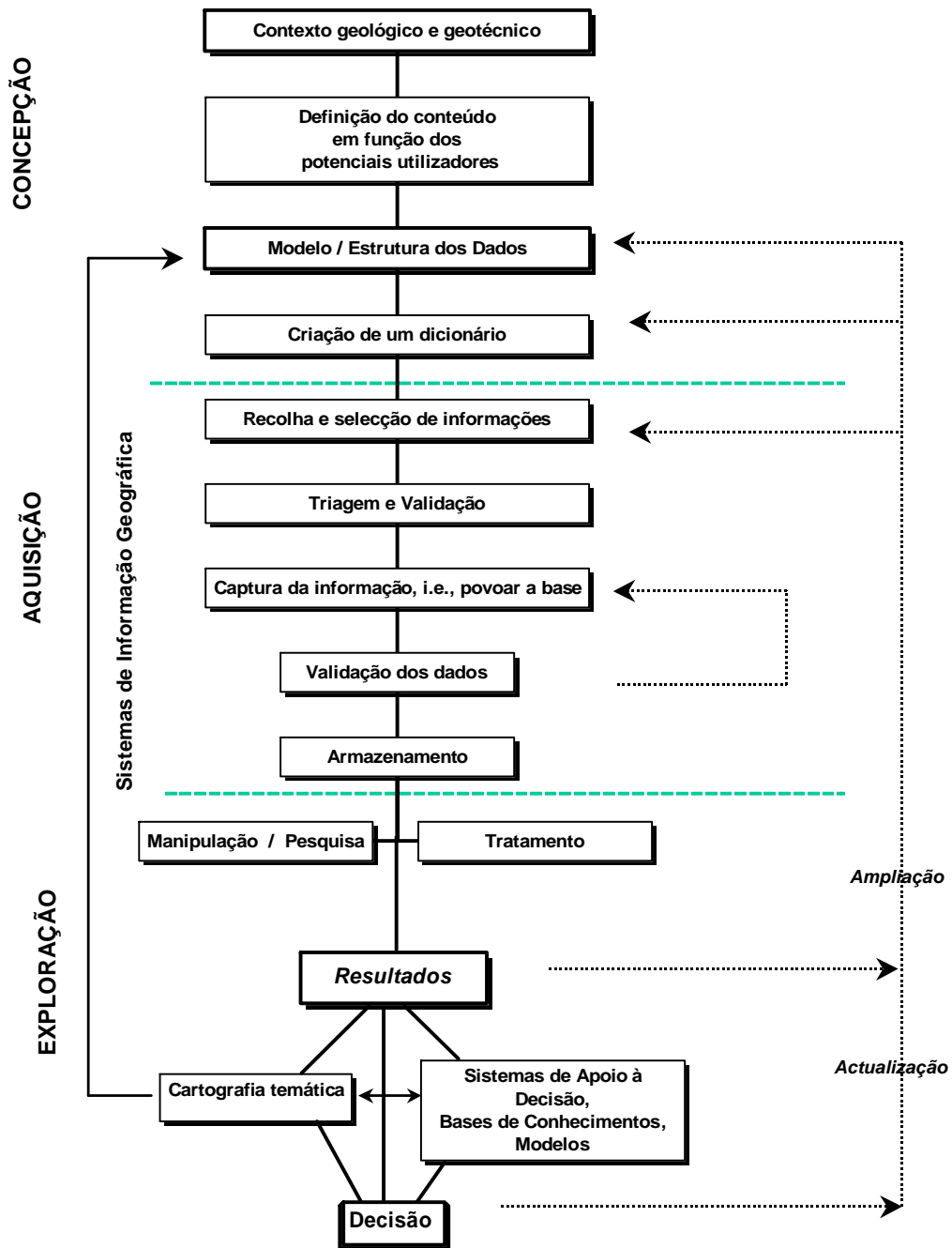


Figura III.2 - Fluxograma das fases de concepção, aquisição e exploração de uma BD em Geologia de Engenharia.

1.2 Concepção

Ao conceber uma BD, tem que se pensar inicialmente nos seus objectivos futuros, a curto e médio prazo, e nos potenciais utilizadores, que muitas vezes não são claramente identificáveis ou que, nalgumas situações, não são capazes de especificar ou indicar quais as suas necessidades. Na maioria dos casos, inclusive no planeamento, os dados coligidos nas BD servem genericamente como base para cartografia de rotina e para a actualização de cartas. De facto, o conjunto destas informações e dos respectivos programas de gestão e processamento constituem, implicitamente, um tipo de carta, por exemplo de documentação, constantemente actualizável.

No entanto, deve sempre pensar-se que os interesses do utilizador podem ir mais além: por exemplo, um projectista pode necessitar de dados para um estudo de viabilidade de fundações de uma determinada estrutura ou um especialista em Geologia de Engenharia requerer informações para projectar um plano de prospecção para o estudo de um sítio.

Existem poucos trabalhos bibliográficos que reflectam sobre o tipo de informação a adicionar em BD de Geologia de Engenharia em zonas urbanas em função dos seus potenciais utilizadores (SILVA *et al.*, 1998). A maioria delas tem sido desenvolvida para uma aplicação específica de um organismo que controla a qualidade e o acesso da informação (CHEW, 1995).

O passo seguinte é analisar a informação, em função do contexto geológico e geotécnico, e descrevê-la de maneira que possa ser armazenada sob formato digital, dependendo das eventuais aplicações futuras. Este constitui um dos passos essenciais na realização de BD - a tentativa de modelar uma parte da realidade. Assim, definem-se as **entidades**, isto é, os fenómenos ou objectos a descrever, e os **atributos**, ou seja, os valores que as descrevem. Seguidamente, têm que se considerar as **relações**, isto é, as associações ou ligações lógicas entre entidades (GUPTILL, 1991; GILES, 1995; RASMUSSEN, 1995). Finalmente, desenvolve-se o modelo lógico recorrendo, para o efeito, a diferentes estruturas e linguagens para manipulação dos dados.

O modelo deve ser suficientemente flexível de modo que, ulteriormente, se possa melhorar ou ampliar, por exemplo, o conhecimento das entidades que o integram ou das suas relações.

A formalização das informações, isto é, a sua descrição numa linguagem compatível com a lógica do computador, é muito importante. Dela depende a redução dos custos de aquisição e a eficácia científica - melhoria da qualidade dos dados e minimização do aparecimento de erros na reinterpretação da informação ao tentar adequá-la ao formato

lógico, com a conseqüente perda de informação utilizável e a criação de pseudo-informação. Para obviar este facto, convém efectuar, simultaneamente, a produção de um registo que integre a transcrição original dos dados, em complemento da BD (HOWLAND, 1992; TURNER, 1994).

É difícil criar uma BD abrangente para uma área urbana, uma vez que existe uma altura a partir da qual qualquer acréscimo de informação é apenas marginalmente importante, podendo até nem acrescentar nada de novo. O que é fundamental é **garantir a qualidade dos dados** que integram a base, pelo que os especialistas em Geologia de Engenharia devem pesquisar os dados disponíveis e avaliá-los, eliminando aqueles que não são adequados para futura utilização.

Importa que, na medida do possível, sejam revistas e avaliadas a exactidão, a fiabilidade e as incompatibilidades de cada “dado pontual”. Uma das formas de o realizar consiste na elaboração de um dicionário de dados, cujas principais vantagens são (CHEW, 1995):

- eliminação da ambigüidade;
- coerência das definições;
- minimização das incompatibilidades e redundâncias;
- separação entre factos e interpretações.

Os dicionários consistem num manual de instruções, sob forma analógica e/ou digital, concebido essencialmente para auxiliar os utilizadores da BD e diminuir os erros e inconsistências no sistema (GILES, 1995; RASMUSSEN, 1995). Devem incluir a descrição de cada elemento da base, a definição clara dos termos que se podem utilizar e os procedimentos a obedecer.

Os dicionários desempenham três papéis importantes numa BD (GILES *et al.*, 1997):

- (i) proporcionam ao utilizador confiança nos dados, ao estabelecer quais são os valores válidos na BD;
- (ii) definem o significado de um determinado termo técnico (ou conjunto de termos) utilizados na BD, uma vez que nas Ciências da Terra, muitas vezes, uma mesma palavra pode ter vários significados, como acontece com as definições de classes granulométricas em Geologia e Geotecnia;
- (iii) permitem a partilha de informação entre vários projectos.

Exemplificando, em Geologia de Engenharia, poderiam surgir redundâncias ou incompatibilidades, como sejam distintos valores, nomenclaturas e significados para dados semelhantes; por exemplo profundidades com diferentes graus de exactidão (arredondamentos) ou um mesmo terreno ser designado por termos diferentes em

função da classificação geotécnica utilizada, existindo uma panóplia de situações que foram inventariadas recentemente por SILVA & RODRIGUES-CARVALHO (2000).

1.3 Aquisição

A localização de potenciais fontes de informação é uma fase preliminar de qualquer estudo de Geologia ou Geotecnia. A disponibilidade da informação básica pode representar um problema e uma limitação importante. Neste processo é-se confrontado, frequentemente, com a dificuldade de obter informações de algumas entidades, especialmente privadas e, depois, com a necessidade de triagem e verificação de todos os elementos recolhidos. Assim, a **pesquisa** e **selecção** de informações são actividades morosas e, portanto, dispendiosas, pelo que fundamentam uma etapa importante na constituição de uma BD.

A recolha e triagem de dados são tarefas especializadas e, idealmente, o especialista nelas envolvido necessita, quer de experiência prévia, quer de conhecimentos sobre as potenciais utilizações da BD. Tais tarefas não devem, portanto, ser encaradas como um trabalho mecânico, uma vez que exigem a discriminação e apreciação do conteúdo da informação ainda durante a recolha, para se efectuar uma primeira selecção da mesma.

Após esta fase, é necessário rever novamente toda a informação a fim de **avaliar** se os dados são factuais ou interpretados e, ainda, aqueles que devem ser rejeitados por exactidão inadequada, imprecisões técnicas e/ou por estarem desactualizados, na medida em que constituem potencial fonte de erros na exploração futura da base, sendo por isso antieconómico armazenar tais dados (LOWE, 1995; TISOT *et al.*, 1988). Esta tarefa é também efectuada, posteriormente, pelo próprio utilizador ao comparar os dados com outros vizinhos; o objectivo é o mesmo: eliminar **inconsistências**. Só assim se poderá diminuir o risco potencial de se chegar a conclusões erradas. Refira-se que, ao contrário dos dados geológicos cuja qualidade em princípio não diminui com o passar dos anos, o mesmo pode não acontecer com os registos geotécnicos; por exemplo, devido a alterações nas técnicas de prospecção ou execução de ensaios.

O controlo de qualidade é complementado por um novo processo de **validação** que decorre durante ou após o carregamento da informação na BD e visa comparar essa informação com os originais analógicos, com valores incluídos no dicionário de dados previamente elaborado (recorrendo a algumas rotinas que os ajudam a validar e exibem resposta específica de alerta quando se efectua o carregamento de um dado inválido) ou com outros dados de locais situados nas imediações.

Um outro meio de validar a qualidade consiste em registar a fonte da informação a fim de possibilitar ao utilizador reavaliar o dado. Adicionalmente devem indicar-se mais

informações sobre os dados, isto é, recorrer a metadados, que registem a sua natureza e origem, a história do processo, a exactidão, as normas, regras e procedimentos adoptados, bem como eventuais processos de avaliação utilizados (CHEW, 1995; LOWE, 1995).

Finalmente, deve testar-se o modelo e, se necessário, reexaminá-lo e optimizá-lo.

1.4 Exploração

Uma BD pode ter diferentes finalidades:

- a) permitir o simples armazenamento e visualização de informação; foi o que aconteceu nas primeiras que foram construídas;
- b) facultar um conjunto de fases de manipulações e pesquisas para exploração através de campos/palavras-chave, que culminam normalmente com a apresentação visual dos resultados;
- c) constituir sistemas mais sofisticados que possibilitem efectuar pesquisas simultâneas mais complexas. A tendência actual é de fundamentar a exploração na aplicação de diversos *software* e diferentes dados (DANGERMOND & SCHUTZBERG, 1998; WARD *et al.*, 1996) com a finalidade de, por exemplo:
 - efectuar tratamentos estatísticos de dados;
 - conseguir sistemas de apoio à decisão (*decision support systems, DSS*) ou bases de conhecimentos (*expert system, knowledge system, knowledge based system - KBS*) a fim de chegar à solução final. É o caso das bases de conhecimentos para auxiliar a interpretação geotécnica de estudos de sítios e a selecção de parâmetros geotécnicos, desenvolvidas respectivamente por MOULA *et al.* (1995) ou SMITH & ROSENBAUM (1994) ou para identificar/classificar unidades de terrenos (FRANZONI *et al.*, 1998; LOLLO & ZUQUETTE, 1997);
 - utilizar as informações para, em conjunto com módulos de *software* do tipo CAD ou SIG, elaborar cartas temáticas no domínio da Geologia de Engenharia (KÂANICHE *et al.*, 2000) ou apelar, inclusive, à modelação e simulação de processos que auxiliem a tomada de decisões.

O processamento dos dados e a tomada de decisões podem implicar, muitas vezes, alterações ao conteúdo da BD, nomeadamente através da inclusão de dados que tinham sido anteriormente considerados não relevantes ou, inversamente, complementá-la com outros novos.

1.5 Actualização

A maioria das BD é concebida de forma a viabilizar a permanente actualização dos dados. A informação arquivada pode ser posteriormente reutilizada ou até reinterpretada no âmbito de novos estudos.

Os eventuais utilizadores devem também contribuir para assegurar a precisão e actualidade dos dados que forem posteriormente adicionados à BD.

A manutenção dos dados implica a actualização dos meios técnicos e humanos e, conseqüentemente, de meios económicos para os suportar. No que respeita aos meios técnicos, em especial, é necessário garantir as condições de manutenção e a actualização do *hardware* e *software*.

2. MODELOS, ESTRUTURAS E GESTÃO DE DADOS

2.1 Algumas Definições

Um **modelo de dados** (*data model*) especifica o conjunto de componentes e respectivas relações que pretendem representar uma abstracção de parte da realidade (GUPTILL, 1991). Existem essencialmente duas vias para desenvolver modelos (RUMBAUGH *et al.*, 1991):

- (1) a que se baseia nos **atributos**, através da compilação de uma lista dos que são relevantes para a aplicação em estudo e a sua separação em grupos que salvaguardem as dependências funcionais, e
- (2) a que se baseia nas **entidades**, descobrindo as que são essenciais para a aplicação a desenvolver.

Num projecto típico existem cerca de dez vezes mais atributos que entidades, pelo que o segundo método de concepção atrás referido é o mais maleável. Entre os modelos que se baseiam em entidades, salientam-se os semânticos e os orientados para objectos. Destes, o mais utilizado nas Ciências da Terra tem sido o **entidade-*associação***, que será objecto de atenção em 2.2; na última década, a modelação orientada para objectos tem vindo a ganhar crescente importância como descrevem diversos autores, nomeadamente RUMBAUGH *et al.* (*op. cit.*) ou TISDALE (1996).

A **estrutura dos dados** especifica a organização lógica dos componentes do modelo de dados e a maneira como as relações entre componentes deve ser definida explicitamente no ambiente computacional, pelo que um modelo de dados inicial pode ser idealmente representado por diferentes estruturas (GUPTILL, 1991). Essencialmente,

recorre-se a três tipos de estruturas de dados: a hierárquica, em rede e a relacional. As duas primeiras foram utilizadas nas Ciências da Terra durante, respectivamente, a década de setenta e no final da década seguinte. A estrutura hierárquica voltou a ser retomada mais recentemente, uma vez que se adapta à selecção do caminho (mecanismo de inferências) a seguir nas bases de conhecimentos (YINGQING, 1994). Ulteriormente, a estrutura relacional assumiu uma importância e utilização excepcional no domínio da Geologia e Geotecnia, como adiante se exemplifica.

Um método mais recente baseia-se em objectos e combina a estrutura dos dados e o comportamento de uma entidade. Esta abordagem contrasta com a programação convencional em que a estrutura dos dados e o seu comportamento estão apenas marginalmente interligados (RUMBAUGH *et al.*, 1991). Os dados são quantificados em entidades discretas e bem definidas: os **objectos**, que podem ser conceitos ou elementos concretos. O estado de um dado objecto é constituído por todos os valores dos atributos que ele pode tomar, cada um pertencente a um domínio predefinido (TISDALE, 1996). A concepção lógica de uma base de dados orientada para objectos (BDOO) é mais simples, na medida em que se elimina a distinção entre os esquemas conceptual e lógico, ou seja, entre modelo e estrutura de dados.

O conjunto dos valores que, na BD, se podem imputar aos atributos, designa-se de **domínio**. Os domínios permitem um grande controlo semântico e são mais do que mera informação sobre o formato dos dados (que podem ser, por exemplo do tipo numérico, data, carácter, booleano, etc.), na medida em que são também utilizados para prevenir a realização de operações inconsistentes entre atributos envolvidos (exemplo: ter um mês do ano com valor 13).

Os *software* que permitem a definição, armazenamento, manipulação e exploração dos dados designam-se **sistemas de gestão da base de dados** - SGBD (*data base management systems*); possuem um conjunto de características que contribuíram significativamente para o impacto positivo da tecnologia das BD (Quadro III.3).

Quadro III.3 - Algumas vantagens dos SGBD (RUMBAUGH *et al.*, 1991).

- Independência entre dados e programas de aplicações.
 - Protecção dos dados contra falhas de *hardware* ou de erros do utilizador.
 - Possibilidade de partilhar dados em vários locais, organizações e plataformas de *hardware*.
 - Utilização simultânea por múltiplos utilizadores com diferentes privilégios sobre o mesmo conjunto de dados.
 - Confidencialidade, segurança e integridade dos dados garantidos pelo controlo centralizado.
 - Possibilidade de extensão da BD, sem que ocorram alterações nas aplicações já existentes.
-

Os SGBD proporcionam os meios, explícitos ou implícitos, para o utilizador descrever as condições que deseja ver analisadas por uma interrogação (*query*) à BD. Esta pode ser dividida em duas partes:

- qualificação dos registos existentes que verificam uma condição;
- a obtenção dos valores dos atributos daqueles registos ou doutros que estejam relacionados com eles.

Estes sistemas têm experimentado uma evolução mais lenta do que as estruturas de dados, mas já existem alguns, nomeadamente os orientados para objectos que permitem (RASMUSSEN 1995):

- impor por si só restrições de operações sem ter de recorrer a outras aplicações;
- definir novos tipos de dados e, ainda mais importante, funções adequadas a esses novos dados.

Uma vez que no presente trabalho se irá utilizar apenas o modelo entidade-associação e o relacional, serão estes os que irão ser desenvolvidos em seguida.

2.2 Modelo Entidade - Associação (EA)

Este modelo semântico corresponde ao método mais utilizado para definição dos modelos conceptuais de BD em Geologia e Geotecnia e recorre aos conceitos de entidade, associação e atributo para representar os dados (GUPTILL, 1991; RASMUSSEN, 1995). Foi definido por CHEN (1976 *in* BERTINO & MARTINO, 1993) e pretende capturar explicitamente o maior número possível de **associações** semânticas entre **entidades** do mundo real. Uma **entidade** corresponde a qualquer tipo de coisa, conceito ou facto com interesse para o sistema em estudo e a respeito da qual há informação na BD, enquanto que um **atributo** é um elemento que está associado a uma entidade e que assume valores distintos num determinado domínio. Há dois tipos de limitações explícitas para as associações (RASMUSSEN, 1995):

- o que relaciona a existência de associações com a criação de entidades; uma sondagem (entidade), por exemplo, tem que ser efectuada numa determinada localização, atravessa litologias diversas e pode ser acompanhada pela realização de ensaios ou colheita de amostras;
- o que restringe o número e tipos de entidades que podem tomar parte numa associação; recorrendo ao caso da sondagem, ela só pode ser efectuada numa única localização e intersecta, pelo menos, uma camada de terreno (1) ou várias (M).

Este modelo também impõe algumas restrições específicas (RASMUSSEN, 1995), a saber:

- cada entidade só pode ser de um único tipo; contudo, as extensões das entidades associadas (EEA) efectuadas ao modelo original de CHEN permitem considerar subtipos, que serão subconjuntos de outras entidades, bem como o inverso - uniões (WORBOYS *et al.*, 1990); por exemplo, perfis verticais e sondagens são um mesmo tipo de entidades, podendo admitir-se que as últimas são um caso particular das primeiras;
- todos os **atributos**, isto é, as propriedades que descrevem entidades (no caso de uma sondagem a cota da boca, a profundidade a que intersectou água, etc.), têm que tomar um valor dentro de um domínio predefinido;
- todas as entidades têm que ser univocamente identificadas por um atributo dentro do modelo - da mesma maneira e para sempre. Estes atributos designam-se de **chaves**; por exemplo, o número que univocamente identifica cada sondagem na BD.

Este método é, contudo, considerado pobre para conseguir descrever a complexidade dos dados geológicos e geotécnicos (RASMUSSEN, 1995).

Os diagramas de dados são esquemas que permitem visualizar graficamente as entidades e as suas associações num determinado modelo de dados. Neste modelo utilizam-se geralmente *rectângulos* para as entidades, *losangos* para as associações entre elas e *elementos ovais* para representar os atributos. As linhas com setas indicam fluxos de dados que reflectem a opção estabelecida e costumam adicionar-se, ainda, símbolos para dar uma ideia da *cardinalidade* que existe na associação estabelecida entre entidades. A análise destes diagramas não permite entrever explicitamente quais são os atributos, mas eles são itens dentro das entidades.

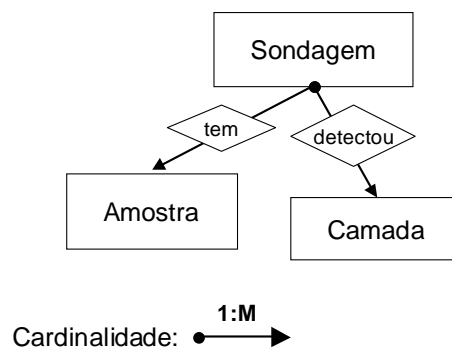


Figura III.3 - Exemplo do diagrama de dados para uma SONDAGEM.

Na Figura III.3, as ligações significam que uma dada SONDAGEM pode ter um número variável de AMOSTRAS ou de registos de CAMADAS, mas o inverso não é verdade. Cada ocorrência de CAMADA ou de AMOSTRA pode apenas ser associado a uma SONDAGEM.

Tem-se, assim, uma relação de “um para muitos”, ou seja 1:M, entre a entidade SONDAGEM e as suas congéneres.

2.3 Estrutura Relacional

Na década de oitenta realizaram-se várias BD geotécnicos para algumas áreas urbanas adoptando uma estrutura relacional descrita por CODD (1970 *in* DATE, 1990) e que se baseia na teoria dos conjuntos. A estrutura básica dos dados é, neste caso, a **relação** e a sua materialização é uma tabela; cada **tabela** representa uma entidade; cada **coluna** da tabela corresponde a um **atributo** e os valores inscritos nas **linhas** representam o **registo** da ocorrência daquela entidade. Deste modo, diz-se que estas BD se baseiam em “valores” (DATE, 1990). Cada valor da tabela deve pertencer ao respectivo domínio ou então é considerado nulo (Fig. III.4).

ID_Sondagem	ID_Perfil	ID_Relatório	Sond_Relatório	Tipo_Furação	Inclinação	Data_fim	Prof_fim
275	1190	49	Sond.2	Percussão	90	1967-12	15,40
70	1083	17	S3	Percussão	90	1994-05	11,00
177	1179	31	A	Percussão	90	1995-10	23,90
339	1242	69	S-1	Percussão	90	1971-10	14,50
341	1241	70	S3	Percussão	90	1985-05	18,32
342	1240	71	Sond.1	Percussão	90	1976-08	15,60
346	1221	75	Sond.2	Percussão	90	1983-11	19,80
347	1220	76	Sond.2	Percussão	90	1975-10	21,50
156	1164	29	S8	Percussão	90	1999-03	12,64
325	1057	63	13	Rotação	90	1996-08	8,00
354	1214	80	S-10	Percussão	90	1966-11	10,00
324	1056	63	5	Rotação	90	1996-08	8,00

Figura III.4 - Exemplo de tabela relacional para uma SONDAGEM.

Existe uma separação clara entre o armazenamento de itens lógicos (associações) e físicos (tabelas), o que permite que cada tabela seja acedida independentemente de qualquer associação, sendo, assim, um modelo de dados muito flexível. A concepção da estrutura da tabela deve, contudo, obedecer a alguns requisitos (Quadro III.4) a fim de garantir a viabilidade de execução de operações matemáticas e lógicas sobre as tabelas. Os resultados de manipulações de tabelas também são tabelas e não há restrições ao tipo de pesquisas que se podem efectuar à base, desde que existam campos comuns nas tabelas - são as **chaves** (que podem ser primárias ou externas). A nova tabela contém apenas os campos seleccionados pelo utilizador, diminuindo-se a redundância; por outro lado, esta tabela pode ser apenas virtual (designa-se *view*), não tendo sequer existência física.

Quadro III.4 - Regras para criar uma estrutura relacional (adaptado de DATE, 1990; RUMBAUGH *et al.*, 1991).

Condições a respeitar
<ul style="list-style-type: none">• Deve existir apenas uma tabela separada para cada entidade. O nome da relação é o da entidade e os seus atributos são também os mesmos.• Cada uma tem exactamente um identificador único - chave primária (integridade da entidade), podendo adoptar-se números sequenciais (<i>surrogates</i>).• Cada registo não pode ser decomposto - é um valor simples (numérico, data, lógico, etc.).• As tabelas devem ser criadas de modo a que os dados que contêm sejam acessíveis, independentemente uns dos outros.• Não devem ser redundantes, isto é, a mesma relação entre elementos deve estar representada uma vez só. Se esta condição não for respeitada, torna-se muito difícil actualizar e pesquisar os dados, porque eles estão armazenados em mais do que um lugar.

São comercializados vários SGBD relacionais (SGBDR), sendo os mais referidos na bibliografia geotécnica o INGRES da *Relational Technology Inc.*[®]; o ORACLE da *Oracle Corporation*[®] e o INFORMIX da *Informix Software Inc.*[®]. A *Microsoft*[®] disponibilizou uma versão de ACCESS[®], que permite competir, para BD mais pequenas, com os *softwares* anteriormente referidos. Normalmente o acesso a uma BD relacional é efectuado através de *Structured Query Language* (SQL), a linguagem padronizada da ISO (*International Organisation for Standardization*) e da ANSI (*American National Standard Institute*); é uma linguagem não procedimental em que se tem apenas de especificar o que se pretende pesquisar, não sendo necessário conhecer previamente a forma como os dados estão organizados fisicamente (DATE, 1990). Para além de possibilitar definir o esquema da BD, o SGBDR proporciona ainda funções para controlar e gerir a BD, nomeadamente através da concessão de acessos a utilizadores.

Pode recorrer-se a metadados nos SGBDR quando se usam várias metatabelas para armazenar informação sobre a definição das tabelas. Por exemplo, se fôr criada uma tabela SONDA GEM para armazenar a informação referente ao número de identificação e à firma que a executou, a metatabela irá armazenar que cada SONDA GEM pertence a um relatório que tem um número de identificação único (campo do tipo numérico) e que foi executada por uma empresa (campo de sequência de caracteres ASCII).

Designam-se por **critérios de normalização** as regras desenvolvidas para evitar inconsistências lógicas nas operações de actualização das tabelas. Cada uma das formas inibe um tipo de redundância na organização da tabela que existiria se pudesse actualizar-se cada uma delas independentemente das outras. Há várias formas de normalização, verificando-se que cada nível mais elevado adiciona mais uma restrição à forma normal imediatamente anterior (Quadro III.5).

Quadro III.5 - Algumas formas normais da estrutura relacional (adaptado de DATE, 1990; RUMBAUGH *et al.*, 1991).

Forma normal	Definição
1 ^a	<i>Cada valor de atributo não contem um grupo repetido.</i>
2 ^a	<i>Satisfaz a anterior e cada linha tem uma chave primária. Os restantes campos têm que depender plenamente dela.</i>
3 ^a	<i>Satisfaz a anterior e cada atributo que corresponda a uma chave externa é consistente com a correspondente chave primária (integridade de referencial).</i>

As BD relacionais apresentam, contudo, algumas desvantagens, nomeadamente:

- dificultam, por si só, a exploração de ligações espaciais e geométricas entre dados, que são importantes em Geologia e Geotecnia;
- não admitem que a identidade do objecto, por si só, seja um atributo;
- são demasiado simples, não permitindo expressar adequadamente as relações complexas entre os objectos geológicos (que no fundo correspondem à agregação de objectos); não admitem associações hierárquicas, nem a noção de herança de atributos, ambos necessários por exemplo para a informação sísmica (HAIFEI, 1995);
- é difícil expressar relações estáticas (ou estruturais) e de comportamento de objectos, bem como definir as restrições que estes devem preencher em estruturas tabelares (BERTINO & MARTINO, 1993); por outro lado verifica-se, nalgumas situações, que a estrutura das entidades e as suas associações têm que sofrer alterações ao longo do tempo, o que se torna particularmente difícil neste tipo de BD;
- as interrogações que geralmente se efectuam às BD resultam em tabelas de um ou mais elementos em forma de listagem e, muitas vezes, é importante relacionar estes elementos com outros existentes numa área/parcela próximos, o que se torna difícil apenas em ambiente relacional.

Os sistemas de informação geográfica (SIG) permitem responder a algumas destas limitações; outras restrições apontadas são ultrapassadas pelos modelos orientados para objectos, já referidos.

3. APLICAÇÕES EM GEOTECNIA

3.1 Internacionais

O meio digital tem sido crescentemente utilizado para comunicar informação geológica, tendo a adopção, quase universal, de certos sistemas de classificação de unidades de

solos (ASTM ou AASHTO) e rochas (IAEG; ISRM) assumido uma importância fundamental (MALLEEN, 1997).

Os primeiros trabalhos, ou seja, os bancos de dados, não eram mais do que um conjunto de ficheiros digitais que registavam os dados pontuais em formato lido pelo computador - era o tempo dos cartões perfurados.

A distinção entre **bancos** e **bases de dados** é simples de acordo com ZARZYCKI (1982): aqueles surgiram primeiro e representam uma colecção de dados armazenados em ficheiros que podem ser acedidos e manipulados de uma maneira ordenada totalmente dependente de um programa informático; as bases de dados (BD) contém, para além dos ficheiros, **funções** que permitem ao utilizador definir, de acordo com um modelo lógico, os elementos dos dados e particularizar associações entre eles. Enquanto que os bancos de dados não possuem qualquer ferramenta que permita relacionar informação entre ficheiros, uma base permite aceder aos dados e associá-los ou responder a interrogações formuladas, em função das necessidades do utilizador.

As primeiras experiências do armazenamento de dados das Ciências da Terra em formato digital foram efectuadas no estado de *Ontario*, Canadá: o ficheiro SAFRAS (BIE, 1974), elaborado em 1949, pela universidade de *Western Ontario*, em *London*, e mais tarde, no início dos anos 60, um outro executado pela universidade de *Waterloo*, em *Waterloo*, possibilitaram a constituição de bancos com informações locais que podiam ser consultadas pelo público (WHITE & KARROW, 2001). Entretanto, em finais da década de sessenta, os serviços geológicos do Canadá lançaram um trabalho pioneiro para a constituição dos primeiros bancos de dados de vinte e oito áreas urbanas, que ficaram concluídos em 1971/72, constituindo o denominado "*Urban Geoscience Automated Information System*" - UGAIS (*op. cit.*).

Na década de setenta surgiram os primeiros ficheiros de dados em diversos países da Europa, em especial na França, por iniciativa de algumas universidades, mas principalmente ligadas aos trabalhos de investigação dos laboratórios regionais de *Ponts et Chaussées* e/ou ao *Bureau de Recherches Géologiques et Minières* (BRGM); alguns deles encontram-se sintetizados no Quadro III.6, podendo apreciar-se uma evolução na estruturação e nas aplicações finais dos dados.

A maioria das bases visavam essencialmente automatizar a execução de cartas geotécnicas, com sucesso no que se refere ao traçado de cartas de isovalores (isopacas, profundidade do topo do firme rochoso, etc.). Porém, no que se refere a cartas de zonamento geotécnico, tal só foi conseguido para situações geológicas simples, o mesmo acontecendo com a execução automática de perfis geológicos e/ou geotécnicos. A BD GEOTEC, realizada para *Nancy*, que também visava a elaboração de

cartografia geotécnica, à escala 1:10 000, não continha informação relativa às unidades estratigráficas, mas apenas à litologia, facto inédito para a época (THOMAS *et al.*, 1978).

Quadro III.6 - Algumas características de bancos/bases de dados em França nas décadas de 70/80.

Designação	MIISFIIT	FIDGI e FIDGI II	SYGFRID	SOCRATE	GEOTEC
Fonte	GUIENNET, 1976 BUISSON, 1976	MAHIEU, 1975 BUISSON, 1976	HAVARD <i>et al.</i> , 1976	BUISSON, 1976	THOMAS <i>et al.</i> , 1978
Local	<i>Marselha</i>	<i>Rouen</i>	<i>Nancy</i>	<i>LCPC*</i>	<i>Nancy</i>
Objectivo	Banco de sondagens e ensaios	Banco de sondagens	BD de recursos em agregados	BD sondagens	BD geotécnicos de Nancy
Sistema	-	Gestão de ficheiros	SGBD	SGBD	SGBD
Estrutura	“Ficheiros”	Hierárquica	Hierárquica	Rede	Hierárquica
Pesquisas	Predefinidas	Predefinidas, depois limitadas	Limitadas	Limitadas	Não limitadas
Outras aplicações	Des. de registos sondagens e cartas de isovalores	Des. de registos, trat. estatístico e mapas e perfis automáticos	Trat. estatístico e cartas de isovalores.	Des. de registos, trat. estatístico e mapas automáticos.	Des. de registos, trat. estatístico e cartas automáticas (isopacas e zonamento).

*LCPC - Laboratório central de Ponts et Chaussées; Des. - desenho; Trat. - Tratamento.

A aplicação de computadores à realização de BD em Geologia de Engenharia em finais dos anos setenta, pode ser apreciada pelos artigos que integram as actas dos segundo e terceiro congressos internacionais da IAEG, respectivamente em S. Paulo/1974, e em Madrid/1978. Nos primeiros bancos de dados, a maioria da informação estava codificada e armazenada de uma maneira inconsistente, pelo que era difícil localizá-la e recuperá-la posteriormente. A pluralidade dos autores concebiam os seus sistemas de armazenamento e, nalguns casos de gestão, escreviam os respectivos programas de computador e codificavam intensivamente os dados de maneira a servir as suas necessidades, definindo previamente as interrogações que poderiam ser executadas pelo programa.

Estes procedimentos estiveram na origem de grandes problemas de incompatibilidade entre conjuntos de dados, sistemas e utilizadores, o que levou a um certo insucesso e mesmo ao abandono ulterior desses métodos. Menciona-se novamente o exemplo do Canadá, onde uma revisão do programa UGAIS efectuado ao fim de vinte e dois anos e abrangendo vinte e três das vinte e oito áreas estudadas, demonstrou que onze municípios tinham ignorado as BD, outros três arquivaram-nas e esqueceram-nas, e apenas nove (39%) prosseguiram o trabalho de actualização e migração dos dados para versões de *software* mais recentes, nomeadamente dBase IV[®]. Sòmente quatro municípios (Vancouver, Otava, *St. John*, na Terra Nova, e Toronto) aplicaram a tecnologia SIG já na última década do século XX (WHITE & KARROW, 2001).

Os anos oitenta assinalaram o prosseguimento da organização de ficheiros, por exemplo, o de *Tyne e Wear* em microfilme (STRACHAN & DEARMAN, 1982), bem como de BD em diversos países europeus segundo as estruturas hierárquicas ou em rede, como é o caso da base *Geo-Madrid* (LÓPEZ PALANCAR & GARCIA YAGUE, 1986). O investimento na concepção dos SGBD prosseguiu com o recurso a linguagens de programação como o *Fortran* ou o *Cobol*, já utilizados no final da década anterior. É durante esta década que o programa *dBase*[®], nas suas diferentes versões, começa a ser adoptado como SGBD e assume preponderância a utilização de computadores pessoais.

O destaque vai, contudo, para a adopção da estrutura relacional a partir de meados daquela década, que veio abrir novas perspectivas na exploração das bases (Quadro III.7). LOUDON & LAXTON (1986 *in* MCCALL & MARKER, 1990) e MONGEREAU & KAANICHE (1988), salientam que a estrutura relacional consegue diminuir a redundância e, sobretudo, a codificação intensa dos dados geológicos e geotécnicos em comparação com as estruturas hierárquicas e em rede anteriormente adoptadas.

Quadro III.7 - Algumas BDR de áreas urbanas dos anos oitenta.

Designação	GEOSHARE	TUNIS	SOUTHAMPTON PROJECT
Fonte	RAPER & WAINWRIGHT, 1987	MONGEREAU & KAANICH, 1988.	EDWARDS et al., 1987; LAXTON, 1987 <i>in</i> MCCALL & MARKER, 1990
Local	Londres	<i>Tunis</i>	<i>Southampton</i>
Objectivo	BD para facilitar a análise e armazenamento da informação geotécnica (Fig. 4).	BD geotécnicos para elaboração de cartografia geotécnica.	BD de relatórios geotécnicos, sondagens e ensaios laboratório.
SGBDR	CODASYL	n.r.*	ORACLE
Outras aplicações	Perfis dos depósitos superficiais obtidos iterativamente; desenho dos registos; cartas de isovalores.	Desenho dos registos; perfis dos depósitos superficiais obtidos iterativamente; cartas de isovalores.	Posterior ligação a uma BD gráfica em SIG.
Observações	Inclui um dicionário de dados; acesso restrito a utilizadores com <i>password</i> .	Tratamento estatístico dos dados.	Este estudo serviu de ensaio à elaboração das BD geológicos do BGS**, na década seguinte.

*n.r. = não referem; **BGS - *Bristish Geological Survey*.

A BD *Geoshare* (Quadro III.7 e Fig. III.5) é interessante essencialmente por dois motivos: é das poucas bases que não contém informações crono e litostratigráficas e que não codifica primeiramente a informação litológica antes de introduzi-la na BD, salientando o papel a desempenhar pelos dicionários de dados. Por seu lado, o *Southampton Project* (Quadro III.7), incluído num trabalho de cartografia “geológica aplicada”, constituiu uma experiência piloto para as bases de dados espaciais e não

espaciais de informação geológica e geotécnica que o BGS veio a desenvolver e explorar na década seguinte.

Os atributos incluídos numa BD geológica e geotécnica não diferiram substancialmente ao longo das três últimas décadas sendo, geralmente, os mesmos que os da *Geoshare* (Fig. III.5).



Figura III.5 - Os itens incluídos na BDR *Geoshare* (adaptado de RAPER & WAINWRIGHT, 1987).

A necessidade de normalizar os formatos para arquivar digitalmente a informação das Ciências da Terra, bem como a de criar informação sobre as BD preexistentes, as suas estruturas e o respectivo conteúdo começa a difundir-se na década de oitenta. Nos EUA, o USGS iria ser pioneiro no lançamento destes trabalhos (ALBERT, 1983) que entretanto foram seguidos noutros países, como os Países Baixos (MULDER, 1987) ou o Reino Unido (ADLAM *et al.*, 1988).

Novas metodologias marcariam o final dos anos oitenta, sendo de evidenciar:

- a **integração de BD** semânticas com **sistemas gráficos** de tipo CAD (BENTLEY *et al.* (1990) e FREEMAN & FOX Ltd. (1988 *in* MCCALL & MARKER, 1990), entre outros);
- as primeiras **aplicações da tecnologia de SIG**, tais como os trabalhos de EDWARDS *et al.* (1987) ou LAXTON (1987 *in* MCCALL & MARKER, 1990), se bem que não se consiga ainda interligar com sucesso as BD geométricos e alfanuméricos em Geotecnia. Neste domínio surgem também as primeiras tentativas de aplicação de sistemas baseados em conhecimentos, como são as de ALIM & MUNRO (1987 *in* TOLL, 1990) e SANTAMARINA & CHAMEAU (1988 *in op. cit.*).

Assinale-se, ainda, a integração plena de bases de dados, geológicos e geotécnicos, georreferenciados em SIG traduzindo-se, nalguns estudos, por uma evolução positiva na partilha e análise de informações. Estas afirmações são facilmente documentadas pelas actas de três congressos internacionais da IAEG na década de noventa: Amesterdão/1990, Lisboa/1994, e Vancouver/1998. Já é possível utilizar diversos conjuntos de dados simultaneamente numa análise ou num modelo; a tendência é, inclusive, de conjugar os diversos dados das Ciências da Terra no sentido de cobrir áreas de aplicação mais vastas.

A década de noventa é profícua em exemplos de BDR aplicadas a diversos domínios (Quadro III.8). Saliente-se o trabalho de VAN WESTEN *et al.* (1994), no domínio da Geologia de Engenharia, que utilizou com sucesso a associação entre BD alfanuméricos e geométricos, num ambiente de SIG, para obtenção de cartas de susceptibilidade a movimentos de terrenos. Entre as diversas BD efectuadas para áreas urbanas, salientam-se os projectos INGEO-BASE para Amesterdão (HERBSCHLEB, 1990) e LOCUS para Londres (ELLISON *et al.*, 1993), com aplicação de tecnologia SIG.

Quadro III.8 - Alguns *software* utilizados em BDR da década de noventa.

Fonte	Natureza dos dados	Local	Software da BD	Aplicação de SIG
DURVILLE <i>et al.</i> , 1991	Ensaios de laboratório de rochas	França	<i>Informix</i>	Não
LASHKARIPOUR & PASSARIS, 1994	Xistos e suas características geotécnicas	Grécia	<i>Alpha Four</i>	Não
TOLL & OLIVER, 1995	Geotécnicos (estudos de sítios)	Reino Unido	<i>Ingres</i>	Não
ROSENSAFT <i>et al.</i> , 1996	Hidrogeológicos	Israel	<i>Informix</i>	Sim
VAN WESTEN <i>et al.</i> , 1994	Geológicos, geotécnicos e geomorfológicos	América Latina	<i>dBase IV</i>	Sim
DIKAU <i>et al.</i> , 1996	(movimentos de terrenos)	Comunidade Europeia	<i>n.r.</i>	Sim
NATHANIAL & ROSENBAUM, 1998.	Geotécnica	Reino Unido	<i>dBase IV</i>	Sim

Em termos de densidade de informação, a base DINO elaborada pelos serviços geológicos dos Países Baixos (NITG-TNO), terá sido provavelmente a melhor: uma média de dez pontos de informação por quilómetro quadrado, incluindo sondagens e ensaios SPT (MULDER *et al.*, 1997).

Em termos de *hardware*, a maioria das BD utiliza estações de trabalho, embora na última meia dúzia de anos a maior parte do *software* já tenha bons desempenhos em computadores pessoais. Os *software* mais utilizados são também bastante diversificados (Quadro III.8).

3.2 Portuguesas

As primeiras BD de informação pontual de índole geológica e geotécnica surgem em Portugal no final dos anos oitenta e prosseguiram na década seguinte, totalizando um total de sete, tanto quanto é do conhecimento da autora. A maioria delas resulta de trabalhos de investigação elaborados no âmbito de dissertações de mestrado apresentadas em universidades de Lisboa e Porto.

Os dois primeiros trabalhos, FIGUEIREDO (1989) e SILVA (1990), basearam-se numa estrutura sequencial de ficheiros para arquivar dados relativos a sondagens da zona ribeirinha do Tejo, respectivamente em Lisboa e Almada, bem como a ensaios de penetração normalizados - SPT. O primeiro fundamentou-se na programação de rotinas para a definição e gestão de ficheiros, enquanto que o segundo estudou o programa dBase III Plus[®] para arquivar os dados (base TAGUS) e a uma pequena rotina em *Fortran* para os introduzir, manipular ou consultar (programa SONDAGEM). Existia, em ambos os casos, um número limitado de interrogações, previamente definidas, que se podiam efectuar aos ficheiros. As descrições litológicas foram previamente codificadas antes de serem introduzidas na BD.

O trabalho de TELES (1992 *in* TELES & FERNANDES, 1994), apresentado à Universidade do Porto, também utilizou programação em *Fortran* para construir um banco de dados de sondagens (designado BDSPT) e respectivos ensaios SPT. Uma aplicação gráfica específica permitia ainda obter o traçado dos registos de sondagens, sendo ainda possível efectuar um tipo predefinido de interrogações aos dados.

No ano seguinte, no âmbito de um estudo desenvolvido pelo LNEC, surgiu a BD INVENTAR - Inventário dos Recursos Hídricos Subterrâneos de Portugal, concebida por LOBO-FERREIRA & OLIVEIRA (1993). Utiliza uma estrutura hierárquica composta por um ficheiro raiz (LOCAL), que define as informações relativas aos pontos de água, e doze ficheiros filhos, que possuem por chave dois registos: NCARTA (número de carta topográfica na escala de 1:25 000 onde se encontra o ponto de água) e NREGISTO

(número unívoco de identificação do registo). Este último nível de ficheiros contém as características dos furos e dos revestimentos, uma síntese das litologias atravessadas (codificadas), as condições piezométricas e de ensaio do furo e resultados dos ensaios de análises de amostras de água. A base possuía, em Junho de 1993, dados referentes a cerca de 6 000 pontos de água subterrânea distribuídos, não uniformemente, por Portugal (LOBO-FERREIRA *et al.*, 1995).

Um ano depois, um trabalho de investigação da universidade de Lisboa apresentou um esboço de uma BD geotécnicos, com uma estrutura também hierárquica, para dados geológicos e geotécnicos de Lisboa (LISBASE), em que o esquema de consulta da informação está limitado a um determinado número de campos identificadores (MACHADO & ALMEIDA, 1994). Os parâmetros e o esquema adoptado são idênticos à BD GEOSHARE.

Em 1995, foi efectuada uma primeira versão de uma BD geotécnicos para a cidade do Porto, tendo para o efeito sido elaborada uma aplicação com o programa CLIPPER[®] para permitir a sua exploração em computadores pessoais (OLIVEIRA *et al.*, 1995). Esta BD viria a ser reformulada mais recentemente para relacionar-se com uma BD geométrica, georreferenciada, dos serviços técnicos daquele Município, onde se encontram arquivadas as diferentes cartas geotécnicas que entretanto foram realizadas em ambiente SIG (*software* ARCINFO[®], da ESRI). Esta nova BD foi concluída no final da década de noventa (OLIVEIRA, 1999, informação oral).

DIONÍSIO (1998) em dissertação de mestrado apresentada à Universidade Nova de Lisboa (UNL), apresentou uma BD semântica semelhante à de RAPER & WAINWRIGHT (1987), segundo a estrutura relacional (ACCESS[®]), onde considerou ainda as informações sobre as unidades cronostratigráficas para um sector de Lisboa (Casal Ventoso). Pela primeira vez em Portugal, tentou relacionar-se esta informação com outra contida numa BD gráfica (ver capítulo IV).

No âmbito de uma cooperação entre a Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL e a Câmara Municipal de Almada em que o presente trabalho se insere, foi inventariado um conjunto de informações geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas que aquela edilidade poderia necessitar a curto e a longo prazos (SILVA *et al.*, 1998). A análise permitiu delimitar uma tendência clara nas entidades e atributos a considerar numa base de dados pontuais em função da sua natureza, nomeadamente informações:

- gerais sobre os estudos de sítios a que correspondem os dados pontuais;
- gerais sobre o tipo de dado pontual, nomeadamente tipo, informações relativas às técnicas específicas utilizadas, data e geo-localização;
- relativas aos terrenos interessados, amostragem efectuada e sua localização na Terra;

- relativas a ensaios *in situ* e em laboratório: tipo, localização e resultados;
- relativas às condições hidrogeológicas detectadas.

Actualmente, no âmbito dos SIG, acresce uma ligação desta informação atrás referida a outra de natureza geométrica, isto é, à sua representação num mapa a fim de possibilitar outras análises, nomeadamente espaciais, da informação geológica e geotécnica. Este aspecto será retomado adiante.

Finalmente, refira-se a base de sondagens GeoCovilhã XXI (CAVALEIRO, 2001), elaborado para conter informação relativas a ensaios de laboratório e *in situ* para a futura área de expansão da Covilhã. Este trabalho recorreu também ao *software* ACCESS®. À semelhança do que acontecia com a primeira versão da BD alfanumérica para a cidade do Porto, também aqui se verificou a impossibilidade de estabelecer uma interligação com a base elaborada para a informação gráfica, que corria em ambiente UNIX (*software* ARCINFO® e ARCVIEW®).

3.3 Custo - Benefício

Há cerca de trinta anos, SANEJOUND (1975) referia-se já à dificuldade de contabilizar os custos de recolha e aquisição de dados preexistentes para a elaboração de uma BD; apenas seriam mais fáceis de avaliar os custos inerentes, quer a novas informações a adicionar às bases preexistentes, quer à exploração dos dados. Deste modo, não é de admirar que, à semelhança do que aconteceu com as cartas geotécnicas, existam também poucos trabalhos sobre a relação benefício-custo da exploração de BD em Geotecnia. Por outro lado, o custo da informação só terá o seu verdadeiro valor para a entidade que desenvolveu a BD.

O custo de *hardware* e da conversão, armazenamento e manipulação de dados era muito elevado nos anos setenta e oitenta, mas tem diminuído progressivamente. As velocidades de processamento e capacidades de armazenamento dos computadores pessoais têm aumentado e estes equipamentos surgem nos mercados a preços cada vez mais acessíveis. A evolução que os *software* apresentaram na última meia dúzia de anos, levou a que os trabalhos com SGBD e aplicações da tecnologia SIG tivessem que ser migrados para novas versões, em regra mais amigáveis e que possibilitam a utilização de conjuntos de dados cada vez mais diversificados. Recorrer a versões de *software* mais generalistas reduz substancialmente o tempo, e a necessidade de desenvolvimento de novos sistemas, modelos e programas.

De uma maneira geral, os investigadores afirmam que, a longo prazo, é sempre mais oneroso manipular informação analógica, em especial se for necessário facultar o

acesso a vários utilizadores. A empresa FREEMAN & FOX LTD. (1988 *in* MCCALL & MARKER, 1990) efectuou um estudo sobre a viabilidade económica da constituição de BD geotécnicos para explorações de georrecursos no Reino Unido, independentemente da sua fase de actividade, tendo verificado o seguinte:

- as operações de arquivo manual são viáveis para conjuntos de dados muito simples, podendo mais tarde ser convertidos para formato digital. De outro modo, é preferível a aplicação de computadores pessoais devido aos seus custos futuros mais baixos;
- à medida que cresce a quantidade de informação, o custo para estabelecer um sistema de arquivo manual ou digital tende a aproximar-se, em especial quando se atinge a ordem dos milhares de registos uma vez que, depois, a consulta e manipulação são facilitadas;
- para cobrir uma vasta área de domínios de informação, o quadro anterior invertia-se; quanto ao das actualizações de dados, é mais económico recorrer ao formato digital, sendo então o custo de uma consulta de elementos, por quilómetro quadrado, cerca de vinte vezes inferior à de um arquivo manual, ainda que este possua um sistema de informações devidamente indexado (*op. cit.*).

No que respeita ao processo de recolha e aquisição de informação para o formato digital, e a partir da experiência obtida no âmbito do projecto da BD de *Southampton*, LAXTON (1987 *in* MCCALL & MARKER, 1990) menciona que é preferível recorrer a um especialista para dar entrada dos dados do que recorrer a alguém com pouca experiência. Neste último caso serão sempre necessárias mais correcções e verificações dos dados introduzidos, aumentando assim os encargos. O conhecimento da área em estudo desempenha também um papel fundamental no processo de recolha e, portanto, no seu custo (CHEW, 1995; DULLER, 1995).

Efectuar, a nível municipal, a actualização apenas dos dados relativos à Geologia de Engenharia é técnica e economicamente inviável (TISOT *et al.*, 1988) e terá sido certamente este um dos aspectos que contribuiu para a descontinuação de algumas bases geotécnicas efectuadas para zonas urbanas. Não obstante, a manutenção de BD geotécnicos é de primordial importância para apoiar adequadamente a tomadas de decisões a nível do município/região a que respeitam afim de garantir, por um lado, a fundamentação dessas decisões e, por outro, a própria actualização futura das BD.

4. PROPOSTA DE BASE DE DADOS ALFANUMÉRICOS

4.1 Metodologia

Como se referiu no capítulo I, esta dissertação visou, entre outros aspectos, complementar o actual Sistema de Informação Geográfica do Município de Almada

(SIGMA) com informação no âmbito das Ciências da Terra e elaborar cartografia geotécnica para o concelho. Para o efeito, foi lançada uma colaboração entre investigadores da UNL, em que se inclui a autora, e técnicos de diversos departamentos daquela edilidade, em especial do Departamento de Obras Municipais e Habitação (DOMH), para seleccionar o tipo de informação a adicionar às actuais BD, alfanumérica e gráfica, do SIGMA e que irá constituir o Sistema de Informação GEO-ALMADA.

Os trabalhos iniciais incluíram uma consulta aos diversos departamentos do Município de Almada (CMA), eventualmente detentores de dados para integrar a base, promovendo a sua recolha, e a localização de outras potenciais fontes (empresas de construção, por exemplo); simultaneamente, procedeu-se à auscultação das necessidades de dados daqueles departamentos, para o presente e o futuro.

A etapa seguinte consistiu na separação dos dados em dois conjuntos: os que melhor se adaptavam a uma BD geométrica (ver capítulo IV) e os que deveriam incluir-se numa base alfanumérica, para complementar a primeira. A estrutura a adoptar seria a relacional, à semelhança do que acontece no projecto SIGMA. As conclusões daquela etapa do trabalho, foram apresentadas em artigo ao oitavo Congresso da IAEG, que decorreu em Vancouver (SILVA *et al.*, 1998).

Para além dos elementos disponibilizados pela CMA e respectivos serviços técnicos, e no sentido de maximizar a quantidade de informações coligidas, foram realizadas no âmbito do presente trabalho, duas actividades complementares:

- recolha de estudos de sítios e outros relatórios de prospecção geotécnica, contendo plantas às escalas 1:100 a 1:25 000, junto de entidades que tivessem realizado trabalhos no concelho, bem como trabalhos académicos e outros efectuados para pesquisa e/ou captação de água; para o efeito foi solicitada, a cerca de duas dezenas de entidades, públicas e privadas, a melhor colaboração institucional no sentido de auxiliar a investigação em curso; outros elementos foram consultados no arquivo do IGM e da então Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais de Lisboa e Vale do Tejo (DRARN-LVT);
- observação e levantamento de perfis em trincheiras naturais e abertura de poços de prospecção junto ao extremo sul do concelho, onde a informação existente era reduzida ou até inexistente; em simultâneo, efectuou-se amostragem de terrenos, segundo uma malha regular previamente definida (média de duas amostras por quilómetro quadrado) visando a ulterior caracterização geotécnica através de ensaios de laboratório.

Este conjunto de trabalhos pretendeu melhorar o conhecimento do modelo geológico e geotécnico da área, de modo optimizar a concepção do modelo de dados, uma vez que as cartas geológicas que abrangem a metade norte do concelho, na escala 1:20 000 e 1:50 000, respectivamente de 1940 e 1963, se encontram desactualizadas como foi

evidenciado por cartografia mais recente dos taludes marginais ao Tejo (RODRIGUES CARVALHO *et al.*, 1989; SILVA, 1990). Por outro lado, o trabalho mais recente de cartografia geológica elaborado por AZEVEDO (1982) que representa o "Pliocénico" da região, na escala 1:25 000, parece desajustado nalguns locais, face a observações realizadas no campo durante o levantamento de trincheiras em todo o concelho. Assim, apenas a reedição da carta geológica da folha 38-B (Setúbal), na escala 1:50 000, que abrange o extremo sul do concelho (MANUPPELLA *et al.*, 1995), apresenta a revisão das unidades litostratigráficas definidas anteriormente para a área. Ressalta, destas observações, que é essencial rever a listostratigrafia e, conseqüentemente, a cronostratigrafia dos terrenos plio-quaternários, pelo que esta informação não poderia ser integrada na BD alfanumérica, ainda que tivesse sido considerada necessária.

Existia ainda um cadastro de pontos de água abrangendo parte da área em estudo (RODRIGUES-CARVALHO *et al.*, 1994), mas os dados incluídos nos ficheiros analógicos encontram-se demasiado sintetizados, pelo que foi necessário completá-los por consulta dos originais. O único conjunto de dados digitais para o concelho, o "TAGUS", efectuado em *dBase III Plus*[®] (SILVA, 1990), incide essencialmente sobre sondagens efectuadas no rio Tejo, entre Cacilhas e Trafaria e, como os dados que contém não foram submetidos a qualquer controlo de qualidade e a informação litológica que possui está demasiado codificada, optou-se por não aproveitar a informação ali arquivada para integrar directamente a BD alfanuméricos.

4.2 Modelo Conceptual

De um modo geral, dividiram-se os dados a incluir na BD em quatro grupos, a seguir discriminados:

- (i) os relativos à origem dos dados e descrição dos elementos que contém, constituindo essencialmente metadados - entidade Fonte; saliente-se a necessidade de incluir também elementos sobre a eventual confidencialidade dos registos que contém e, em caso de pertencerem à CMA, qual o local onde se encontram arquivados;
- (ii) os que descrevem as características dos diferentes tipos de Perfis Verticais, isto é, das sondagens, de poços ou trincheiras e de furos de prospecção ou captação de água, onde pontualmente foram observados e/ou ensaiados os terrenos ou colhidas amostras para laboratório;
- (iii) os que registam a descrição geológica e geotécnica de terrenos em profundidade - entidade Camada;
- (iv) os que se referem aos tipos e resultados de ensaios *in situ* (SPT) e em laboratório - entidades Amostra, Solo-Laboratório, Rocha-Laboratório e MR Índices de Qualidade.

Deste conjunto de dados, os descritos em (ii), (iii) e (iv) referem-se a uma determinada localização espacial no concelho de Almada e traduzem-se pelas respectivas coordenadas cartesianas (x,y) e altitude (h). Uma vez que se pretende ligar esta BD alfanuméricos a outra que contenha os equivalentes geométricos de algumas entidades incluídas na primeira, utilizando para o efeito um SIG, estes elementos serão comuns às duas BD. Foi, assim, necessário dividir as entidades em dois grupos:

- ◆ as que contêm atributos espaciais e que irão integrar uma base geométrica num sistema de informação;
- ◆ as restantes, contendo atributos não espaciais e que podem estar ligadas ao sistema anterior, mas que também podem ser consultadas independentemente dele, via um SGBDR.

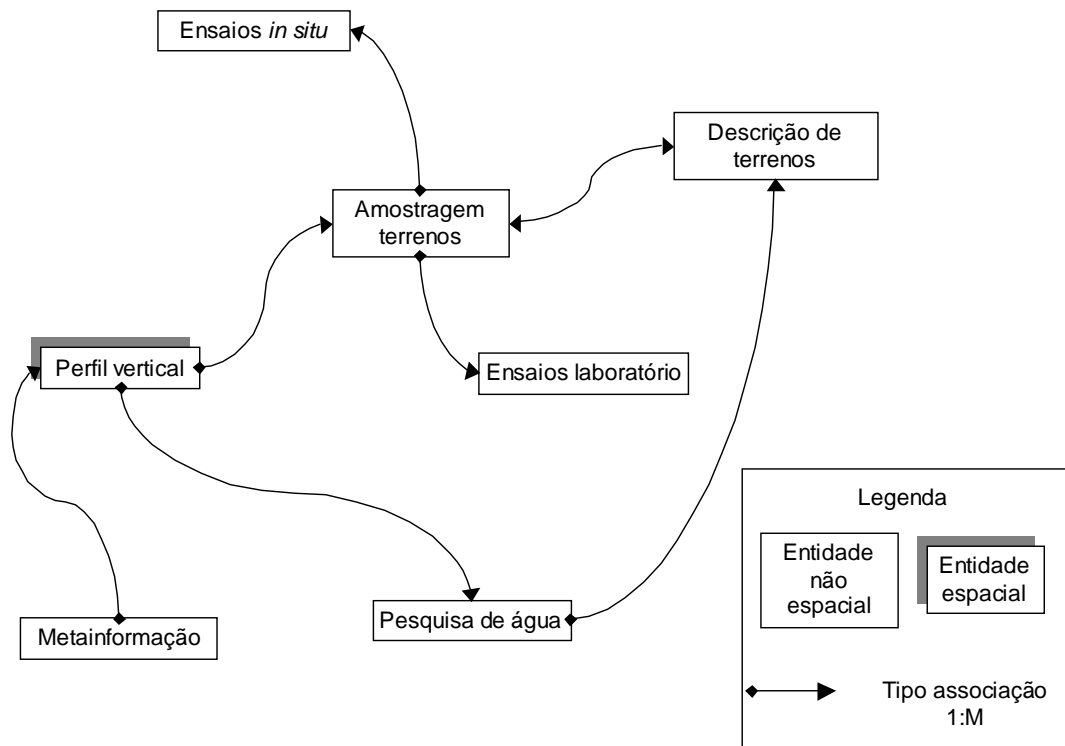


Figura III.6 - Modelo conceptual para uma base de dados pontuais, alfanuméricos, em Geologia de Engenharia.

Em seguida, definiu-se o modelo entidade-associação, E-A (Fig. III.6), para as entidades não espaciais, e só depois se traduziu este esquema conceptual para a estrutura relacional. Na Figura III.6, cada caixa representa uma entidade; as linhas que as ligam representam as associações entre elas e as respectivas extremidades estão legendadas a fim de mostrar qual é o grau da associação. As entidades do modelo são traduzidas em tabelas na BDR.

4.3 Dicionário de Dados

Por ser demasiado extenso, o dicionário completo dos dados alfanuméricos da BD irá incluir o Anexo I desta dissertação, descrevendo-se para cada tabela a designação, descrição e o formato dos dados a utilizar. Inclui-se ainda uma referência ao facto de constituírem ou não chave da tabela ou serem uma chave externa (i.e., de outra tabela associada). A informação alfanumérica foi dividida em vinte e cinco tabelas que se consideram módulos básicos de informação para a Geotecnia e que seriam necessários à gestão integrada dos recursos geológicos de uma edilidade. Cada tabela representa um grupo de atributos que é uma função, uma propriedade ou um parâmetro que resultou de uma investigação geotécnica ou hidrogeológica. As tabelas estão ligadas entre si por campos comuns (chaves), que são necessários para identificar um registo individual na tabela e vão permitir a agregação de dados em várias tabelas. A chave da tabela aparece a itálico e negrito; as restantes designações dos atributos (campos da tabela) aparecem em itálico e os nomes das tabelas do modelo aparecem em maiúsculas.

Ao longo deste processo, teve-se especial atenção aos procedimentos definidos no Quadro III.5, bem como à garantia de qualidade dos dados e à facilidade de navegação entre tabelas, de modo a facilitar as futuras pesquisas. A estrutura final em vez de cumprir sempre os critérios de normalização, privilegiou a recuperação e manipulação mais eficaz dos dados face ao volume de informação que se prevê esteja envolvido nesta BDR.

Os atributos incluídos no modelo são os considerados suficientes no âmbito do presente trabalho, que visa a constituição de um sistema de informação geotécnica e a ulterior derivação de cartografia geotécnica para Almada, mas podem ser expandidos à medida que se façam sentir novas necessidades.

As imprecisões espaciais devem-se, essencialmente, a omissões ou a descrições vagas no que se refere às cotas - os trabalhos não definem o *datum* altimétrico utilizado.

A estrutura de dados recorre, frequentemente, a listas de termos ou caixas de combinação para seleccionar uma determinada palavra, que se pode dizer normalizada, para preencher alguns campos dos registos. Os termos seleccionados para o efeito são, necessariamente, abrangentes. As caixas de combinação são ficheiros que se visualizam quando da introdução de dados num campo e que mostram ao utilizador os valores permitidos para aquele registo; esta metodologia para além de ajudar a garantir a consistência da terminologia utilizada, acelera a entrada dos dados e viabiliza, ulteriormente, uma análise mais eficiente daqueles campos.

Um critério semelhante foi seguido para avaliar a qualidade, mais concretamente a exactidão, de alguns dados - é o caso da metodologia adoptada para avaliar a descrição das profundidades de mudanças de litologia, colheita de amostras ou da posição de níveis de água, incluídas em registos de sondagens, poços, etc. (Quadro III.9). A listagem de avaliação definida considerou que, nas sondagens, a separação entre ensaios SPT oscila entre 1,0 e 1,5 m, pelo que o erro máximo seria pelo menos dessa grandeza e o mínimo seria, certamente, inferior a 0,5 m. No caso de furos de captação, esta classificação também serve se se adoptar apenas os dois primeiros qualificativos adoptados.

Quadro III.9 - Hipóteses admitidas na BD para controlar a exactidão da descrição da profundidade em perfis verticais.

Exactidão da profundidade
<ul style="list-style-type: none">• Estimado ou erro > 1.5 m• Erro entre 0.5 e 1.5 m• Erro < 0.5 m

A BD foi concebida de forma a efectuar a avaliação de dados quando do povoamento da própria base. O primeiro controlo é feito ao nível do formato seleccionado para os dados - um atributo cujo formato não seja correcto (tipo alfanumérico, número inteiro ou data, entre outros), não é aceite; foram ainda definidos intervalos limites para alguns dados.

Alguns campos são do tipo booleano (verdadeiro/falso), tendo-se optado por esta formalização sempre que era necessário averiguar da presença ou ausência de uma determinada característica. No caso dos ensaios de laboratório, após a entrada dos dados, estes podem ser avaliados por comparação directa com outros resultados do mesmo parâmetro em terrenos semelhantes.

A descrição das referências da origem da informação está incluída na tabela FONTE, para que assim se possa eventualmente consultar o trabalho em referência e, simultaneamente, ajuizar da sua qualidade; foi subdividida em diversos atributos que seguem, genericamente, o registo de uma fonte bibliográfica; a chave **ID_Fonte** é externa em diversas tabelas sempre que foi considerado necessário indicar a origem dos dados. Esta tabela encontra-se relacionada com outra, que contém metadados sobre um tipo específico de fonte: os relatórios de estudos de sítios. A tabela RELATÓRIO contém informação relativa à entidade que encomendou o estudo, empresas envolvidas nos trabalhos de prospecção, ano e mês em que se efectuaram e a área estudada. Para além disso, inclui informação relativa ao número total de dados

pontuais existente em cada estudo, bem como se foram efectuados ensaios *in situ* e de laboratório.

Para se adquirir convenientemente a informação contida num PERFIL VERTICAL, tem que considerar-se que este inclui dados numéricos e descritivos (Quadro III.10). A informação descritiva envolve termos e frases, pelo que a maneira mais adequada de controlar eventuais erros, nomeadamente de dactilografia, é recorrer a listas de termos predefinidos. Uma metodologia semelhante foi adoptada para todas as tabelas a seguir descritas, isto é, definição de atributos para cada tabela de uma relação, seguida da discriminação da sua natureza e, finalmente, a selecção do melhor formato a atribuir aos dados.

Quadro III.10 - Principais dados que existem associados a um PERFIL VERTICAL.

Numéricos	Descritivos
Coordenadas cartesianas	<i>Características do tipo de perfil</i>
Altimetria do topo	<i>Descrição litológica</i>
Profundidades (do perfil, da amostragem, do nível de água, etc.).	<i>Métodos de amostragem e de ensaio</i>
Datas	<i>Executante</i>
Resultados de ensaios	<i>Observações adicionais</i>

A entidade designada por PERFIL VERTICAL corresponde a uma tabela que contém a indicação geográfica do local onde se realizou uma sondagem, poço, trincheira ou furo para pesquisa ou captação de água, se procedeu à colheita de amostras, etc. (ver capítulo IV). Constitui o núcleo da BD, na medida em que contém os dados sobre a localização espacial das entidades descritas em todas as restantes tabelas, pelo que a sua chave, **ID_Perfil**, é externa noutras tabelas. Esta tabela efectua, assim, a ligação entre a BD alfanuméricos e a sua congénere geométrica.

Cada PERFIL VERTICAL poderá ter intersectado uma ou várias camadas e/ou corresponde a um local onde se efectuou amostragem. No caso da amostragem, esta teve início a uma determinada profundidade (*prof_topo*) com utilização de determinado método - esta informação será registada na tabela AMOSTRA. Em função do terreno amostrado, podem ter sido avaliadas diferentes propriedades do terreno, *in situ* ou em laboratório. Pareceu mais correcto associar estes resultados ao sítio exacto da amostragem e às condições em que foram efectuados também naquela tabela, AMOSTRA (Anexo I). A identificação única de uma amostra é obtida através dos atributos **ID_Perfil** e **ID_Amostra**.

No que se refere a ensaios realizados, considerou-se de privilegiar os dados referentes à descrição de:

- resultados de ensaios SPT (tabela SPT);
- ensaios de laboratório (tabelas SOLO_LAB e RCU_LAB), registando-se sempre a entidade responsável pela sua execução;
- índices obtidos a partir dos testemunhos de sondagens (percentagem de recuperação e RQD para um dado comprimento de maciço perfurado na tabela MR_ÍNDICES_QUALIDADE); no entanto, nos elementos recolhidos não há valores referentes ao RQD.

O objectivo de uma base que integre resultados de ensaios de laboratório é reunir um certo número de valores para características que respeitem a um mesmo material. Mas o que significa “um mesmo material”? Se a rocha/solo é muito heterogéneo, dois ensaios mecânicos, destrutivos, não poderão ser executados necessariamente sobre o mesmo material. Surgem assim duas soluções extremas:

- associar a cada “amostra” um registo individual, o que garante a homogeneidade dos resultados para cada uma; as correlacões estatísticas entre propriedades serão precisas, mas raras, caso do par porosidade/resistência à compressão uniaxial (RCU);
- reagrupar todos os resultados de amostras que se refiram a uma dada litologia/formação geológica; neste caso, têm-se mais registos, com valores médios dos resultados dos ensaios, mas as correlacões entre propriedades são menos significativas.

Pode, no entanto, recorrer-se a uma solução intermédia, como a que se adoptou: em princípio têm-se os valores médios de ensaios sobre amostras de um material de origem bem definida (local e data). Se duas amostras, com a mesma origem, são consideradas idênticas, podem agrupar-se; pelo contrário se são consideradas diferentes (por exemplo, calcário com porosidade variável para cada provete) são registadas em separado; paralelamente, podem definir-se valores globais (identificados como tal nas observações adicionais), correspondendo à média dos resultados de amostras individuais e susceptíveis de fornecer ordens de grandeza das propriedades de um material.

Os elementos integrados na BD incluem os ensaios de caracterização física (porosidade, peso volúmico, etc.) e mecânica (RCU) - tabela RCU_LAB. No caso de solos, a respectiva classificação geotécnica (unificada e AASHTO) e os resultados dos ensaios de identificação (granulometria e limites de consistência) incluem a tabela SOLO_LAB. A partir desta tabela e por que as amostras de solo contém mais resultados de ensaios de laboratório, optou-se por subdividir os restantes ensaios por tabelas que possuem a chave da tabela SOLO_LAB, **ID_Solo**, a saber:

- teor em água natural e peso volúmico seco na tabela SOLO_CARATERIZ_FÍSICA;

- ensaios mecânicos: corte directo, triaxial e edométrico, respectivamente SOLO_CORTE e SOLO_EDOMÉTRICO;
- teve-se em conta, ainda, informação relativa a ensaios de compactação (SOLO_PROCTOR), de determinação do índice CBR (SOLO_CBR) e de caracterização da fracção argilosa (SOLO_ARGILAS).

Na tabela CAMADA, registam-se os dados relativos à descrição dos terrenos interceptados nos diversos perfis verticais. A identificação única de uma camada é obtida através dos atributos **ID_Profil** e **ID_Camada**; para não perder a informação original, optou-se por armazenar, na coluna *Descreve_camada* da tabela CAMADA, a descrição original contida na fonte.

Como a BD pretende disponibilizar um conjunto básico de informações aos técnicos dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento (SMAS) de Almada e a outra população de utilizadores que necessitem de uma avaliação rápida dos recursos em água ou produtividade dos furos no concelho, foi concebido um conjunto de tabelas para gerir esta informação. Existem poucos exemplos bibliográficos que descrevam a informação desta índole (JIN *et al.*, 1993; LOBO-FERREIRA *et al.*, 1995), pelo que os parâmetros adoptados foram os considerados necessários para preencher, no mínimo, as necessidades do Serviço de Exploração do SMAS de Almada e consistem essencialmente em:

- características genéricas do furo (tabela FURO);
- terrenos interessados (tabela CAMADA);
- dados relativos a ensaios de bombagem (tabela Furo_ENSAIO_CAUDAL);
- dados relativos à eventual captação de água (tabela Furo_EXPLORAÇÃO);
- dados relativos à qualidade da água analisada (tabela Furo_ANALISE_ÁGUA).

A estrutura da base permite acrescentar, em qualquer altura, atributos ou tabelas para definir novas relações - por exemplo, as relativas à monitorização do nível de água em furos no concelho.

IV. BASES DE DADOS GRÁFICOS

1. COMPUTADORES E CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

Na maioria dos trabalhos de engenharia civil e mineira são essenciais informações localizadas geograficamente na Terra, de confiança e acessíveis, independentemente das dimensões da área em referência e da escala de trabalho. Poderá ainda ser indispensável partilhar ou consultar esses dados ulteriormente.

Todos os mapas, incluindo os geotécnicos, constituem uma representação da realidade através da utilização de diversos símbolos e notações, sejam eles pontos, linhas ou polígonos, que são combinados no espaço. As cartas geotécnicas incluem, assim, dados espaciais, ou seja, informação das características geológicas e geotécnicas do terreno que foram observadas, medidas ou inferidas. As legendas que geralmente acompanham as cartas permitem explicar ao utilizador a ligação entre os objectos espaciais e as suas características.

A necessidade de actualizar e, simultaneamente, acelerar o processamento da informação contida num mapa conduziu, na década de cinquenta, à tentativa de armazenamento dessa informação em computador. Os primeiros estudos no domínio das Ciências da Terra e do Ambiente, para editar cartas em computador, desenrolaram-se nos anos sessenta, regra geral no âmbito de trabalhos desenvolvidos por entidades públicas (RHIND, 1977 *in* MARTIN, 1991). Na mesma altura, o *Harvard Computer Laboratory* desenvolveu o SYMAP (*Synagraphic Mapping System*), uma das primeiras aplicações em computador a permitir a manipulação de dados espaciais e o traçado automático de, nomeadamente, cartas de isolinhas (SHEEHAN, 1979; BERRY, 1979; COPPOCK & RHIND, 1991).

O primeiro exemplo de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), o *Canada Geographic Information System* (CGIS), iniciado em 1964, possuía algumas características muito avançadas para o seu tempo, como o facto de a informação ser armazenada sobre a forma de polígonos e de ter sido capturada através de um *scanner* ou por digitalização manual; os diferentes dados estavam organizados em “níveis temáticos” (coberturas), tais como agricultura, floresta e uso do solo entre outros (MARTIN, 1991; WORBOYS, 1995; WHITE & KARROW, 2001). Existia ainda informação descritiva para cada polígono e um conjunto de rotinas de programas que possibilitavam a recuperação de dados e algumas análises predefinidas.

As primeiras experiências para a produção de cartografia em computador no domínio das Ciências da Terra foram dirigidas para a representação digital directa da carta analógica tradicional. A realização de cartografia geotécnica digital remonta à década de setenta, durante a qual surgiram aplicações capazes de manipular dados espaciais e

produzir os respectivos *outputs*, se bem que com fraca qualidade visual, em que diversos graus de cinzento eram gerados através da sobreposição de diferentes símbolos (VAN DRIEL, 1980). Evoluiu-se para a representação gráfica dos dados de estudos de sítios em profundidade, apresentando-os em blocos diagramas ou traçando isolinhas, por exemplo do tecto de uma unidade específica.

Anteriormente, a informação era analisada através de um conjunto de películas transparentes sobreponíveis. Os sistemas de computação gráfica vieram permitir que os métodos manuais tradicionais, extremamente trabalhosos, de tentar encaixar dados cartografados de todos os tipos existentes em películas transparentes, fossem efectuados integralmente no monitor de um computador.

O aparecimento dos primeiros sistemas tipo CAD, com ampla difusão na Arquitectura e Engenharias, veio proporcionar a capacidade de armazenar os elementos geométricos separados em diferentes níveis gráficos electrónicos (*layers*) - por exemplo estradas (nível 1), textos (nível 2) e litologia (nível 3), permitindo associar a cada nível uma simbologia particular. Aquelas entidades gráficas eram posteriormente sobrepostas para editar o mapa final. Contudo, embora o texto referente a um dado elemento geométrico pudesse ficar-lhe apostado, não existia nenhuma ligação entre os dois; assim, qualquer operação geométrica sobre a entidade, implicava uma ulterior alteração ao respectivo texto. Não se podiam, também, efectuar manipulações/interrogações ou análises automáticas por cruzamento de informação entre os vários níveis electrónicos.

Historicamente, os CAD salientaram os elementos gráficos, enquanto que a tecnologia SIG representa tais elementos anotando a sua localização e posição relativamente a outros. Assim, embora os primeiros tenham alcançado uma grande difusão, não lidam com topologia, por exemplo com a noção de conectividade, e as relações entre fenómenos geograficamente localizados (georreferenciados). A topologia é um apanágio importante dos SIG, sendo muitas vezes apontada como uma das suas características intrínsecas. Estes incluem ainda, em tabelas, particularidades dos elementos geométricos - os atributos.

O conceito de um conjunto de cartas em “papel” que dependem da escala, tem vindo a ser substituído por um conjunto de bases de dados (BD) digitais contendo informações com várias resoluções. Tal facilidade impôs a necessidade de uniformização dos procedimentos adoptados. Actualmente, cada nível gráfico no computador não constitui apenas um mapa, mas é a superfície visível da BD subjacente. Por exemplo, ligado a um ponto podem existir dados relativos aos níveis de água no subsolo e esta informação pode ser acedida reportando-se a sítios específicos no monitor. Alternativamente, começando apenas por um atributo particular da BD, é possível aceder a certas partes de qualquer nível gráfico. Adicionalmente, podem ainda correr-se outras aplicações no sistema.

Uma BD geológica e/ou geotécnica espacial é um conjunto seleccionado de dados do meio geológico que podem ser pesquisados num computador. Muitas vezes utiliza-se a designação carta digital como sinónimo de BD; porém existem diferenças essenciais entre tais designações, não existindo uma associação do tipo 1:1 entre uma BD e uma carta. Para além disso, enquanto que um mapa pressupõe necessariamente a existência de uma simbologia e uma escala, ambas não existem intrinsecamente numa BD. Aqui, podem seleccionar-se certas entidades para visualizar individualmente, criar outras novas através da recombinação das originais, ou a partir de características armazenadas na base, como litologia, declive, etc..

Uma **carta geotécnica digital** é aquela cujos detalhes geográficos e dados explicativos estão registados em formato digital e são “entendidos” pelo computador.

Foi apenas nos anos noventa que o recurso à tecnologia SIG se alargou definitivamente às Ciências da Terra e passou também a ser utilizado na elaboração de diversas cartas geotécnicas (VAN WESTEN *et al.*, 1994; CARRARA *et al.*, 1995; LAXTON & BECKEN, 1996; KAÂNICHE *et al.*, 2000, entre outros). Para grandes áreas, a aquisição de dados é feita, geralmente, com recurso a sensores remotos, nomeadamente imagens de satélite, que constituem as principais fontes de dados geoespaciais e temáticos dos SIG e de custos relativamente baixos.

Nos SIG, a interacção directa entre o utilizador, o *software* e as BD tornou-se parte integrante do processo de modelação. A definição tradicional de um mapa é ampliada por esta tecnologia, podendo-se distinguir entre **cartas reais**, ou seja, directamente visualizáveis ou que têm uma existência permanente, tangível, e **cartas virtuais**, que podem ser de três tipos (WOOD, 1993):

- apenas constituem vistas (*views*), isto é, só existem transitoriamente no monitor;
- existem arquivadas em formato digital (por exemplo, em CD-Rom), mas não são directamente visualizáveis;
- não são directamente visualizáveis nem constituem uma realidade permanente, tangível; é o caso de informação geográfica armazenada numa base que potencialmente pode fundamentar futuros mapas.

O recurso aos SIG encontra, contudo, alguns problemas nas aplicações espaciais relacionadas com a representação do terreno, nomeadamente no que respeita:

- à geometria complexa do terreno;
- à resolução e exactidão de medições que pretende representar e erros associados;

- à eventual necessidade de relacionar dados com diferentes níveis de generalização.

O conceito de um conjunto de cartas em papel que dependem da escala, tem sido substituído gradualmente por um conjunto de BD digitais contendo dados com várias resoluções; tem-se pois enveredado pela utilização sistemática de computadores, e o recurso aos SIG afigura-se prometedora. Alguns SIG permitem caracterizar a morfologia do terreno de uma dada área, através do respectivo modelo digital de terreno, proporcionar a gestão otimizada de recursos, dispor de inventários actualizados sobre fenómenos ou actividades, efectuar estudos de impacte no ambiente, otimizar a localização de actividades, etc. Uma vez seleccionados os factores do meio relevantes para a carta a obter e desenvolvidos os programas necessários, será possível efectuar uma rápida análise espacial, lógica e/ou matemática, dos elementos das bases de dados geométricos e alfanuméricos previamente concebidas, e obter novas cartas, derivadas e/ou de síntese.

No presente capítulo, apresentam-se os SIG e algumas das suas características, as ferramentas que disponibilizam, e exemplificam-se algumas aplicações no âmbito das Ciências da Terra. Refere-se, ainda, a sua aplicação em Portugal em cartografia geotécnica e afim, e propõe-se um modelo de dados a adoptar para complementar os actuais sistemas de informação que existem nas câmaras municipais, para dotá-los com dados georreferenciados no domínio das Ciências da Terra e, em particular, da Geotecnia.

2. SIG - BREVE CARACTERIZAÇÃO

2.1 Algumas Definições

Não é simples definir o que é um SIG, na medida em que o acrónimo correspondente em inglês (GIS) pode ser utilizado com significados diversos (Quadro IV.1). Um primeiro passo é, certamente, estabelecer o que se entende por dois dos termos que o compõem: **informação geográfica (IG)**. Esta consiste em todo o tipo de informação que está georreferenciada, ou seja, cuja localização é conhecida na superfície da Terra, nomeadamente através de coordenadas absolutas (por exemplo, latitude e longitude) ou da ligação a um objecto que defina as coordenadas - é o caso de nomes de uma rua, de um lote ou de uma obra (MATOS, 1999). A fim de projectar esta localização à superfície da Terra, num plano bidimensional (um mapa), é utilizada uma conversão matemática: o sistema de projecção da carta. Cada sistema de coordenadas utilizado baseia-se num sistema de projecção particular (Quadro IV.2).

IV. Bases de Dados Gráficos

Quadro IV.1 –Algumas definições associadas a SIG.

Designação	Definição	Fonte
Sistema de Informação Geográfica	<i>Colecção organizada de hardware, software, dados geográficos e técnicos concebida para adquirir, armazenar, manipular, analisar, modelar e visualizar de uma maneira eficiente todas as formas de informação georreferenciada.</i>	SUI in VITEK et al., 1996. COWEN, 1989 in NYMAN, 1998.
	<i>Uma tecnologia de informação; Um sistema computadorizado que permite a gestão de informação geográfica; bases de dados (BD) concebidas para conter informação espacial; colecção de ferramentas baseadas no computador para trabalhar com dados sobre fenómenos localizados na Terra.</i>	BONHAM-CARTER, 1997; WORBOYS, 1995; FERRIER & WADGE, 1997.
	<i>Ambiente computacional que inclui diversos componentes: aquisição, armazenamento, processamento, visualização e impressão de dados, manipulação e análise de dados e interface com o utilizador.</i>	BURROUGH, 1994.
Sistema de Informação Geocientífico	<i>Actividade organizada através da qual pessoas:</i> <ul style="list-style-type: none"> • medem e representam aspectos de fenómenos e processos geográficos, geralmente constituindo bases de dados; • efectuam operações sobre tais representações; • e transformam-nas noutras formas ou relações, enquanto interactuam com as estruturas sociais. 	CHRISMAN, 1997
	<i>Extensão dos SIG tradicionais, 2D, para utilizar em aplicações das Ciências da Terra, 3D, e que diferem dos primeiros por representarem a dimensão da profundidade como coordenada independente.</i>	TURNER & KOLM, 1992. BREUNIG, 1996.

Quadro IV.2 - Sistemas de projecção mais utilizados em bases topográficas para fins de engenharia: relação entre coordenadas em Portugal.

Escala	Sistema de Projecção	Datum geodésico	Origem das coordenadas rectangulares	Relação entre a origem das coordenadas
Plantas cadastrais antigas 1:10 000, 1:5 000 e 1:2 000	<i>Hayford-Gauss antigo,</i> HGA	<i>Lisboa</i>	<i>Melriça</i>	M_{HGA} P_{HGA}
1:25 000 (militar)	<i>Hayford-Gauss militar,</i> HGM	<i>Lisboa</i>	<i>Cabo S. Vicente</i>	$X_{HGM}=M_{HGA}+300km$ $Y_{HGM}=P_{HGA}+200km$
1:10 000 IPCC; 1:2 000 e 1:1 000 - vértices geodésicos nacionais	<i>Hayford-Gauss 73,</i> HG73	73	<i>≈ Melriça</i>	$X_{HG73}=M_{HGA}+180.598m$ $Y_{HG73}=P_{HGA}-86.99m$

Um **sistema** é um grupo de entidades e actividades relacionadas entre si e que interactuam em função de um objectivo comum que, num SIG, se traduz geralmente em tomadas de decisões, na manutenção de um inventário ou na utilização de procedimentos codificados, através de *hardware* e *software* específicos, com o fim de valorizar dados primários pela sua integração espacial (CHRISMAN, 1999).

Assim, o termo IG da designação de SIG é consubstanciado pelos conjuntos de dados geográficos (CDG) que a tecnologia utiliza e que representa com recurso a pontos, linhas, polígonos ou pixéis, a que associa outra informação espacial - a topologia, que facilita a descrição exacta das relações entre os diferentes elementos geométricos que integram, quer uma mesma cobertura ou nível temático, quer outras que lhe estejam interligadas. Por exemplo, a topologia de uma linha inclui as coordenadas dos pontos inicial e final do respectivo segmento (conceito de **conectividade**), bem como dos polígonos que se situam à sua esquerda e direita (conceito de **contiguidade**). Existe ainda um terceiro conceito principal na topologia e que se refere à **definição de área**, através da listagem das linhas que definem o respectivo polígono.

Os fenómenos geográficos possuem as seguintes características: espaço (localização a 2D ou a 3D), tema (classificação ou atributo) e tempo (NYERGES, 1993 *in* USERY, 1996). SINTOU (1978 *in op. cit.*) sustenta que destas três dimensões, uma é fixa, a segunda é controlável e a terceira é mensurável, factos que são apoiados pela utilização de SIG na elaboração de cartas em que a maioria das fontes de dados são mapas, estes geralmente reportam-se a uma certa data, controlam o tema e variam a localização espacial.

Há assim quem defina SIG por aquilo que pode fazer, ou seja, pelo que os seus componentes efectuam, como assistem na resolução de problemas e quais os domínios de intervenção; outra corrente define-o pelo que integra: o *hardware*, o *software*, os dados e as pessoas (Quadro IV.1). O Homem desempenha um papel tão importante num SIG, como o *hardware* ou o *software*. A determinação das entidades geográficas é um processo complexo que envolve a percepção e cognição humanas; por outro lado, as operações de interrogação, análise e visualização são interdependentes e necessitam também do elemento humano.

As várias definições focam, também, as ferramentas que a tecnologia disponibiliza para manipular, analisar e modelar situações a partir dos CDG. Aliás, muitos autores referem que as verdadeiras vantagens de utilizar um SIG só surgem quando a ênfase é colocada nas funções especiais que disponibilizam, verificando-se que, muitas vezes, ele só é utilizado para desenhar automaticamente cartas de inventário ou obter cartas suas derivadas (GOURNELLOS *et al.*, 1997; MARINOS, PERLEROS *et al.*, 1997; STOURNARAS *et al.*, 1997; TSIAMBAOS *et al.*, 1997 ou GRECCHI & PÉJON, 1998, entre outros). Torna-se, pois, necessário distinguir entre cartografia e análise de informação - a falta de separação entre SIG e actividades afins, nomeadamente, cartografia automática e CAD, foi origem de algumas confusões. A cartografia automática utiliza igualmente os sistemas computacionais para produzir mais eficientemente os mapas, mas a carta é traçada por processos automatizados. Segundo MARBLE (1984 *in* NYMAN, 1998), uma das características que distingue os SIG é a capacidade de efectuar sobreposições (*overlay*)

de uma maneira diferente dos CAD - é uma operação lógica e não uma mero desenhar de elementos, uns sobre os outros.

Tipicamente, os SIG têm sido utilizados para manipular informação de diversos temas; as cartas podem ser representadas em diferentes coberturas (*coverages*) ou níveis temáticos (*layers*), correspondendo, a cada um, dados sobre um determinado tipo de entidades geográficas (*feature*). Cada uma destas entidades está ligada a uma posição na imagem gráfica que constitui a "carta". A componente geográfica da informação serve como chave que permite integrar informações de diferentes fontes e escalas (CHRISMAN, 1997).

As funções de um SIG (aquisição, armazenamento, manipulação, análise, visualização e impressão), estão geralmente automatizadas dentro dos diferentes tipos de *software* que existem no mercado, como ARC/INFO[®], ARCVIEW[®], SPANS[®]; CARIS[®]; IDRISI[®], MGE[®], etc..

O leque de aplicações de SIG estende-se a áreas relacionadas com a tomada de decisões – governação, planeamento e ordenamento, gestão de recursos, ambiente, engenharia e negócios.

2.2 Tipos de Representação

A aplicação tradicional dos SIG em termos de cartografia e modelação de dados espaciais e atributos associados, gestão e tomadas de decisões, tem sido intensiva nas ciências e nas profissões que se relacionam com o terreno. Os respectivos modelos também foram herdados da aquisição de dados terrestres, constituindo o núcleo essencial dos SIG, uma vez que determinam o modo como os fenómenos são representados em formato digital (WRIGHT & GOODCHILD, 1997).

Os SIG foram historicamente divididos em função do tipo de representação em que geriam os dados espaciais, subdividindo-se essencialmente em matriciais e vectoriais, ambos com vantagens e desvantagens (Quadro IV.3). Os primeiros constituem um tipo de tesselação, dita regular, e descrevem o contínuo espacial, decompondo o plano em conjuntos discretos de pixéis constituídos por polígonos regulares - as células. Os modelos vectoriais representam os objectos espaciais dividindo-os em conjuntos de pontos, linhas e polígonos que são delimitados por linhas. Existe ainda um outro tipo de representação espacial, a tesselação irregular, que decompõe a superfície a modelar segundo polígonos cuja geometria depende dos dados existentes, isto é, da sua distribuição espacial e ordem - é o caso dos modelos TIN (*triangular irregular network*) ou dos diagramas de Voronoi (BREUNIG, 1996).

Quadro IV.3 - Comparação entre representações de dados vectorial e matricial em SIG (adaptado de BURROUGH, 1994; BONHAM-CARTER, 1997).

Modelo	Vantagens	Desvantagens
MATRICIAL	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Estrutura dos dados é simples.</i> • <i>Operações de simulação mais fáceis: cada unidade espacial tem a mesma forma e dimensão.</i> • <i>Maioria das propriedades de topologia é dada implicitamente (são determinadas directamente a partir de cada célula e das suas vizinhas).</i> • <i>A maioria das análises espaciais e estatísticas são fáceis.</i> • <i>Computação fácil da soma e diferença de células elementares.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • A resolução espacial depende do elemento mais pequeno que é possível representar. • Maior necessidade de espaço para armazenamento dos mesmos dados (embora existam métodos para compressão de ficheiros). • Dificuldade na realização de rotações e transformações de coordenadas. • Os objectos têm que ser gerados por métodos mais dispendiosos. • Análise de redes é difícil. • Aspecto final mais grosseiro do que o da vectorial.
VECTORIAL	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Precisão elevada.</i> • <i>Mais compacta: menor necessidade de espaço para armazenamento dos mesmos dados.</i> • <i>Execução simples de mudanças no sistema de projecção ou de escala.</i> • <i>Realização simples de operações de distância.</i> • <i>Melhor aspecto gráfico do que o da matricial.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Computação difícil de intersecções e vizinhanças. • Computação difícil de análise da variação de propriedades em 2D. • Operações de simulação mais difíceis - cada unidade tem uma forma diferente. • É necessário criar topologia para se efectuarem operações de análise espacial.

Nalguns SIG, é necessário dividir os CDG na estrutura vectorial em ficheiros gráficos, cada um contendo dados de um único tipo geométrico - pontos, linhas ou áreas.

Na estrutura matricial, a informação é arquivada e organizada em colunas e linhas; cada célula representa um valor ou conjunto de valores.

Como os sistemas matriciais registam dados em todas as células, independentemente de conterem ou não informação, o seu poder analítico é mais substancial do que o dos sistemas vectoriais, que descrevem a estrutura dos dados como uma rede. Aqueles são mais adequados à análise de dados que vão mudando continuamente ao longo do espaço; em contrapartida, avaliam-se mais rapidamente nos outros problemas que impliquem a combinação matemática de dados que envolvam redes múltiplas. Os sistemas vectoriais são preferidos sempre que é necessário trabalhar com formas arbitrárias com localizações precisas.

Os dados geológicos, geomorfológicos ou geotécnicos não constituem tipos de dados contínuos sendo, pelo contrário, classificados como padrões discretos; a sua conversão para contínuos, isto é, passíveis de serem representados em formato matricial, acarreta a conversão de cada classe de variáveis que se pretende avaliar para um padrão binário (por exemplo, que refira a sua presença ou ausência).

Assim, enquanto que a estrutura matricial é particularmente indicada para representar variáveis espacialmente contínuas, a estrutura vectorial adapta-se especialmente à representação de mapas, capturando com uma maior fidelidade o que se passa no meio geológico sem ter que recorrer a pixéis muito pequenos e, portanto, sem necessitar de uma capacidade de armazenamento tão grande. Contudo, na estrutura vectorial descrevem-se os limites do objecto e tem que se efectuar uma etiquetagem para conseguir ligá-lo aos correspondentes atributos, isto é, tem que se criar topologia.

A organização da BD espacial em temas semelhantes a mapas elementares é obtida com uma nuance em formato digital: as diferenças entre escalas e projecções são removidas e os dados são guardados em unidades de terreno.

Um SIG pode apresentar as diferentes entidades geográficas do mundo real divididas por um conjunto de ficheiros de dados relacionados entre si - é o conceito de carta dividida em níveis temáticos. Por exemplo, a relação “a estrada é uma infra-estrutura” é geralmente representada neste modelo incluindo as estradas em entidades designadas por “infra-estruturas”. Às entidades gráficas encontram-se ligados atributos numéricos que constituem uma BD relacional na forma convencional tabular. Cada entidade tem um atributo que a identifica (chave), para além de outros predefinidos que dependem do tipo de entidade geométrica (por exemplo, uma linha tem um comprimento e um polígono uma área e perímetro).

A comparação entre o modelo relacional tradicional, baseado em “coberturas temáticas” e o baseado em “entidades” (respectivamente, caso do ARC/INFO® ou GEOMEDIA PROFESSIONAL®), revela que o segundo tem vantagens positivas ao proporcionar um modelo para a representação de objectos espaciais. Para além de relações topológicas entre elementos geométricos, este novo modelo inclui também relações não topológicas e semânticas entre “entidades” que faltavam no modelo de SIG tradicional, baseado em “ficheiros gráficos”.

Uma referência final à problemática da utilização dos actuais SIG em Ciências da Terra que decorre da escassez de sistemas que sejam verdadeiramente tridimensionais, isto é, que contenham três eixos coordenados realmente independentes (Quadro IV.1). Só nestas condições será possível maximizar aplicações no âmbito da modelação de fluxos e da contaminação de água subterrânea, da caracterização de reservatórios de petróleo ou de estudos geotécnicos de sítios.

Um problema fundamental dos modelos 2D ou das superfícies de modelos do tipo TIN, é que ambos estão naturalmente vocacionados para registar limites de estratos homogéneos, tornando-se difícil representar variações graduais (verticais ou

horizontais) das características geológicas e/ou geotécnicas, como geralmente acontece em determinadas unidades quando se recorre a uma malha de sondagens mais densa.

A representação da dimensão vertical, h , nos sistemas vectoriais, é resolvida através da atribuição desse atributo às coordenadas de um ponto ou de uma entidade, mas não é considerada na estrutura topológica, excepto nalguns casos para garantir uma consistência nos nós.

Actualmente, utilizam-se essencialmente sistemas 2.5D, isto é, sistemas que recorrem a superfícies, por exemplo planos de estratificação ou profundidades constantes, para as quais se pode obter o traçado automático de isolinhas ou que podem ser visualizadas em vistas isométricas (TURNER & KOLM, 1992; KÂANICHE *et al.*, 2000). Contudo, nestas situações, a cota não é uma variável independente porque, em qualquer área, apenas pode corresponder uma dada altitude. No CAD, embora existam ferramentas que permitem uma visualização de objectos tridimensionais, não é contudo possível manipulá-los verdadeiramente como tal, na medida em que a maioria dos elementos gráficos consiste apenas em simples vértices (modelos do tipo *wireframe*, superfícies e sólidos, muitas vezes designados em terminologia anglo-saxónica por WYSIWYG - *what you see is what you get*). As aproximações teóricas para modelos topológicos 3D, surgiram apenas na década de noventa e, na sua metade final, os sistemas de geo-informação ainda davam os primeiros passos no seu desenvolvimento (BREUNIG, 1996).

2.3 Criação de um Projecto

A maior parte do esforço desenvolvido durante um projecto de um SIG corresponde à fase de aquisição de dados, à respectiva validação e constituição das BD - gráficos e alfanuméricos. A maioria dos dados já sofreu manipulações anteriormente, como é o caso de mapas (analógicos ou digitais) ou de relatórios geotécnicos, não constituindo portanto dados primários.

Se uma base de dados tiver uma escala, ou resolução, esta deve ser especificada explicitamente, como no caso de dados arquivados em formato matricial, cuja resolução depende das dimensões das células que os compõem.

A metodologia para a criação de um sistema de informação inclui essencialmente cinco fases (Figura IV.1), que se descrevem em seguida.

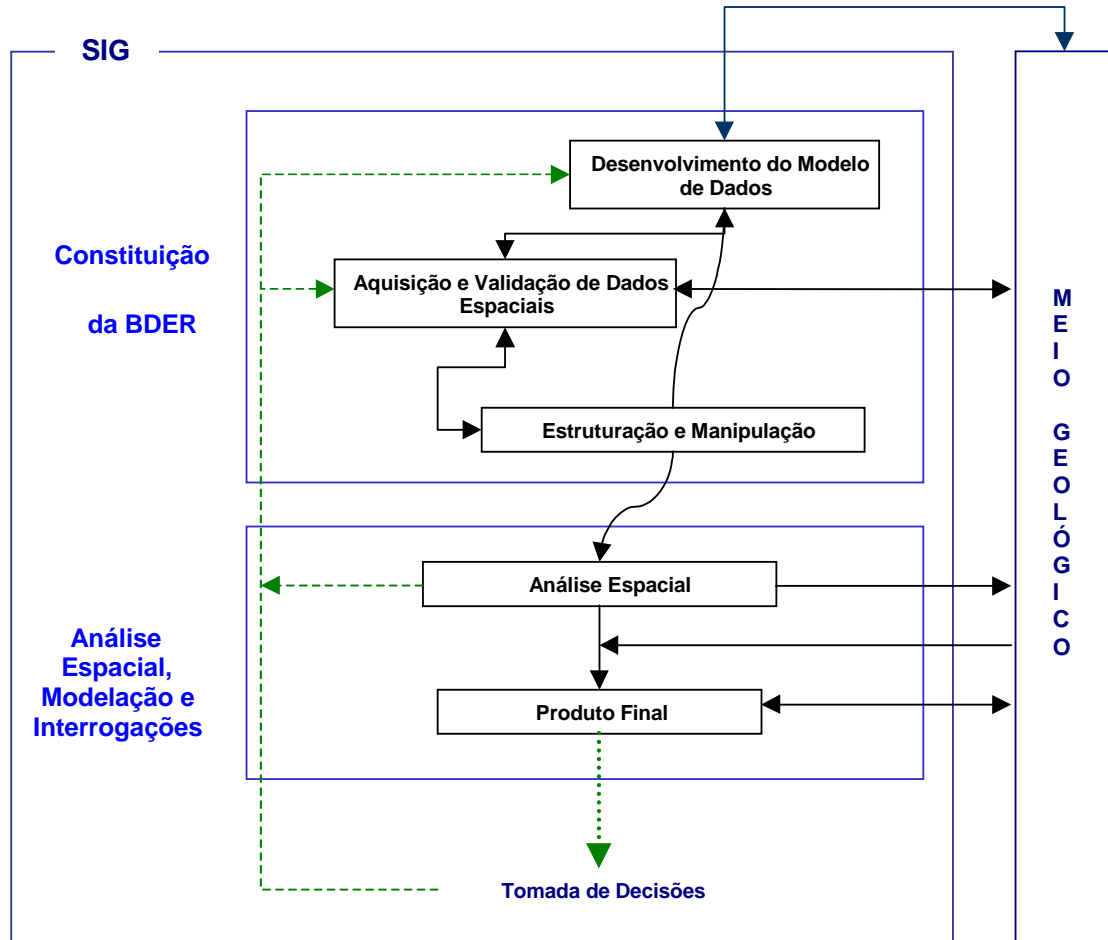


Figura IV.1 - Fluxograma potencial para a aplicação de um SIG em Ciências da Terra.

Desenvolvimento de um modelo de dados

Um mapa em papel é uma representação particular de uma base espacial, em que os objectos têm que ser explicitamente descritos através das suas características (atributos) e a riqueza da informação correspondente depende apenas das observações que se efectuaram. Em vez de tentar arquivar uma carta como tal, deve conceptualizar-se antes a representação do meio geológico, através da definição das diferentes entidades que são necessárias para o descrever. Em seguida deve definir-se qual a representação gráfica do objecto na base de dados.

A informação digital é mais vulnerável à análise da qualidade e, portanto, requer uma concepção mais rigorosa (MATOS, 2000). As entidades discretas do meio geológico são referenciadas como objectos espaciais no modelo de dados. Assim, genericamente, um objecto geológico é utilizado para descrever as características de uma entidade, independentemente da sua forma de representação. Um objecto geométrico armazena a

informação sobre a posição espacial da entidade. Por exemplo, um objecto do tipo ponto (símbolo) para armazenar as coordenadas de um furo de captação é um objecto geométrico, recorrendo-se a tabelas para arquivar propriedades relevantes sobre ele.

Do ponto de vista do modelo de dados, estas características são ou singulares (relativas a um único objecto espacial - caso de uma medição estrutural ou uma observação), ou mistas (relacionadas com objectos espaciais compostos - caso de uma litologia ou falha regional). Os objectos podem ser naturais, como é o caso de uma falha ou de uma certa litologia, ou são impostos, ou seja, são geradas artificialmente pelo homem - é o caso de aterros ou de áreas escavadas. Os objectos espaciais podem ainda ser classificados quanto à sua forma, como regulares ou irregulares; ter só uma geometria e designam-se por simples ou serem constituídos por um conjunto de vários elementos geométricos e dizem-se compostos. Assim, um polígono que represente uma única unidade litológica será um objecto simples e irregular na estrutura vectorial. Contudo, na estrutura matricial, a mesma unidade será constituída por um conjunto de vários pixéis de forma regular - será um objecto composto com atributos comuns.

Por exemplo, podem definir-se as unidades litológicas para uma certa região e armazenar essa informação numa BD espacial em que polígonos vão definir um objecto geológico que corresponde à unidade litológica. Depois, podem existir informações adicionais sobre aquela unidade, que se referem a determinações laboratoriais de propriedades físicas ou mecânicas de amostras recolhidas em diferentes locais. Estes valores poderão ser arquivados no SIG como atributos referenciados a uma localização específica - um ponto de amostragem.

Apesar dos esquemas de classificação geológicos serem hierárquicos, a maneira como os seus componentes são identificados por código (tipo Ca = Câmbrico), símbolos ou cores não devem sê-lo em formato digital, nem se deve adoptar um esquema sequencial de números ou letras, de maneira a evitar futuras confusões na manipulação ou análise automática dos dados. Cada identificador deve ser único e não deve ser relacionado, evidente ou intuitivamente, com qualquer outro. Para além disso, cada código deve ter apenas uma função.

Num SIG baseado em entidades, um objecto na BD pode conter os quatro elementos seguintes:

- chave primária (gerada pelo sistema para cada objecto no SIG);
- a informação relativa à localização (geralmente coordenadas cartesianas, associadas eventualmente à altitude) e à geometria (dimensão e forma de um objecto) está armazenada numa tabela;
- atributos não espaciais (nome e valores numéricos, por exemplo como área e perímetro no caso de polígonos);

- relações topológicas (entre objectos geométricos, como limites/fron- teiras, vizinhança e interior).

As entidades lineares nos mapas (Quadro IV.4) são mais complicadas porque existe possibilidade de interagirem entre elas, como acontece com as falhas que podem constituir por si só um objecto geológico ou um tipo de contacto entre unidades. Assim, uma falha que intersecte uma área origina dois polígonos topologicamente diferentes que podem, por exemplo, representar a mesma unidade geológica, com os mesmos atributos. O problema surge, contudo, ao tentar simbolizar o polígono numa impressão com um padrão qualquer; o preenchimento será alinhado de cada lado da falha e criará um certo desencontro, mesmo que não se imprima a falha.

Quadro IV.4 - Alguns elementos geométricos que podem ser utilizados para representar objectos que integram cartas geotécnicas.

Pontos	Linhas	Polígonos
<ul style="list-style-type: none"> • Sondagens, furos, poços, trados, trincheiras – perfis, colheitas de amostras, ensaios <i>in situ</i> • Fotografias • Medições de atitudes (falhas, diaclases, estratificação) • Movimentos de terrenos • Sítios históricos / interesse científico 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Contactos litológicos</i> • <i>Falhas, lineamentos, zonas de alteração (esmagamento ou outras)</i> • <i>Explorações / escavações</i> • <i>Movimentos de terrenos</i> • <i>Estruturas construídas pelo homem (muros, etc.)</i> • <i>Sítios históricos / interesse científico</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso actual do solo • Litologia • Explorações / escavações • Lagos, lagunas, albufeiras • Zonas de alteração • Formas de erosão • Movimentos de terrenos • Declives • Sítios históricos / interesse científico

Aquisição, validação, estruturação e manipulação de dados

A aquisição e validação englobam várias etapas. Primeiramente, uma análise para definir os recursos necessários à sua interpretação e à organização de fontes de dados primários, verificando se os dados e recursos disponíveis são suficientes e completos para concluir o estudo. As fontes típicas de dados para armazenar numa base espacial podem ser cartas, imagens de sensores remotos ou até fotografia terrestre, passando por registos de prospecção ou ensaios e de pontos de amostragem.

A maioria dos dados utilizados na cartografia geotécnica, como litologia, atributos de solos e rochas, hidrogeologia e tectónica, são adquiridos durante o levantamento e prospecção do terreno, pelo que a quantidade de tempo despendido no campo se reflecte directamente na quantidade e qualidade dos dados coligidos. A aquisição de factores geológicos como composição do terreno, textura, estrutura, estado de

alteração, orientação das fracturas e grau de fracturação, atitude da xistosidade ou da estratificação, etc., não tem sido significativamente facilitada pela difusão e aplicação das novas tecnologias, nomeadamente dos SIG. Ela segue os procedimentos tradicionais, onerosos e morosos, que se baseiam nos estudos de fotointerpretação e de campo.

Segue-se a captura de dados para o formato digital, que inclui um pré-processamento e edição de dados. Os dados de cartas analógicas, nomeadamente simples cartas de factores, são capturados **através de digitalização** por dois métodos principais (Quadro IV.5): **digitalização manual**, por exemplo em mesas traçadoras, ou por **rasterização**, em *scanners* ópticos, geralmente com ulterior vectorização semi-automática. É essencial nunca digitalizar a mesma linha mais do que uma vez; por exemplo, nos casos em que o traçado de uma falha coincida com um limite geológico.

Quadro IV.5 - Comparação entre digitalização manual e rasterização.

Digitalização	Manual	Rasterização
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> O operador tem controlo directo sobre os dados adquiridos. Opção com baixo custo para a aquisição de documentos simples ou para sistemas que necessitem do <i>input</i> de pequenos volumes de dados. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Exige poucos minutos.</i> <i>A utilização de digitalizadores mais sensíveis permite uma maior discriminação entre dados e ruído.</i> <i>Existe software que permite uma vectorização ulterior semi-automática.</i>
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> É mais morosa e implica um trabalho mais intenso. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>A georreferenciação e vectorização, ou seja a edição da imagem rasterizada, demora algum tempo e pode gerar alguns erros de posição.</i>

As aplicações disponíveis no mercado utilizam sistemas gráficos interactivos e permitem registar qualquer área digitalizada para um sistema de coordenadas cartográficas, desde que:

- a projecção e a escala da carta original sejam conhecidas; sendo certo que a escala tem que ser igual ou maior do que a resolução pretendida para a carta final;
- se seleccionem pelo menos 3 pontos de controlo (isto é, com as coordenadas conhecidas) para se georreferenciar a área digitalizada.

Em todo este processo é fundamental garantir a qualidade e traçar a história dos dados, nomeadamente através da incorporação dessa informação em tabelas de metadados, conforme foi referido anteriormente. A integração de dados de diversas fontes levanta a questão relativa à transição de dados de SIG de uma escala para outra e de saber quais as escalas que foram utilizadas quando se efectuou a combinação ou a transferência de dados. Por outro lado, quais foram os padrões de precisão utilizados (se é que houve alguns!). Ao utilizar as normas sobre informação geográfica que entretanto foram sendo

desenvolvidas, alguns destes problemas podem ser limitados.

Antes de digitalizar, anotam-se na base (metainformação) as especificações da carta digitalizada que incluem a escala, autoria, etc.. Devem também preparar-se as definições a adoptar para representar graficamente os elementos geométricos, cor ou tons de cinzento no caso de píxeis ou, caso se opte por vectorizar os dados, a simbologia de linhas (estilo, espessura e cor), pontos (tipo, tamanho e cor), polígonos (preenchimento, cores e/ou tipo de tramas), texto (tipo, tamanho, espessura e cor) e informação que será incluída em eventuais legendas. A simbologia é geralmente anotada num ficheiro do tipo biblioteca de símbolos mantendo-se, em regra, constante o aspecto gráfico para um conjunto de objectos espaciais.

Os dados alfanuméricos podem ser adquiridos por teclado ou por rasterização seguida de reconhecimento óptico dos caracteres. Alguns produtos no mercado permitem ter já uma vectorização quase automática, possibilitando o reconhecimento óptico de texto e a capacidade de distinguir entre linhas de diferente espessura.

É particularmente importante a uniformização de procedimentos a fim de possibilitar uma eficaz partilha de dados.

A fase de aquisição é fonte de muitos erros, pelo que lhe sucede sempre uma fase de validação dos dados que implica um trabalho cuidadoso de edição para identificar eventuais erros e prevenir inconsistências na BD. Idealmente, não há redundância da informação geométrica num ficheiro geográfico. A detecção de erros, e a sua correcção durante a digitalização, é mais eficaz se o operador tiver conhecimentos geológicos, uma vez que se pode ir cruzando informação entre o que se está a digitalizar e o contexto geológico e espacial. É necessário avaliar a exactidão de posição, isto é, assegurar que as linhas e polígonos da carta analógica original estão adequadamente reproduzidos e atribuídos de modo a prevenir inconsistências. Uma maneira de definir a inexactidão numa BD espacial é através da verificação de informação que não se encontra presente em formato digital.

Este trabalho é iniciado por uma visualização directa dos elementos digitalizados no monitor e o recurso a ferramentas disponibilizadas pelas aplicações, que oferecem um sistema interactivo através de comandos do tipo *modify*, *move*, *extend*, *delete*, etc., ou de *undershoot*, *overshoot*, etc., no caso de SIG (Quadro IV.6). Utiliza-se ainda uma cópia impressa (em *plotter* ou impressora) para detectar eventuais anomalias.

A carta digitalizada é arquivada em formato matricial ou vectorial. Obtém-se, assim, um ficheiro digital que descreve apenas as características geométricas dos objectos; seguidamente, para que se possam efectuar análises espaciais futuras em formato

vectorial, tem que se estruturar os dados topologicamente.

Quadro IV.6 - Principais operações de aquisição, validação, estruturação e manipulação disponibilizadas em SIG.

Operação	Funções	Exemplo de aplicação em Geologia de Engenharia
Integração de dados digitais	Importação ou exportação de dados de outras, ou para outras, aplicações.	
	Simbolização	<i>Convenção cartográfica a atribuir aos objectos gráficos.</i>
Automação e edição	Digitalização	<i>Aquisição de informação para formato digital.</i>
	Poligonização	<i>Criação de topologia - criação de polígonos (unidades litológicas, por exemplo) a partir de um conjunto de linhas (limites litológicos).</i>
	Etiquetagem	<i>Criação de topologia - em determinados software, equivale à operação de introdução de designações de polígonos, por exemplo através da introdução de centróides que permitem relacionar objectos gráficos com os respectivos atributos.</i>
	Criação de entidades gráficas	<i>Localização de objectos gráficos e/ou construção de pontos, linhas ou polígonos.</i>
	Transformação de coordenadas	<i>Integração de dados com sistemas de projecção cartográficos diferentes, por exemplo Hayford Gauss moderno (HG73) ou antigo (HGA).</i>
	Projecção / Rectificação de imagens	<i>Rectificação de ficheiros cartográficos rasterizados e sua georreferenciação.</i>
	Conectividade, contiguidade	<i>Comandos de edição, em formato vectorial, para eliminar "ruídos" do ficheiro de desenho.</i>
Manipulação	Extracção de dados (windowing)	<i>Extrair dados de uma área particular, numa ou várias coberturas, definida através de uma "janela" no monitor.</i>
	Conversão de formatos (matricial ⇔ vectorial)	<i>Transformação de dados arquivados na estrutura matricial para vectorial ou vice-versa.</i>
	Redefinição de linhas	<i>Comando de edição em formato vectorial que possibilita actuar sobre linhas/segmentos de linhas e suavizar os seus contornos, diminuir o número de vértices, etc..</i>
	Alteração na resolução	<i>Operação de ampliação ou redução de um certo factor, consoante o interesse e finalidade.</i>
	Reclassificação	<i>Reavaliação de um conjunto de atributos e a sua transformação noutros em função de certa(s) característica(s), em que certas classes dos dados de input são atribuídos a novas classes nos dados de output.</i>
	Fusão (merge)	<i>Simplificação das unidades de uma determinada área, por agrupamento de polígonos contíguos.</i>
	Generalização	<i>Redução para um número de classes mais abrangentes com base nos elementos geométricos e/ou respectivos atributos.</i>

A estruturação dos dados em formato vectorial consiste na criação de topologia, isto é, de informação geográfica. Os objectos devem ser divididos por temas, o mais abrangentes possíveis; em seguida, definem-se as entidades geográficas, associando-lhes uma representação gráfica tipo e, depois, os atributos que as caracterizam.

As operações de manipulação (Quadro IV.6) para além de facilitarem as de análise espacial em SIG, permitem ainda adquirir ou editar dados, alterar a estrutura/forma em que aqueles se encontram ou, ainda, generalizar ou agregar diversos conjuntos de atributos/elementos geométricos a um menor número para efectuar operações espaciais.

A qualidade dos dados georreferenciados numa base inclui aspectos:

- cartográficos - estão ligados aos elementos gráficos e podem referir-se à **exactidão do seu posicionamento**, que é função da fonte dos dados e que está sempre afectada por um erro gráfico podendo, inclusive, derivar de uma georreferenciação deficiente ou erro na transformação de coordenadas; podem resultar da fase de manipulação dos ficheiros gráficos devido aos processos de tratamento e de edição automáticos utilizados; finalmente podem consistir em erros de processamento, associados ao *hardware* e *software* utilizados nesta fase inicial, nomeadamente no processo de vectorização automática. A exactidão gráfica é igual a 0,02 mm na escala da carta (FERNANDES, 1997);
- temáticos - relacionam-se com a **exactidão dos atributos**, ou seja, se os dados estão ou não actualizados e correctos; a qualidade é descrita explicitamente em formato digital recorrendo, para o efeito, a campos próprios para guardar tais observações - por exemplo, registo a definir se a falha é inferida, interpretada ou observada.

A validação dos dados digitais inclui confirmar se estão correctos, completos e documentados. Os problemas que podem ocorrer incluem topologia incompleta, projecções inconsistentes e ficheiros danificados. Quando os CDG estão normalizados, são possíveis avaliações automáticas. De acordo com as normas propostas da *Digital Cartographic Data Standards Task Force* (DCDSTF, 1988 in LAUTER & VERIGIN, 1992), a documentação da qualidade dos dados inclui cinco componentes chave: exactidão de posição, exactidão dos atributos, historial (fontes dos dados e métodos de derivação e codificação dos dados, bem como o conjunto de transformações aplicadas aos dados), consistência lógica (fidelidade das associações codificadas nos dados) e se estão completos (se estão suficientemente descritas as associações entre objectos na BD e todo o universo abstracto dos objectos).

Análise espacial

A informação que se pretende numa carta geotécnica, sobre as condições ocorrentes em determinada área, pode ser conseguida por manipulação e análise da informação contida no SIG e com as ferramentas que o sistema disponibiliza (Quadro IV.7).

A integração de dados digitais e a análise espacial permitem adicionar à BD espacial novos dados, derivados dos primeiros, bem como resolver problemas espaciais, através de medições de objectos, determinando relações espaciais ou criando modelos preditivos. A qualidade dos dados secundários depende do tipo de interpretação que sofreram, qualitativa ou quantitativamente, e da resolução dos dados originais. É o caso da generalização e da sua irreversibilidade que já foi referido no capítulo II. A situação complica-se ao utilizar dados sucessivamente derivados em SIG, que foram submetidos a manipulações e/ou combinações diversas.

A visualização é uma função crítica importante num SIG. A capacidade dos *software* em transformar tabelas de dados em imagens e em possibilitar a visualização de associações espaciais, é extremamente apelativa para quem trabalha com dados sobre a Terra; para além disso, permite examinar, interactivamente, valores mais específicos de certo conjunto de dados através de interrogações lançadas à BD. As interrogações espaciais num SIG (Quadro IV.7), implicam encontrar objectos (ou os seus atributos) que se encontram presentes num dado local, ou definir as localizações em que certos objectos espaciais preenchem determinados requisitos.

Quadro IV.7 - Principais ferramentas de um SIG para análises de dados e modelação (adaptado de BONHAM-CARTER, 1997; HOLDSTOCK, 1998).

Funções	
Análise espacial	Agregação
	Reclassificação
	Medições e cálculos de distâncias, perímetros ou áreas.
	Álgebra de mapas (essencialmente operações booleanas / sobreposição).
	Criação de corredores (<i>buffering</i>).
	Modelação 3D (modelos TIN, GRID, cálculo de declives, exposições, etc.).
	Isolinhas e isoáreas; análise espacial de densidades
	Análise de redes.
	Análises estatísticas.
	Análise contiguidade.
Interrogações espaciais ou por atributos.	

Na fase de análise espacial, a escala/resolução dos dados influencia os padrões que se obtêm, função das características dos fenómenos naturais avaliados e das suas inter-relações. No SIG, o problema da resolução permanece e os resultados são também afectados por erros complexos, tanto ou mais que os métodos tradicionais (WORBOYS, 1995; BURROUGH & MCDONNEL; 1998). Muitas vezes, por não existirem disponíveis levantamentos a escalas maiores, os mapas a escalas mais pequenas são impropriamente ampliados face à resolução que têm. Nas cartas digitais este tipo de procedimento é mais frequente do que nas analógicas, pois o computador facilita (e de certa maneira convida) a este tipo de actuação. Se bem que se possa afirmar que uma carta armazenada num SIG não tem escala, tem outra característica, a resolução, que condiciona a exactidão que se pode esperar encontrar na localização dos elementos que contém e que, por sua vez, restringe a integração com dados com outras resoluções, especialmente inferiores.

A sobreposição constitui um tema central das ferramentas SIG, na medida em que nenhuma outra operação permite integrar tão claramente diversas fontes de informação. Existem essencialmente três grupos de regras para se efectuarem sobreposições (CHRISMAN, 1997):

- regras de dominância (um dos valores dos atributos resulta de uma regra externa, por exemplo, o valor mais elevado);
- regras de contribuição (utilizam-se todos os valores da fonte para construir um outro valor, que resulta da igual contribuição dos primeiros; é o caso da adição);
- regras de interacção (utilizam-se também todos os valores, mas o resultado da sobreposição baseia-se nas relações entre eles e não apenas no seu valor numérico).

Qualquer uma destas regras introduz alterações na precisão da classificação temática.

Finalmente, é necessário validar os resultados obtidos nesta fase dos estudos, a qual dependerá da finalidade da análise efectuada. Poderá recorrer-se a diferentes metodologias, que vão desde a comparação directa dos resultados com os obtidos pelos métodos tradicionais, passando pela confirmação dos novos dados com dados reais, até à utilização de métodos estatísticos.

Produto final

Os produtos finais da aplicação da tecnologia SIG podem ser observados directamente no monitor ou assumir a forma de mapas, relatórios, tabelas, gráficos, etc..

Uma vez obtido o resultado, pode concluir-se pela necessidade de adquirir novos tipos de dados e/ou rearranjar o modelo e, portanto, iniciar novo ciclo de actividades com o SIG para chegar à obtenção de outro resultado, tendo em atenção os objectivos pretendidos.

3. APLICAÇÕES EM GEOTECNIA

Diversas referências descrevem o modo de funcionamento dos SIG - como armazenam a informação, como capturam os dados ou efectuam análises (ARONOFF, 1991; BURROUGH, 1994; WORBOYS, 1995; BONHAM-CARTER, 1997; etc.) e o que podem fazer para apoiar a resolução de problemas geológicos e/ou geotécnicos (GOURNELLOS *et al.*, 1997; MARINOS, PERLEROS *et al.*, 1997; STOURNARAS *et al.*, 1997 ou TSIAMBAOS *et al.*, 1997, entre outros). Porém, poucos discutem como gerir, com um SIG, a informação contida numa carta e, conseqüentemente, menos são os que realmente se fizeram valer das ferramentas disponibilizadas por esta tecnologia para elaborar cartas geotécnicas (semi-automáticas ou, mesmo, com o auxílio do computador). Assim, verifica-se que o sucesso das Tecnologias de Informação nas Ciências da Terra, conduziu frequentemente à disponibilização de informação, mas muitas vezes de forma não estruturada.

Ultimamente, esta tecnologia tem sido utilizada de forma válida para a aquisição de alguns dos dados referentes aos factores mais importantes na produção de movimentos de terrenos e para armazenar e manipular, eficaz e inovadoramente, a maioria deles. O desenvolvimento de técnicas cartográficas bi e tridimensionais facilitou igualmente a gestão, processamento e manipulação de dados relativos à altitude, designados vulgarmente de modelos digitais de terreno (MDT) e os seus derivados.

Referem-se, em seguida, alguns exemplos que eventualmente melhor ilustram a aplicação de SIG nas Ciências da Terra e, em particular, na cartografia geotécnica.

3.1 Internacionais

Um dos exemplos mais antigos de uma BD gráficos utilizada em estudos de Geologia de Engenharia para fins de planeamento, talvez seja o estudo de HASAN & WEST (1982), efectuado para *Boone County*, Indiana (EUA), que utilizou como cartas de base a topografia, a distribuição bidimensional das características geotécnicas dos diferentes tipos de terrenos, a profundidade até ao substrato rochoso, a caracterização da água superficial e subterrânea e a classificação unificada dos solos. Para armazenar a

informação no computador foi definida uma célula básica de 154.2 m (500 pés) de lado. Das cartas derivaram outras: cartas de declives do terreno, cartas de susceptibilidade à erosão e classificação em termos de drenagem dos terrenos. Estas últimas foram complementadas com o traçado de cartas de profundidade do nível freático e da permeabilidade das diferentes camadas. Por fim obtiveram-se cartas de síntese (aptidão geotécnica à ocupação).

USERY *et al.* (1988) desenvolveram um projecto piloto - designado GEM, recorrendo a uma síntese dos métodos utilizados por diversos autores para obter cartas geotécnicas em computadores a partir de dados básicos das Ciências da Terra. A aplicação desenvolvida permite que a carta geotécnica seja criada a partir de múltiplos níveis temáticos separados (áreas inundáveis, taludes, plasticidade e carsificação), que podem constituir o *input*, ou de uma única cobertura com vários factores - um único tema, solos, com quatro descritores.

Diversas cidades da Europa Ocidental tinham, na década de noventa, SGBD sofisticados em funcionamento com ligação a SIG, como é o caso da cidade de Amesterdão, INGEO-BASE e UMIS (HERBSCHLEB, 1990; MULDER *et al.*; 1997), Limburgo na Alemanha (MAURENBRECHER *et al.*, 1990) ou Londres – LOCUS (ELLISON *et al.*, 1993).

Os Serviços Geológicos Britânicos (BGS) desenvolveram no início da década de 90 um Projecto, conhecido por LOCUS (*London Computerised Underground and Surface Geology*), que visa produzir, aplicando a tecnologia SIG, diferentes cartas temáticas digitais para fins de engenharia (escalas $\geq 1:10\ 000$), planeamento e resolução de problemas geoambientais da zona urbana de Londres e do estuário do Rio Tamisa. Baseia-se numa BD com mais de 20000 registos de sondagens. O sistema de produção de cartas digitais (DMPS) do BGS tornou-se operacional em 1993, sendo constituído por diversas BD interligadas que contêm informação geológica e geotécnica retirada de mapas, originalmente manuais, ou sondagens, que podem ser interrogadas para gerar uma nova carta, derivada ou temática, especializada, que exhibe qualquer elemento ou combinação de elementos a partir das BD fontes (MALLEN, 1997). Os *software* utilizados foram o MGE[®] da *Intergraph* e a BD ORACLE[®]. O DMPS contém 5 dicionários geológicos, a maioria dos quais se encontram disponíveis para consulta na Internet (<http://www.bgs.ac.uk/>):

- estratigrafia britânica (léxico);
- esquemas unificados para símbolos e tipos de linhas utilizados nas cartas;
- esquemas de classificação e códigos para os diferentes tipos de rochas, depósitos quaternários, aterros ou movimentos de terrenos;
- cronostratigrafia;
- geocronologia.

NARANJO *et al.* (1994) efectuaram um estudo estatístico de duas áreas nos Andes, numa escala média, para avaliação dos perigos de escorregamentos, com a análise a decorrer com os dados em formato matricial. As cartas base e derivadas utilizadas, e que corresponderam a outros tantos níveis temáticos, foram: classes de altitude (intervalos de 100 m); uso do solo; classes de declive; geomorfologia e geologia. Em seguida aplicaram métodos estatísticos bivariados, atribuindo pesos e ponderações a diferentes atributos.

Da mesma altura, existe ainda um outro trabalho desenvolvido no *International Institute for Geo-Information and Earth Observation* (ITC), em *Delft*, em que foi concebida uma base de dados espacial para a cidade de *Manizales*, na Colômbia Central, com as cartas base na escala 1:10 000 (VAN WESTEN *et al.*, 1994). A BD incluiu informação geométrica relativa à geomorfologia, inventário de movimentos de terrenos, geologia, Modelo Digital de Altitudes (DEM) e declives, a que foi associada a descrição dos terrenos (solos e rochas) e dos resultados de ensaios de laboratório efectuados. Os pixéis da BD encontravam-se ligados àquelas tabelas, através de um identificador único. A carta de declives foi obtida a partir do DEM. A análise da BD espacial permitiu sintetizar a distribuição bidimensional dos três tipos de materiais superficiais considerados básicos (cinzas vulcânicas, depósitos de vertente e aterros), a que se adicionou ainda informação referente à respectiva espessura. O formato adoptado para análise dos dados foi também o matricial, tendo-se ainda utilizado análise estatística multivariada. Este constitui, ainda hoje, um dos exemplos bibliográficos onde se exploraram mais profundamente as ferramentas dos SIG no domínio da Geologia de Engenharia. Os autores referem como principais dificuldades detectadas a heterogeneidade e anisotropia, que tornaram difícil a modelação automática da espessura dos diferentes terrenos.

CARRARA *et al.* (1995), demonstraram a utilidade da cartografia automática e das operações espaciais em SIG para dividir uma região italiana em diversas unidades de terreno de acordo com vários critérios, sem as restrições que derivam do trabalho manual, tradicional. Contudo, alertaram para a necessidade de prestar mais atenção às diversas fontes de erro e incertezas associadas à aquisição e manipulação de dados. VAN WESTEN *et al.* (1994), já tinham demonstrado que a cartografia de susceptibilidade a movimentos de terrenos era a fase mais propícia à geração de erros em todo o procedimento e, por isso, quase todos os factores de instabilidade recolhidos no campo ou derivados no gabinete através de manipulação no SIG podem estar afectados de inexactidões e erros cujas magnitudes não podem ser eficazmente estimadas ou controladas durante a fase subsequente da análise de dados ou modelação.

Após uma primeira reunião em 1996, os representantes da *Association of American State Geologists* (AASG), do *Geological Survey of Canada* (GSC) e do USGS, tentaram uniformizar um procedimento através da definição de um conjunto de especifi-

cações para criar um modelo de dados básico para as cartas geológicas digitais e que passou pela edição de vários documentos disponibilizados no *site* <http://ncgmp.usgs.gov/ngmdbproject/> (JOHNSON *et al.*, 1998).

O modelo de dados adoptado pela AASG/USGS não contempla ainda o desenvolvimento da ligação a certos atributos, tais como as propriedades geotécnicas de rochas, a sua aptidão aquífera, definição de espessuras mínima e máxima de litologias, bem como a ampliação da informação de forma a englobar a relativa a objectos geomorfológicos, aquíferos e furos ou sondagens de prospecção.

O'ROURKE & PEASE (1997) aplicaram um SIG para obter a definição da espessura de camadas superficiais susceptíveis de sofrer liquefacção, para uma determinada intensidade sísmica, em quatro áreas de S. Francisco, com base em ocorrências de liquefacção registadas durante os sismos de S. Francisco (1906) e *Loma Prieta* (1989) e em estudos geológicos e geotécnicos entretanto efectuados na região. Concluíram que a geração de cartas subsuperficiais em computador é um suplemento valioso, mas não um substituto para a interpretação geotécnica. A densidade das sondagens é raramente uniforme, pelo que a extrapolação de dados para áreas em que não existem sondagens pode resultar em valores anómalos. Deste modo, tais valores devem ser verificados e ajustados pelo especialista com base no conhecimento dos processos geodinâmicos e geotécnicos. Este princípio foi utilizado para efectuar ajustamentos nas cartas digitais onde os dados eram mais escassos.

KAÂNICHE *et al.* (2000) apresentaram recentemente um modelo para um sistema de informação geológica e geotécnica que lhes permitiu realizar um "atlas" geotécnico digital para a cidade de *Tunis*, recorrendo para o efeito a uma base de dados relacional. O modelo conceptual apresentado baseia-se essencialmente em duas entidades, ESTUDO e SONDAGEM, a que se associam outras como CAMADA, COMPLEXO LITOLÓGICO, NÍVEL FREÁTICO e ATRIBUIÇÃO ESTRATIGRÁFICA. Existem ainda duas entidades relativas aos ensaios geotécnicos efectuados *in situ*, em sondagens, ou em laboratório. A entidade SONDAGEM encerra os elementos referentes à localização espacial de todas as outras informações da base. Alguns "ficheiros cartográficos" foram obtidos a partir da análise daquela informação (Quadro IV.8) e podem ser subdivididos, quanto ao conteúdo, em qualitativos e quantitativos. Incluíram ainda pelo menos dois perfis geológicos numa das quatro unidades geotécnicas definidas para a cidade - a planície de *Tunis*.

Os autores salientam dois aspectos importantes do seu trabalho: novas informações relativas ao subsolo da cidade podem melhorar e afinar os resultados do modelo obtido e o zonamento geotécnico final não dispensa, em nenhuma situação, a realização de uma campanha de reconhecimento geotécnico para o projecto de uma dada estrutura. Contudo, no artigo referido não mencionam se efectuaram algum tipo de validação dos

IV. Bases de Dados Gráficos

resultados das cartas derivadas e de síntese, qual a resolução da base cartográfica, bem como a densidade de informação máxima, mínima e média do sistema de informação e o tipo de interpolação utilizada para obter as cartas de isopacas.

Quadro IV.8 - Estruturação da informação gráfica da BD para a cidade de *Tunis* (KAÂNICHE *et al.*, 2000).

ATLAS	Ficheiro	Conteúdo
Cartas de base	Apresentação do sector	Toponímia e zonas de lacuna de informação (por exemplo, a zona do lago da cidade).
	Topografia	Apresenta a topografia.
	Localização das sondagens	Documentação relativa aos pontos de informação - sondagens, em termos das suas coordenadas cartográficas e respectiva cota.
	Litologia_cota Litologia_profundidade Litologia_espessura	Formações geológicas (arenitos, tufos, argilas, areia, vasa e aterros) e sua representação em função da sua cota, profundidade e espessura, em três ficheiros diferentes obtidos com base na informação que integra as sondagens.
	Ensaio <i>in situ</i> (pressiómetro, CPT e penetrómetro dinâmico)	Para cada um dos ensaios considerados, representam-se os resultados para profundidades fixas (5, 10, 15, 20 até um máximo de 60 m).
Cartas derivadas	Litologia_1m Litologia_5m Litologia_10m	Distribuição da litologia a profundidade constante.
	Espessura das formações	Distribuição em extensão e profundidade de uma litologia (arenitos, tufos, argilas, areia, vasa ou aterros).
	Pressiómetro_M_1m Pressiómetro_M_5m Pressiómetro_M_10m	Distribuição espacial, a profundidades constantes, do módulo pressiométrico dos terrenos.
	Pressiómetro_PL_1m Pressiómetro_PL_5m Pressiómetro_PL_10m	Distribuição espacial, a profundidades constantes, da pressão limite dos terrenos obtida no ensaio pressiométrico.
	Penetrómetro_Rp_1m Penetrómetro_Rp_5m Penetrómetro_Rp_10m	Distribuição espacial, a profundidades constantes, da resistência de ponta dos terrenos obtida pelo penetrómetro dinâmico.
	Cartas de síntese	Modelação_3D_Pressiómetro_M Modelação_3D_Pressiómetro_PL Modelação_3D_Penetrómetro_Rp
Zonamento geotécnico		Subdivisão do sector estudado em quatro zonas geotécnicas.

3.2 Portuguesas

Como se referiu anteriormente, a Câmara Municipal do Porto foi pioneira na tentativa de desenvolver um sistema de informação geotécnica, tendo para o efeito carregado numa BD gráfica diversas cartas geotécnicas - de factores e de zonamento (OLIVEIRA *et al.*, 1995). Contudo, à semelhança do que aconteceu inicialmente noutros estudos, as cartas finais não foram obtidas directamente por análise espacial da BD constituída

pelas cartas de factores e pelos respectivos atributos, alfanuméricos, na medida em que o *software* da primeira corria em ambiente UNIX e o da segunda em DOS (*op. cit.*).

DIONÍSIO (1998), ensaiou pela primeira vez em Portugal a constituição de um modelo georrelacional no domínio das Ciências da Terra, utilizando para o efeito o MGE[®] da *Intergraph* e o *Microsoft ACCESS*[®], no âmbito de uma dissertação de mestrado apresentada à UNL. No Quadro IV.9, encontram-se sintetizados os oito ficheiros que continham a informação digital referente à vertente esquerda do Vale de Alcântara (Casal Ventoso), em Lisboa e que constituiu uma BD espacial que designou por Sistema de Informação Geológica e Geotécnica da Encosta do Casal Ventoso. A informação base foi digitalizada a partir de uma base topográfica na escala 1:1 000.

Quadro IV.9 - Coberturas temáticas definidas por DIONÍSIO (1998).

Ficheiro	Descrição do conteúdo
Mapa geológico	<i>Limites litostratigráficos, zona de lacuna de informação e falhas.</i>
Mapa litológico	<i>Limites litológicos aflorantes.</i>
Mapa dos trabalhos de reconhecimento	<i>Locais onde se efectuaram sondagens, perfis sísmicos e eléctricos, trincheiras.</i>
Mapa litológico_3D	<i>Litologias aflorantes na área em estudo, "modeladas" 3D.</i>
Mapa aterro	<i>Aterros aflorantes na área em estudo, "modelados" 3D.</i>
DTM_CV	<i>Modelo digital de terreno, em formato matricial, com espaçamento de 5m.</i>
Afloramentos	<i>Zonas onde se identificaram afloramentos rochosos e se efectuaram medições.</i>
Declives	<i>Distribuição espacial dos declives do terreno na área estudada.</i>

No MGE[®] estruturou a informação de acordo com o Quadro IV.10. Em cada ficheiro teve o cuidado de evitar a duplicação de elementos vectoriais, efectuando a multicodificação de um mesmo vector e atribuindo-lhe, no sistema, os diferentes significados que poderia ter. A informação comum aos vários temas apenas foi vectorizada uma vez, sendo posteriormente copiada para os diferentes ficheiros de modo a manter-se a consistência da informação.

O trabalho de validação dos dados inseridos no sistema contemplou os seguintes aspectos:

- criação de domínios para alguns campos de maneira a efectuar um controlo automático à medida que a informação é adquirida pelo sistema;

IV. Bases de Dados Gráficos

- criação de *views* para avaliar a consistência de dados em diferentes tabelas;
- realização de testes para avaliar a eficácia de acesso à informação.

Quadro IV.10 - Estruturação da informação gráfica de DIONÍSIO (1998) no MGE®.

Categoria	Features	Tipo de Feature	Descrição
Altimetria	Declives_b	<i>Area boundary</i>	Limite de área com o mesmo declive.
	Declives_c	<i>Area centroide</i>	Identificador do declive do terreno.
Informação não geológica	Limite_zona_estudo	<i>Area boundary</i>	Limite da zona estudada.
	Limite_área_estudo	<i>Area boundary</i>	Limite da área estudada.
	Limite_zona_trabalho	<i>Area boundary</i>	Limite da zona de trabalho.
Informações de observações no campo	Afloramento_geológico_b	<i>Area boundary</i>	Limite do afloramento.
	Afloramento_geológico_c	<i>Area centroide</i>	Identificador do afloramento.
	Pontos_informação	<i>Point</i>	Estações do levantamento de campo.
Mapas geológicos	Falha	<i>Line</i>	Falha.
	Falha_provável	<i>Line</i>	Falha provável.
	Lacuna_informação	<i>Area boundary</i>	Limite de zona não cartografada.
	Limite_geológico_b	<i>Area boundary</i>	Limite geológico.
	Limite_geológico_provável_b	<i>Area boundary</i>	Limite geológico provável.
	Unidades_geolog_cventoso_c	<i>Area centroide</i>	Identificador de unidade geológica.
Mapas litológicos	Limite_litológico_cventoso	<i>Area boundary</i>	Limites dos tipos litológicos.
	Unidades_litolog_cv_c	<i>Area centroide</i>	Identificador dos tipos litológicos.
Trabalhos de reconhecimento	Trab_reconh_sondagem	<i>Point</i>	Sondagens.
	Trab_reconh_perfil_sísmico	<i>Line</i>	Perfis sísmicos.
	Trab_reconh_perfil_eléctrico	<i>Line</i>	Perfis eléctricos.
	Trab_reconh_trincheira	<i>Area boundary</i>	Trincheiras.
	Trab_reconh_trincheira_c	<i>Area centroide</i>	Identificador de trincheiras.
	Trab_reconh_p_sísmico_id	<i>Label</i>	Identificador de perfis sísmicos.
	Trab_reconh_p_eléctrico_id	<i>Label</i>	Identificador de perfis eléctricos.
	Informação_prosp_sísmica	<i>Line</i>	Perfis transversais.

O modelo digital de altitudes (DEM) não foi validado, contendo inclusive erros altimétricos (*ib.*). Acresce ainda que as capacidades de análise do SIG não foram testadas neste trabalho, que incluiu apenas cartas básicas e algumas derivadas (modelação 3D da litologia).

Mais recentemente, CHAMBEL (1999) refere a aplicação do *software* CARIS® da *Universal Systems*, no planeamento da prospecção, cálculo de reservas e recuperação ambiental de jazigos minerais em Portugal, Angola e Brasil.

CAVALEIRO (2001), desenvolveu um sistema de informação geológica e geotécnica para a futura área de expansão da Covilhã, a partir da criação de uma base cartográfica de referência na escala 1:10 000. Os dados foram adquiridos por digitalização em AutoCAD 14® dos elementos base elaborados pelo autor, que incluíram dados geológicos e pontos de informação (sondagens, poços e ensaios *in situ*). Seguidamente,

procedeu à criação de topologia no ARC/INFO®, v.7.1.2 (ambiente UNIX). O autor acrescentou ainda alguma informação planimétrica (redes viárias) e altimétrica (pontos cotados) às curvas de nível constantes de ortofotomapas do Instituto Português de Cartografia e Cadastro, recorrendo para o efeito a um dispositivo GPS. Com base nestes elementos construiu um modelo altimétrico para a zona, a partir do qual derivou, em formato matricial, uma carta de declives e procedeu ao traçado automático da rede hidrográfica e à análise da densidade de drenagem. A carta hipsométrica da região estudada foi elaborada recorrendo ao ARCVIEW®, v.3.0 (ambiente UNIX). Utilizando ferramentas SIG, procedeu ao traçado automático das seguintes cartas digitais:

1. Carta de erosão potencial - o autor refere que é “*graficamente muito diferente da obtida pelos processos tradicionais*”, reproduzindo esta última “*aparentemente mais fielmente a morfologia da área em estudo*” (op. cit., 2001).
2. Carta de susceptibilidade aos movimentos de terrenos - derivada a partir da carta de declives e da de unidades geotécnicas, atribuindo pesos aos factores que as integravam a fim de relativizar o comportamento de cada uma delas quanto às condições mais ou menos favoráveis para a geração de movimentos.
3. Carta de aptidão à construção - tomando como factor básico de zonamento a unidade geotécnica e, acessoriamente, os declives dos terrenos, recorreu à reclassificação das entidades contidas naquelas bases, bem como das outras duas cartas derivadas mencionadas nos pontos anteriores; a carta de síntese resultou da sobreposição de todas elas.

No entanto, o autor não descreve o modo como individualizou as unidades finais de todas as cartas derivadas e de síntese referidas em 1 a 3.

3.3 Custo - Benefício

À semelhança do que se referiu nos capítulos anteriores, também não existem muitos estudos que se debrucem sobre a análise da relação benefício/custo referentes à utilização de SIG, nomeadamente na elaboração de cartografia geotécnica. Por um lado, porque ainda não existem muitos trabalhos neste domínio específico e, por outro, também aqui se torna difícil avaliar certos benefícios. FRANK *et al.* (1991) referem que, muitas vezes, os benefícios obtidos pela aplicação desta tecnologia ultrapassam quase sempre os que inicialmente se previam.

Todos os autores são unânimes em reconhecer que um SIG implica um investimento inicial significativo em *hardware* e *software*, mas os maiores custos derivam, contudo, da aquisição e verificação da informação e do investimento na formação inicial e contínua de técnicos.

A transformação de dados de cartas analógicas para formas digitais é uma das tarefas mais morosas e onerosas da criação de um SIG (FABRI, 1992). Alguma redução de custos é conseguida através da automatização dos processos de digitalização e eventual vectorização ou quando se recorre ao reconhecimento óptico de caracteres.

No *Maryland Automated Geographic Information System* (MAGI), um sistema assistido por computador que incluiu informação das Geociências, elaborado para resolver os problemas de planeamento dos recursos naturais e do uso do solo no estado americano do *Maryland*, verificou-se que mais de metade dos custos iniciais de desenvolvimento corresponderam às operações de análise e reformatação da informação base (40% do total) e à codificação e edição da mesma (20%); os maiores custos de execução de tarefas de computação corresponderam, por sua vez, às interrogações e à obtenção de saídas gráficas (PEUQUET & MARBLE, 1993).

Mais recentemente, no estudo do fenómeno de inundações em *Anglian*, no Reino Unido, LEGGET & JONES (1996) verificaram que a aquisição e a análise dos dados representou 88% dos custos do desenvolvimento do estudo.

Relativamente às técnicas tradicionais, a redução nos tempos de resposta quando se utilizam SIG é substancial, implicando portanto uma redução nos custos de exploração (FRANK *et al.*, 1991).

4. PROPOSTA DE BASE DE DADOS GEORREFERENCIADOS

4.1 Metodologia

Pretendeu-se criar uma BD espacial que possibilite a ligação entre a representação gráfica dos objectos geológicos e as suas características geológicas e geotécnicas e que permita pesquisar a informação geográfica no que se refere a litologia, falhas, propriedades geotécnicas ou hidrogeológicas, fotografias e pontos de informação (sondagens, furos de captação, poços e/ou trincheiras). O objectivo foi, assim, organizar um núcleo base e um pequeno conjunto de tabelas alfanuméricas associadas que, futuramente, podem ser complementadas face a necessidades específicas. Desde que a informação esteja convenientemente indexada, poder-se-ão obter deste repositório de dados geológicos e geotécnicos, especialmente referenciados, vários mapas para uma área geográfica específica, no caso o concelho de Almada. O ideal é que tais dados possuam todos a mesma resolução, e que esta seja a melhor possível.

A carta geotécnica é, como se referiu no capítulo II, uma síntese de informação obtida a partir de cartas de dados básicos, e outras derivadas das anteriores, com dados já interpretados.

As entidades a considerar no modelo lógico, constituem três grupos (LAXTON & BECKEN, 1996):

- 1) Sem componente espacial - são por exemplo as entidades que constituem tabelas em BDR e podem restringir a entrada dos dados na base devido ao seu formato. Estas tabelas podem estar associadas a outras para constituir meios alternativos de classificação; é o caso do domínio litológico associado ao domínio litostratigráfico.
- 2) Com e sem componente espacial - por exemplo, falhas (nome, tipo e rejeito); zonas de afloramento de unidades geológicas e entidades lineares, como estratos pouco espessos que, em função da resolução adoptada, sejam representados por uma linha.
- 3) Entidades cartográficas - são meros elementos gráficos, sobre os quais não se podem efectuar pesquisas à BD; incluem aqueles que estão inseridos no mapa, mas a que não está associado nenhum elemento espacial: é o caso de notas de texto, bem como a legenda do mapa.

O único ficheiro de dados gráficos existente para o concelho de Almada, o "TAGUS", efectuado em AutoCAD®, versão 3.5i (SILVA, 1990), integra essencialmente as sondagens efectuadas, a grande maioria, junto ao rio Tejo, e as "cartas digitais" relativas à litologia, aos declives e aos movimentos de terreno da faixa marginal do Tejo, entre Cacilhas e Portinho da Costa, nas escalas de 1:2 000 e 1:5 000. Como todos eles se encontram num sistema de coordenadas e numa versão de *software* cuja transformação implicaria a correcção de demasiados erros, optou-se por não os utilizar e digitalizar novamente essa informação, directamente, a partir das mesmas fontes ou de outra obtida no decurso da presente dissertação (Quadro IV.11).

Para a concepção e desenvolvimento da estrutura dos dados foram seleccionados, à partida, os seguintes critérios:

- existir um número mínimo de tabelas para todas as entidades;
- considerar metadados, como sejam referências bibliográficas relativas ao objecto geológico - fonte original do objecto (descritiva ou gráfica), e informação descritiva dos mapas (originais ou derivados);
- utilizar uma mesma terminologia, através da utilização de listas de termos genéricos e simples para preencher campos;
- evitar a utilização de dicionários de códigos para traduzir os termos geológicos;
- ter um mecanismo para identificar ocorrências de objectos geológicos individuais. Este mecanismo é proporcionado, por exemplo, através da descrição de uma trincheira que interessou uma determinada litologia.

Quadro IV.11 - Principais fontes cartográficas utilizadas.

Autoria	Escala	Área abrangida do concelho
RODRIGUES-CARVALHO <i>et al.</i> , 1989 e 1990 SILVA, 1990.	1:2 000 1:5000	Faixa marginal dos taludes da margem sul do Tejo.
RODRIGUES-CARVALHO <i>et al.</i> , 1990	1:5 000 1:2000	Arriba Fóssil da Costa da Caparica, entre a Descida das Vacas e a Lagoa de Albufeira.
LAMAS, 1989 e 1998	1:2 000 1:1000	Faixa marginal dos taludes da margem sul do Tejo e Arriba Fóssil da Costa da Caparica, entre S. Pedro da Trafaria e a Costa de Caparica.
AZEVEDO, 1982	1:25 000	Zona situada a sul do IC 20 - Vala do Caramujo (Plio-Quaternário).
MANUPPELLA, PAIS <i>et al.</i> , 1995	1:50 000	Zona a sul da Fonte da Telha até ao limite Sul do concelho.
SILVA (presente dissertação)	1:5 000	Todo o concelho.

A interpretação, em computador, de unidades sedimentares para tentar obter uma carta com os dados normalmente disponibilizados, é dificultada pelas variações espaciais e pela eventual inexactidão estratigráfica dos respectivos registos. As imprecisões espaciais devem-se, essencialmente, a áreas onde os limites entre unidades não foram observados directamente; as zonas onde a informação era diminuta e difícil a extrapolação de dados, optou-se por deixá-las sem informação, para serem completadas mais tarde. Por outro lado, a imprecisão estratigráfica deriva das descrições da sequência estratigráfica conterem subdivisões incorrectas, bem como uma caracterização litológica vaga e/ou incompleta. Estes dois tipos de imprecisão ocorrem muitas vezes independentemente um do outro. Um registo de sondagem pode ter uma localização espacial muito precisa e conter uma descrição generalizada da sequência de terrenos, ou inversamente como é o caso dos cortes realizados por CARVALHO (1968) na zona da Fonte da Telha. Qualquer uma destas imprecisões limita a exactidão da cartografia digital, independentemente da densidade espacial dos dados na base.

As unidades litogenéticas devem ser definidas com base no seu comportamento geomecânico, medido ou estimado, e necessitam de estudos de campo e de laboratório para a recolha das características físicas e mecânicas relevantes de cada tipo litológico. Infelizmente, uma estratégia consistente para extrapolar medições pontuais daquelas propriedades para unidades litológicas cartografáveis ainda não existe; de facto, a variação espacial de cada propriedade medida é geralmente pobre ou totalmente

desconhecida.

Considerou-se que o modelo devia contemplar a observação de locais específicos: trincheiras onde se descreveram sucessões litológicas, se colheram amostras ou se observaram determinados tipos de movimentos de massas, etc..

4.2 Modelo Conceptual

Dado que os SIG interpretam a distribuição geográfica e as relações de entidades através da informação sobre a sua geometria e das respectivas coordenadas, dividiram-se os dados a incluir na BD em função dos que correspondem a objectos com componente espacial na sua descrição, que se traduzem pelas respectivas coordenadas cartesianas (x, y) e altitude (h). Uma vez que se pretende ligar esta BD geométrica a outra, alfanumérica, que contém a descrição de algumas entidades da primeira, estes elementos serão comuns a ambas as BD. Devido à especificidades dos *software* a utilizar, é necessário constituir vários subconjuntos de tabelas, isto é, de BD, em função das respectivas entidades que foram individualizadas.

O modelo adoptado é apresentado sob a forma de modelo Entidade-Associação (E-A) na Figura IV.2.

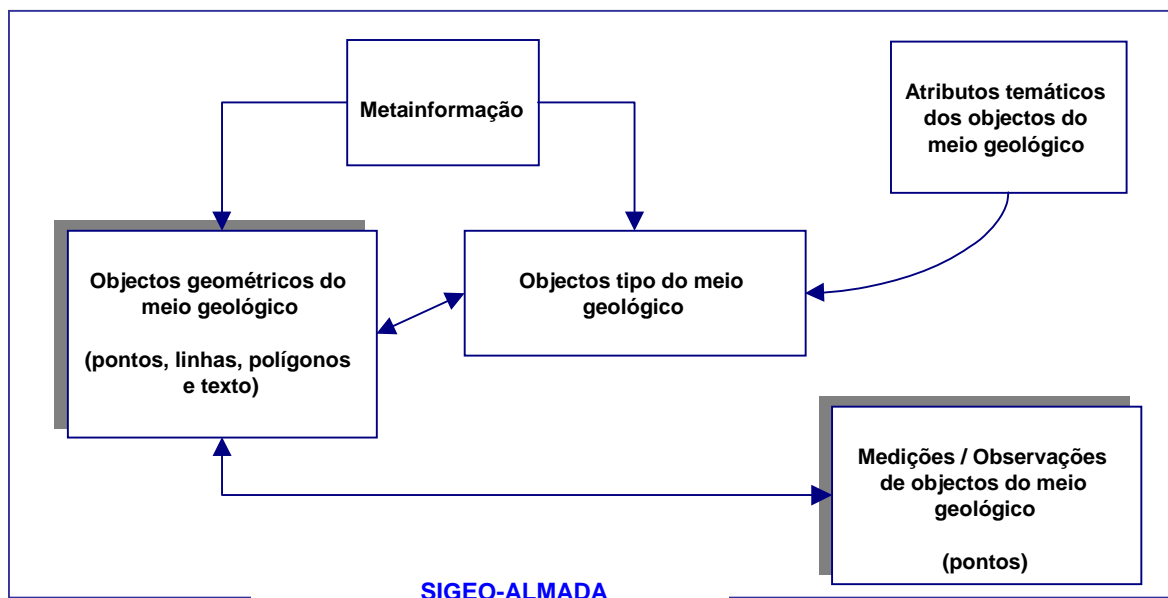


Figura IV.2 - O modelo E-A para o Sistema de Informação Geo-Almada.

A inclusão de metadados sobre a fonte das informações do SIG permite que futuros utilizadores possam consultá-la directamente para pormenorizar detalhes ou descrições

mais completas das unidades interessadas ou, inclusive, procurar referências adicionais sobre o tema.

A forma como é estruturada a associação entre, por um lado, os vários objectos geométricos e, por outro, os respectivos atributos não espaciais, vai depender do *software* utilizado. O recurso a aplicações que vão gerir os dados de acordo com o modelo georrelacional (tipo MGE® ou ARC/INFO®), torna necessária a inclusão de tabelas que definam as diferentes coberturas temáticas (ficheiros de desenho) em que se distribuíram os diversos objectos geológicos; no presente estudo tal não se revelou necessário, na medida em que se utilizou *software* baseado em objectos, isto é, do tipo GEOMEDIA PROFESSIONAL® pelo que basta definir, por temas, as diferentes classes de objectos geográficos (*feature class*) considerados, bem como a simbologia a adoptar para cada uma delas. Neste caso, obtém-se um conjunto de entidades como as que se propõem no Quadro IV.12 e cujas tabelas associadas incluem o Anexo II e, no caso de algumas já descritas no capítulo precedente, o Anexo I.

Quadro IV.12 - Proposta de informação gráfica básica para cartografia geotécnica.

Objecto (Tabela na BD)	Descrição	Geometria	Tabelas alfanuméricas associadas
PERFIL_VERTICAL	<i>Locais de realização de sondagem, poços, trincheiras ou locais de colheita de amostras.</i>	Ponto	Tabelas definidas no Anexo I.
FALHAS	<i>Principais falhas e/ou zonas tectonizadas lineares inventariadas.</i>	Linha	.
PERFIL LONGITUDINAL	<i>Locais de perfis longitudinais inventariados.</i>	Linha	FONTE
UNIDADE LITOLÓGICA	<i>Diferentes unidades litológicas definidas, em função das litologias tipo definidas para a região.</i>	Polígono	MAPA, FONTE, DESCREVE_LITOLOGIA.
MOVIMENTOS EROSÃO	<i>Áreas afectadas por movimentos de terreno ou com evidências de fenómenos de erosão.</i>	Polígono, linha ou ponto	MAPA, FONTE, MOVIMENTO_DESCRICHÃO.
DECLIVES	<i>Classes de declives do terreno.</i>	Polígono	

O armazenamento das características espaciais e geométricas dos objectos geológicos é efectuado num arquivo de OBJECTOS GRÁFICOS, onde ficam sediadas as informações topológicas, bem como a forma, dimensão e localização da entidade. Entre os objectos armazenados na base gráfica devem distinguir-se os objectos singulares, isto é, locais onde se observaram e/ou mediram determinadas características de certas entidades (OBSERVAÇÕES DE OBJECTOS), e as características que são partilhadas por objectos compostos - OBJECTOS TIPO. Estes, podem ser agrupados em **classes de objectos tipo**. Por exemplo, todas as unidades litológicas que são predominantemente consti-tuídas por rochas brandas do tipo arenito e/ou calcarenito, e que na legenda da carta temática final irão apresentar uma simbologia comum e, simultaneamente, uma descrição genérica também única. Consideraram-se, ainda, as características geológicas e

geotécnicas (ATRIBUTOS TEMÁTICOS) destes objectos tipo, cuja síntese é obtida pela análise da informação recolhida em diferentes pontos de informação na área em referência, nomeadamente atitude média de uma falha, tipo de movimento que a caracteriza, etc..

Definem-se, em seguida, os atributos incluídos em cada uma das tabelas dos modelos de dados referindo-se, para cada tabela, a designação, descrição e o formato dos dados a utilizar.

Mais uma vez, os atributos incluídos no modelo de dados são os que se consideraram suficientes para a investigação em curso, mas podem ser expandidos à medida que se façam sentir novas necessidades.

4.3 Dicionário de Dados

Apresenta-se, em seguida, uma síntese da estrutura da BD, definindo-se as diferentes tabelas e relações consideradas necessárias para explicitar o modelo E-A anteriormente exposto (Fig. IV.2). Por ser demasiado extenso, o dicionário completo dos dados da base espacial que irá integrar o SIGEO-ALMADA é apresentado no Anexo II. Nesse dicionário, definem-se os domínios dos dados e descreve-se sucintamente o significado dos termos utilizados.

A estrutura relacional adoptada, destina-se a ser aplicada num SIG baseado em objectos e utilizando uma base de dados relacional, como o ACCESS®. Genericamente, foi necessário dividir as tabelas em dois grupos (Quadro IV.12):

- um grupo com as tabelas que contêm atributos espaciais;
- outro grupo com as tabelas com atributos não espaciais.

A complexidade das tabelas reflecte a necessidade de:

- gerir adequadamente as relações geológicas complexas;
- permitir extensões a novas entidades futuramente;
- uniformizar os dados para poderem ser rapidamente manipulados e interrogados.

O sistema inclui informação genérica relativa à autoria, aos objectivos, escala e, finalmente, alguma informação qualitativa sobre as fontes cartográficas originais (exactidão, se estão completos, resolução original dos elementos, etc.) na tabela MAPA, relacionada com uma outra, FONTE, já descrita no capítulo anterior (III.4) e no Anexo I.

Os dados geológicos pontuais representam uma informação local, cartograficamente simbolizada por um ponto (símbolo) na escala de trabalho e, para os quais, é suficiente fornecer indicação sobre a sua posição e associar-lhe informação específica. Esta é inscrita num conjunto de tabelas: PERFIL_VERTICAL e MEDIÇÃO_ESTRUTURA; por sua vez, a primeira destas tabelas é complementada por informação já descrita no capítulo III e Anexo I.

A tabela FALHAS (Anexo II), refere-se à inventariação de acidentes tectónicos na região e define o tipo principal e, eventualmente, um outro secundário, observado em certo local. Para o registo, recorre-se a uma listagem predefinida, o que permitirá efectuar futuras pesquisas por palavras-chave.

Podem existir cortes longitudinais ou perfis realizados no gabinete, com os quais se pretende ilustrar aspectos particulares para o conhecimento geológico e/ou geotécnico, representados por segmentos lineares na base. A tabela PERFIL_LONGITUDINAL irá arquivar informação relativa a este tipo de dados georreferenciados.

Uma unidade cartografável é qualquer entidade geológica que foi individualizada no terreno, na escala 1:5 000, pelas suas características directamente observáveis e após confirmação através de análise mais detalhada. Cada unidade é representada por um polígono delimitado por um conjunto de linhas que têm uma tipologia associada.

A informação relativa às diferentes unidades é arquivada em várias tabelas, cuja designação é indicadora do tipo de unidade em causa. Assim, a tabela DECLIVES arquiva a informação referente ao declive do terreno, obtido a partir do MDT. As restantes tabelas referem-se a aspectos inventariados no terreno, como sejam a descrição de:

- movimentos de terreno observados na região de acordo com as recomendações do *International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (WP/WLI, 1991)* nas tabelas MOVIMENTOS e MOVIMENTO_DESCRIPÇÃO (Anexo II), SILVA *et al.* (2002);
- fenómenos de erosão - EROSÃO.

A tabela LITOLOGIAS, contém informação específica acerca das diferentes litologias que ocorrem no concelho de Almada e que foram cartografadas na escala 1:5 000. A tabela DESCREVE_LITOLOGIA contém informação mais pormenorizada quanto a subtipos de algumas litologias padrão - caso de aterros não controlados, em que se conhece a constituição do material.

V. O SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEO-ALMADA

1. METODOLOGIA

1.1 Elementos Coligidos

No presente capítulo incluem-se os procedimentos e resultados decorrentes da aquisição, validação e manipulação da informação geológica e geotécnica, georreferenciada, relativa ao território do Município de Almada, no designado Sistema de Informação Geo-Almada (SIGEO-ALMADA).

Aquela informação apoiou-se num acervo de dados geológicos e geotécnicos, uns coligidos, outros originais, obtidos no decurso do presente trabalho de investigação. No concelho de Almada têm sido executadas diversas campanhas de prospecção geotécnica no âmbito de diferentes estudos para construção de estruturas e infra-estruturas. As principais entidades responsáveis por tais trabalhos são, essencialmente, as seguintes:

Entidade	Estudos geológicos e geotécnicos
Câmara Municipal de Almada	<i>Infra-estruturas rodoviárias e saneamento, ETAR'S e construção de edifícios administrativos ou para habitação.</i>
Administração do Porto de Lisboa	<i>Infra-estruturas e estruturas portuárias ao longo dos limites norte e nascente do concelho.</i>
Instituto de Estradas de Portugal (ex-JAE) e Brisa, SA	<i>Infra-estruturas rodoviárias; estrutura da sede da JAE.</i>
REFER (ex-Gabinete do Nó Ferroviário de Lisboa)	<i>Infra-estruturas do Eixo Ferroviário norte e sul e respectivas estruturas de apoio.</i>
Grupo AUCHAN	<i>Estruturas e infra-estruturas do Almada Forum.</i>
Universidade Nova de Lisboa	<i>Infra-estruturas e estruturas do campus da Caparica.</i>
IGAPHE (ex-Fundo de Fomento de Habitação)	<i>Planeamento, infra-estruturas e estruturas do Plano Integrado de Almada, cujo topónimo actual é Bairro do Fundo de Fomento de Habitação (BFFH).</i>

Para apoio a estes e outros empreendimentos foram realizadas milhares de sondagens à rotação, à percussão ou de penetração, dispersas pelo concelho. Executaram-se, ainda, diversos furos com profundidades geralmente superiores às daquelas sondagens, atingindo várias centenas de metros, para pesquisa e, na maioria dos casos, ulterior captação de água, muitos dos quais foram efectuados por empresas especializadas.

Existem, ainda, umas poucas centenas de poços, trincheiras e furos de sondagem por trado acompanhadas da colheita de amostras, em regra remexidas. Associados a estas

e outras amostras, remexidas ou indeformadas, colhidas em sondagens de furação, existem também ensaios *in situ* e em laboratório.

Analisaram-se elementos de mais de duas centenas de estudos hidrogeológicos e geológicos e/ou geotécnicos, a maioria dos quais mencionados nas Referências, contendo resultados de prospecção mecânica (na maioria dos casos incluindo sondagens à percussão) ou de pesquisa de água, de ensaios *in situ* e/ou em laboratório, ou simples pareceres baseados em observações do terreno. Estes relatórios abrangem um intervalo de tempo compreendido entre 1940 e 1999. Os estudos de sítios contêm a descrição litológica das camadas interessadas pelos trabalhos de prospecção e, às vezes, elementos hidrogeológicos. Os dados de localização constam, geralmente, de plantas anexas aos respectivos relatórios, sendo raros os que indicam as respectivas coordenadas cartográficas. Incluem, ainda, elementos adicionais como sejam o equipamento de perfuração, o tipo de revestimento, etc..

Alguns relatórios referem-se a campanhas de prospecção no leito do rio Tejo ou nas suas margens, sendo os terrenos atravessados essencialmente as aluviões do Tejo e, inferiormente, terrenos miocénicos da divisão II de Cotter ("Areolas da Estefânia") com características geotécnicas em regra diferentes das dos restantes terrenos miocénicos emersos. Estes constituíram um primeiro grupo de estudos que se optou por não englobar no presente trabalho. Contudo, alguns deles ainda foram analisados a fim de confirmar a presença e/ou características de certos acidentes tectónicos, de cuja existência se suspeitava na zona emersa, mas em que a observação directa não era possível devido às condições do terreno.

Também não foi analisado outro conjunto de relatórios que apenas diziam respeito à execução de sondagens de penetração dinâmica ligeira e realizadas, quer em formações miocénicas, quer pliocénicas ou mesmo nos depósitos de vertente. Considerou-se não ser de interesse integrar na base de dados informação proveniente de sondagens de penetração (caso de penetrómetros dinâmicos), na medida em que o tipo de informação obtida por este método em terrenos que têm nódulos e/ou leitos carbonatados e/ou fossilíferos, como é o caso dos miocénicos, ou que possuem elementos grosseiros da dimensão calhau ou com um certo grau de cimentação, pode conduzir a conclusões erróneas. Tal veio de facto a verificar-se, por exemplo, num loteamento de terrenos camarários integrado no Plano Especial de Realojamento do Município de Almada onde, com base apenas neste tipo de prospecção, se optou por executar fundações directas numa dada zona do BFFH, o que veio a demonstrar-se inviável, já no decurso da fase de construção, aspecto que onerou significativamente a obra.

Em seguida analisou-se a qualidade dos dados remanescentes, tendo-se rejeitado, em regra, os elementos de relatórios de campanhas com mais de 30-35 anos que apresentassem uma caracterização deficiente em termos geotécnicos, se encontrassem

incompletos ou com localização dos pontos de prospecção em planta difícil de transpor, sem grande margem de erro, para as cartas topográficas actuais. Inevitavelmente, identificou-se uma grande variabilidade nas terminologias e métodos de descrição adoptados. Este facto e outros relativos à informação obtida por sondagens estiveram na base de recente trabalho de SILVA & RODRIGUES-CARVALHO (2000). Por exemplo, não é raro encontrar diversas campanhas de prospecção numa mesma área em que numa fase se distinguem os siltes das argilas e, em campanha(s) ulterior(es), as sondagens atravessam unicamente argilas siltosas; e vice-versa. Esta diversidade de critérios de classificação levou a que se distinguissem, apenas, os solos essencialmente coesivos (siltes e argilas) dos solos mais grosseiros, representados pelas areias e seixos.

Os ensaios realizados *in situ* para determinação da resistência à penetração que se resolveu incluir na base de dados, correspondem a ensaios normalizados de penetração dinâmica, tipo SPT. Nestes, um critério básico de selecção foi o de rejeitar a maioria dos ensaios anteriores à década de setenta por não cumprirem as boas regras de execução, bem como os que se seguiram a essa data nos quais, esporadicamente, se registavam valores de ensaios de modo inadequado/insuficiente (por exemplo, $N > 60$ pancadas). A transposição dos restantes resultados para a base de dados alfanumérica tornará possível caracterizar os diferentes tipos de terrenos prospectados quanto à consistência dos solos coesivos e quanto à compacidade relativa dos solos arenosos, de acordo com a especificação E 219 (LNEC, 1968). A maior dificuldade em interpretar os resultados destes ensaios reside, essencialmente, nas limitações inerentes às diferentes denominações empregues para cada tipo de terreno ensaiado. Alguns registos tiveram que ser excluídos desta análise por apresentarem uma descrição incompleta e/ou demasiado simplificada quanto às litologias atravessadas.

Por fim, refiram-se os trabalhos elaborados no âmbito de programas de investigação desenvolvidos na FCT/UNL, nomeadamente na ex-Secção Autónoma de Geotecnia (RODRIGUES-CARVALHO *et al.* 1989, 1990, 1991 e 1994), englobando toda a faixa de taludes entre Cacilhas e a Cova do Vapor, por um lado, e a Arriba Fóssil da Costa de Caparica, entre a Descida das Vacas e a região a norte da laguna de Albufeira, por outro. Neste contexto, executaram-se diversas cartas de factores na escala 1:2000 ou 1:5000 (cartas geológica, litológica, de declives e de movimentos de terrenos) e na escala 1:25000 (carta de cadastro hidrogeológico). Foram ainda efectuadas duas cartas de síntese, na escala 1:5000, para o limite setentrional do concelho de Almada e tendo por base parte da informação de algumas das cartas de factores anteriores: cartas de "riscos" de movimentos de terrenos e geotécnica desenvolvidas no âmbito da elaboração de dissertações de mestrado (respectivamente, LAMAS, 1989; SILVA, 1990).

Mais recentemente, LAMAS (1998) apresentou um conjunto de informações geotécnicas adicionais referentes aos taludes ribeirinhos do concelho e parte da Arriba Fóssil da Costa da Caparica até à zona onde esta é interceptada pelo IC 20, e SIMÕES (1998)

defendeu uma nova interpretação, quer para a evolução paleogeográfica da Península de Setúbal no Pliocénico, quer para a eventual ocorrência de importantes acidentes tectónicos que poderão afectar o concelho de Almada. Contudo, a inclusão na BD em desenvolvimento, da informação contida nestes dois trabalhos de investigação realizados na FCT/UNL, não é destituída de problemas: em ambos os casos, a informação é difícil de extrair devido à pequena escala utilizada nos mapas apresentados.

Foi coligida informação referente a alguns milhares de pontos, a maioria dos quais concentrados nas denominadas “colinas de Almada”, ou seja, interessando o substrato miocénico. Esta informação foi complementada por um conjunto de actividades adicionais desenvolvidas no âmbito da presente dissertação e que incluiu amostragem de solos e rochas, sua caracterização laboratorial e a cartografia, litológica e tectónica, de grande parte da área do concelho em análise.

A base topográfica utilizada nos trabalhos de campo consistiu em catorze cartas, na escala 1:5 000. Estas cartas foram obtidas a partir da informação cartográfica digital, datada de 1992 e, no trecho IC 20 - Parque da Paz - Feijó, de 1993, da base do Sistema de Informação Geográfica do Município de Almada (SIGMA). As bases cartográficas de referência utilizadas resultaram da junção de 228 ficheiros altimétricos e outros tantos planimétricos, com a resolução da escala 1:1 000, mas simplificados grosseiramente para um total de vinte e oito ficheiros. A informação altimétrica sofreu uma simplificação que consistiu apenas na remoção de curvas intermédias, equidistantes de 1 m, mantendo-se as mestras (5 m), e na selecção *ad hoc* de alguns pontos cotados, afim de se obter uma base de referência com a resolução da escala 1:5 000.

1.2 Novos Elementos de Caracterização Geológica e Geomorfológica

Como referido nas páginas anteriores, quando se iniciou o presente trabalho apenas o limite setentrional e poente da área do Município de Almada, mais concretamente a planície e parte da vertente litoral, haviam sido objecto de cartografia de grande escala. Assim, foi necessário completar tais elementos para o interior do concelho, bem como em todo o limite nascente, em grande parte ocupado por formações pliocénicas, na Base Naval do Alfeite.

O trabalho de cartografia adicional compreendeu duas tarefas: por um lado, reviu-se a cartografia dos terrenos miocénicos que havia sido efectuada entre 1988 e 1991, a qual foi objecto de algumas alterações, nomeadamente na zona de Cacilhas, Porto Brandão e Raposeira/Trafaria. Por outro lado, fez-se também a revisão da cartografia das

formações plio-quadernárias, ao longo de duas faixas principais: uma, correspondendo à da Arriba Fóssil da Costa de Caparica, onde se efectuou o levantamento de cerca de nove perfis litológicos, e outra na área do Alfeite. Nesta última procedeu-se ainda à inventariação de perfis (também num total de nove), à colheita de amostras e fotografaram-se alguns aspectos geológicos de interesse.

Previamente, e durante o desenrolar dos trabalhos de campo, procedeu-se à interpretação fotogeológica de fotografias aéreas pancromáticas a preto e branco e a cores, de média e grande escala, obtidas em diferentes datas.

Efectuou-se ainda um estudo relativo à identificação de movimentos de terrenos e fenómenos de erosão que eventualmente afectassem os terrenos do concelho. Decidiu-se complementar esta informação na base de dados com a obtenção de uma carta de declives para todo o concelho com vista à sua ulterior utilização na base de dados espacialmente referenciados (BDER), recorrendo a *software* disponível no mercado.

Durante os trabalhos, foi possível proceder à identificação de acidentes tectónicos ainda não assinalados, reapreciar a distribuição de algumas formações geológicas e, até, confirmar a não existência de outras como é o caso da “Formação da Sobreda”. Em diversos locais, nomeadamente no decurso das escavações do Almada Fórum e do Parque da Paz ou num corte numa plataforma de abrasão a sul do Boqueirão da Junça (Arriba Fóssil da Costa de Caparica), verificou-se que aquela “unidade” correspondia apenas aos terrenos das formações do Miocénico médio a superior, profundamente alterados - descalcificados e lixiviados superficialmente (ANTUNES *in* RIBEIRO *et al.*, 1979).

Nas zonas de Espadeiros e do BFFH, o acompanhamento de escavações, respectivamente para o Almada Forum e para as estruturas habitacionais do IMOPRAGAL (BFFH), permitiram igualmente obter novos elementos para actualização da cartografia preexistente. No que se refere à tectónica, dos acidentes agora identificados, merecem relevo importantes falhas na zona de Cacilhas-Mutela, Monte de Caparica-Banática, e na Arriba Fóssil, nomeadamente a sul do Boqueirão da Junça e da Descidas das Vacas até a norte da Fonte da Telha. A observação da parede de um antigo areeiro a SW da Quinta dos Medronheiros confirmou a presença de mais acidentes tipo falha inversa a interceptar as formações pliocénicas, à semelhança do que acontece na Fonte da Telha (CABRAL *et al.*, 1984).

A cartografia de grande parte da freguesia de Cacilhas só foi possível mediante a consulta de elementos de prospecção geotécnica recolhidos ao longo da investigação para a presente dissertação. Para a zona da Margueira-Mutela, e face à cobertura vegetal e aos materiais deslocados que cobrem os taludes dos terrenos ali existentes, houve que rever os elementos referentes aos trabalhos de prospecção mecânica realizados para a Lisnave - mais de duas centenas de sondagens à percussão

efectuadas no sopé daquela área, ao longo da faixa ribeirinha (CUF, 1963). Assim, foi possível obter os elementos que permitiram extrapolar informação visando a caracterização das unidades litológicas naquela zona emersa.

1.3 Caracterização Geotécnica

A avaliação das características geotécnicas dos terrenos da área em referência baseou-se, inicialmente, nos documentos atrás referidos, em especial para os terrenos miocénicos. Contudo, a necessidade de os caracterizar melhor e, por outro lado, de complementar ou até confirmar alguns resultados conduziu a que, no decurso da investigação, se efectuasse uma colheita selectiva de amostras de terreno a fim de serem submetidas a diversos tipos de ensaios laboratoriais visando a sua identificação e caracterização geotécnica.

A resolução do levantamento e o espaçamento da amostragem são muitas vezes restringidos pelas dimensões da escala cartográfica do mapa e/ou pelos custos de amostragem (e tempo disponível). Estudos de benefício-custo evidenciaram uma relação directa entre a densidade ou quantidade de amostragem e o custo da obtenção dos dados (Quadro V.1); por outro lado, o método de interpolação e o grau de confiança nos resultados obtidos da respectiva análise são complexos e fortemente dependentes do modo como os dados amostrados se encaixam nos padrões espaciais que se pretendem estudar (BURROUGH & McDONNEL, 1998).

Quadro V.1 - Planos de amostragem - algumas opções (adaptado de FOOKES,1997).

Amostragem	Vantagens	Desvantagens
Estatística	Fornecer resultados com base em amostragem detalhada e ensaios que se podem confiar.	<i>Ignora informação existente, não se pode utilizar para o planeamento de campanhas de prospecção por sondagens e poços.</i>
Pré - definida	Considera toda a informação preexistente. Recolha de amostras onde se prevê encontrar dados mais importantes.	<i>Utiliza o julgamento em vez da estatística. Não se pode ter a certeza probabilística que as amostras representam uma unidade uma vez que apenas algumas são retiradas, sem controlo estatístico.</i>
Pesquisa	Identificação de zonas úteis, pobres ou perigosas.	<i>Requer o conhecimento prévio de muita informação.</i>
Em profundidade	Pode descrever melhor as alterações dos solos se se observarem continuamente ao longo de um perfil vertical, a fim de se poderem subdividir.	<i>Utiliza a amostragem sistemática em profundidade o que pode causar erros; as características importantes podem passar despercebidas.</i>
Sequencial	Reduz os custos, uma vez que os métodos mais expeditos são previamente utilizados para obter informação preliminar. Útil para o planeamento de sondagens, permitindo que se recorra a elas apenas nas zonas mais relevantes.	<i>Pode consumir muito tempo se se utilizarem métodos diferentes.</i>

A amostragem estatística permite seleccionar amostras de modo a que cada zona homogénea tenha uma determinada probabilidade de ser amostrada; outro método estabelece, *a priori*, os pontos onde se vão recolher amostras com base em informação preexistente, proporcionando respostas a um amplo leque de questões. Uma variante a esta metodologia identifica previamente certas áreas de reconhecida importância e define os locais a amostrar. Pode, ainda, recorrer-se à amostragem sistemática dos terrenos a várias profundidades. Finalmente, podem utilizar-se primeiramente métodos mais ligeiros para definir melhor as condições locais e, depois, ir recorrendo a métodos de prospecção mais sofisticados e onerosos face às condições encontradas - esta é a modalidade mais utilizada no estudo de sítios.

No caso presente, optou-se por cruzar a amostragem estatística e a de pesquisa, ou seja, definiu-se primeiramente uma malha regular segundo quadrados com um quilómetro de lado, onde se obteriam amostras dos terrenos em pelo menos dois perfis verticais. Para o efeito, teriam que seleccionar-se trincheiras e, nas zonas em que tal não fosse possível, seriam efectuados poços. Concomitantemente, cruzou-se essa informação com a dos estudos geológicos e geotécnicos entretanto recolhidos, definindo-se zonas mais significativas a amostrar.

Os pontos de colheita das amostras foram, em certos locais, limitados pela deficiente acessibilidade dos terrenos, quer pela sua inclinação, quer pela ocupação antrópica. Paralelamente, acompanharam-se as escavações de obras de engenharia em curso no território, salientando-se as do túnel ferroviário no Pragal, a do Almada Fórum na zona de Espadeiros, bem como de dois parques de estacionamento no centro de Almada e do elevador panorâmico em Olho de Boi, junto ao Rio Tejo. Visitaram-se também outras escavações, para inventariação e amostragem dos terrenos, nomeadamente as efectuadas para o Parque da Paz, implantação de algumas estruturas habitacionais no centro da cidade ou na zona do BFFH, ou ainda as cavidades resultantes de areeiros abandonados na freguesia da Charneca.

A metodologia adoptada conduziu à colheita de cerca de duas centenas de amostras de solos, remexidas ou indeformadas e, em menor número, de algumas dezenas de blocos de rocha.

Mais de uma centena de amostras remexidas de solos, obtidas por escavação com auxílio de pá, permitiram a recolha da quantidade necessária de material para a realização de diversos ensaios de identificação tendo-se seguido a Especificação E 218 (LNEC, 1968). A obtenção de amostras indeformadas de terrenos coesivos, miocénicos ou pliocénicos, revelou-se particularmente difícil por estes materiais se apresentarem superficialmente fissurados e, no caso dos miocénicos, muitas vezes em profundidade; o acesso às escavações das obras acima mencionadas rendeu melhores amostras, tendo muitas vezes sido necessário recorrer a equipamento disponibilizado pelos respectivos

empregados para conseguir a recolha de blocos. Sempre que as amostras não proviessem de uma trincheira natural, onde as alterações sazonais de teor em água à superfície são muito significativas, procedia-se ao seu acondicionamento em sacos de plástico, impermeável e resistente, e fechados para minimizar variações do teor em água natural no transporte para o laboratório.

O principal problema de amostragem verificou-se na colheita dos solos mais grosseiros, plio-quadernários, constituídos predominantemente por seixos grossos e/ou calhaus, que exibiam certa cimentação. Neste caso, e após diversas tentativas infrutíferas em que se verificava a impossibilidade de colher uma amostra sem mutilar os elementos mais grossos, alterando assim o seu calibre, optou-se por proceder apenas à sua descrição visual e incluir nela a dimensão, em centímetros, dos maiores elementos presentes (ver tabela CAMADA, da base *AlfaGEO*).

Procedeu-se, em seguida, a uma selecção preliminar das amostras de terreno a submeter a ensaios em laboratório. As que se iam colhendo eram agrupadas, visualmente, em grupos de terrenos semelhantes e, só então, se executaram os ensaios laboratoriais num número significativo de amostras, pouco mais de centena e meia, das quais cerca de duas dezenas eram indeformadas.

Um número reduzido (três) de ensaios de identificação de solos, cujas amostras indeformadas apresentavam fraca coesão, foram realizados no laboratório do Centro de Estudos de Geologia e Geotecnia de Santo André (CEGSA); os restantes ensaios decorreram no laboratório de Mecânica dos Solos da Secção de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da FCT/UNL. Para o efeito, seguiram-se as especificações E 195 (LNEC, 1967a), para a preparação das amostras, e E 196 (LNEC, 1967b) e E 239 (LNEC, 1970a) para a análise granulométrica por peneiração húmida. Nalgumas amostras, cerca de 20% das ensaiadas, a totalidade da fracção fina ($D < 0,074$ mm) foi introduzida por lavagem com água destilada num recipiente com capacidade de sete litros, onde ficou a decantar durante alguns dias. Posteriormente, efectuou-se a sifonagem da água remanescente e passou-se o material decantado para um copo que foi seco em estufa sob uma temperatura máxima inferior a 40°C. O resíduo seco assim obtido foi esmagado em almofariz até se obter um pó homogéneo e uma selecção destas amostras, num total de catorze, foram transferidas para o laboratório de solos da Secção de Geologia Aplicada da Universidade de Lisboa. Aqui, procedeu-se à análise granulométrica da referida fracção por difracção de raios laser num sedimentógrafo de marca Fritsch, modelo Analysette 22; também neste laboratório se efectuou a identificação da mineralogia destas fracções por difractometria de raios-X (DRX).

Os limites de liquidez e plasticidade dos solos, de também pouco mais de uma centena e meia de amostras, foram avaliados de acordo com a NP-143 (1969). O peso volúmico dos solos foi determinado pelo método da impulsão, com os provetes impermeabilizados

com parafina. Nalgumas amostras determinou-se a densidade das partículas sólidas, pelo método do picnómetro, conforme a NP-83 (1965).

As características de resistência dos solos foram avaliadas em ensaios de corte directo (catorze amostras); os provetes tinham secção quadrada com 6 ou 7 cm de aresta, tendo sido saturados por capilaridade após imersão na própria caixa de corte. Por cada amostra ensaiaram-se três a quatro provetes. A velocidade de corte utilizada foi, em regra, de cerca de 0,1 mm/min nos solos pliocénicos e cerca de dez vezes inferior nos solos miocénicos; os primeiros ensaios foram não consolidados e os segundos, na maioria, consolidados.

Efectuaram-se ainda doze ensaios edométricos, em provetes com cerca de sete centímetros de diâmetro, de amostras indeformadas obtidas nos terrenos miocénicos. A gama de tensões aplicadas no desenrolar dos ensaios oscilou, em regra, entre cerca de 27 kPa e 820 kPa.

Os blocos de materiais rochosos, arenitos, calcarenitos e biocalcarenitos, foram em regra obtidos por selecção de exemplares decimétricos que jaziam no sopé de escarpas ou que tinham sido removidos de escavações recentes, tendo-se recorrido em menor número à obtenção de amostras directamente do maciço, com auxílio de escopro e martelo, aproveitando diaclases e consolas naturais no maciço miocénico. No CEGSA, procedeu-se à preparação de provetes cilíndricos, para ensaio em compressão uniaxial. Uma pequena quantidade de provetes foi ainda obtida por selecção de alguns testemunhos de tarolos de sondagens à rotação, gentilmente cedidos pelo IEP e pela CMA. Verificou-se que um número significativo de blocos de rocha sofreram, no decorrer da carotagem, desagregações provocadas quer por heterogeneidades devidas à presença de conchas e outros fósseis, quer por baixo grau de cimentação. Em alguns casos detectou-se a existência de cavidades de dissolução (Fig. V.1). À semelhança do que aconteceu com LAMAS (1998), como se viu diminuído o número final de provetes, verificou-se a necessidade de se aproveitarem alguns deles (quatro) para ensaios de compressão uniaxial em que a relação altura/diâmetro do provete era inferior à mínima (dois) recomendada pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM, 1979b). O número total de ensaios foi de setenta e um.

Os ensaios de compressão uniaxial e de caracterização física (porosidade e massas volúmicas) decorreram no laboratório da Secção de Geologia de Engenharia do DEC-FCT/UNL (Figs. V.2 e 3), de acordo com as recomendações da ISRM (1979a,b). No que se refere a ensaios de compressão uniaxial, os provetes ensaiados foram essencialmente secos, na medida em que muitos arenitos tinham tendência a desagregar-se quando se encontravam em imersão. A determinação do teor de carbonatos foi, também, realizada por ataque com ácido clorídrico diluído.



Figura V.1 - Aspecto de vazio de dissolução em provete carotado de um bloco de biocalcarenito recolhido durante a investigação.



Figura V.2 - Exemplo de provete de calcarenito ensaiado, observando-se detalhe do plano de rotura ondulado.



Figura V.3 - Final do ensaio para determinação da massa volúmica e da porosidade de um conjunto de amostras.

2. O SIGEO-ALMADA

2.1 Bases de Dados

O sistema de informação concebido neste trabalho integra um conjunto de bases de dados desenvolvidas em ACCESS[®], uma parte dos quais, por serem georreferenciados, podem ser visualizados em ambiente SIG, compatíveis com os formatos de ficheiros utilizados pelo GEOMEDIA PROFESSIONAL[®] da *Intergraph*. Todos estes ficheiros têm por base o sistema de projecção Transversa de Mercator, utilizando o elipsóide de Hayford (Internacional) como referência, longitude -8:07:54.862 e latitude 39:40:00.000, com unidades em metros; o *datum* planimétrico é o 73 e as coordenadas têm uma falsa origem no ponto X=180.60 m e Y=-86.99 m. O *datum* altimétrico utilizado é sempre o do marégrafo de Cascais. A área estudada e cartografada tem uma superfície de cerca de 70 km² e estende-se entre os meridianos -86300 e -98000 e os paralelos -108000 e -124000, aproximadamente.

Os dados pontuais obtidos encontram-se divididos por duas bases de dados: uma, que contém os referentes a estudos geológicos e geotécnicos, designada de **AlfaGEO** e outra, com os elementos relativos aos furos de pesquisa e captação de água, designada de **FurosGEO**. Os resultados obtidos em todos os ensaios de laboratório integram a base alfanumérica **LAB_GEO**. As tabelas que constituem estas BD são as referidas em III.4 e descritas no Anexo I. A tabela PERFIL_VERTICAL, apresentada em IV.4 e descrita no

Anexo II, permite visualizar e analisar espacialmente a informação contida naquelas três bases.

Os resultados dos trabalhos de cartografia foram incluídos num conjunto de cartas base, digitais, com resolução da escala 1:5 000, adiante apresentadas, às quais se associou informação alfanumérica, segundo a estrutura de dados definida em IV.4 e pormenorizada no Anexo II. A cada tema desenvolvido corresponde uma base de dados, georreferenciados - **Declives**, **Litologia** (inclui a litologia, tectónica e outras áreas do concelho para as quais não se obteve informação litológica) e **Perigos_Geológicos** (movimentos de terrenos e fenómenos de erosão).

A partir deste conjunto básico de informação foi derivada outra, também espacialmente referenciada e com temática no domínio da cartografia geotécnica, apresentada no capítulo seguinte e que integra uma nova base, designada de **Derivadas**, cujo dicionário de dados se encontra no Anexo III.

A escala óptima das análises efectuadas no presente trabalho é, para a maioria dos dados, a 1:5 000 mas, para minimizar eventuais imprecisões nos limites, considera-se que as cartas derivadas e de síntese não têm precisão superior à da escala 1:10 000. Dada a dimensão da área estudada, acompanham a presente dissertação dois tipos de cópias em papel a ilustrar as cartas digitais elaboradas: no corpo da tese incluem-se figuras em formato A3, na escala 1:50 000, e no Anexo IV deste trabalho apresentam-se cartas em formato A1, nas escalas 1:25 000. Optou-se apenas por apresentar a carta considerada mais importante, a de unidades geotécnicas, na escala 1:10 000, encontrando-se nela assinalados os pontos de inventário da prospecção geotécnica incluídos na BD. Contudo, uma vez que o formato digital da informação é o fundamental, este trabalho é acompanhado por um CD-Rom, com as bases de dados que integram o SIGEO-ALMADA (Anexo V).

2.2 Aquisição de Dados

Foi necessário seleccionar o método de carregamento dos dados para constituir o SIGEO-ALMADA. Aquele poderia desenrolar-se, essencialmente, de duas maneiras:

- entrada de todos os dados semânticos directamente, por teclado ou *scanner* com ulterior reconhecimento óptico de caracteres, com base na leitura dos registos dos diferentes relatórios e elementos pontuais ou de fichas previamente normalizadas, para as diferentes tabelas definidas no sistema de gestão de base de dados adoptado;
- entrada para a BD via menus do SIG, executando primeiro a entrada dos dados gráficos e, em seguida, o carregamento dos respectivos atributos.

De entre os vários estudos entretanto realizados sobre este assunto, salienta-se o de POWER *et al.* (1995) que aludem a um projecto de cartografia digital das Ciências da Terra em ambiente SIG. Estes autores referem que, daquelas duas opções acima referidas, a segunda é a preferida, por impor menos problemas no carregamento e possibilitar um controlo melhor sobre os dados introduzidos na BD. Para além disso, esta metodologia requer, por um lado, menor nível de perícia do operador e, por outro, uma diminuição no tempo dispendido em posteriores validações. Uma das principais vantagens, contudo, será a de permitir executar uma conferência cruzada, simultânea, da localização do ponto no écran e das respectivas coordenadas cartesianas (X,Y) e altitude (h), com as que aparecem nos vários registos analógicos. Evitam-se, assim, eventuais erros que possam existir na fonte ou que derivem de equívocos do operador na introdução de coordenadas através do teclado.

Adoptou-se, como método, executar o carregamento das informações semânticas à medida que os correspondentes elementos gráficos fossem digitalizados em ambiente SIG. Contudo, alguns dados referentes aos ensaios de laboratório ou de campo foram carregados directamente em ambiente ACCESS[®].

Os maiores problemas quanto à entrada dos dados gráficos na base foram os relativos à litologia e tectónica, bem como a construção do modelo digital de terreno.

A digitalização das minutas das diferentes cartas temáticas que versavam os diversos aspectos geológicos e geotécnicos abrangidos pelo estudo foi efectuada em duas fases:

- primeiramente, realizou-se a rasterização em scanner óptico da *Vidar Systems Corporations* com uma resolução de 400 dpi, utilizando o respectivo *software, True Info Quick Scan[®]*, versão 1.3.5 de 1998; a georreferenciação de cada ficheiro, para a qual se utilizaram, em regra, entre 5-6 pontos do sistema de coordenadas cartesiano, foi realizada em ambiente *Microstation[®]* da *Bentley Systems Incorporated*, versão 05.05.01.64 de 1995, recorrendo ainda ao *I/RASC[®]* da *Intergraph*, versão 06 de 1999;
- em seguida o ficheiro, em formato *cfg*, foi importado para o *GEOMEDIA PROFESSIONAL[®]*, da *Intergraph*, efectuando-se a respectiva vectorização.

Uma vez vectorizadas as diferentes folhas das cartas que cobrem o concelho, os respectivos contactos eram acertados e gerada a sua união. Este procedimento é importante para garantir a integridade dos elementos geológicos representados e uma certa suavidade nos contactos, uma vez que estes, na maioria dos casos, não estão perfeitamente alinhados.

O carregamento dos pontos de inventariação de dados pontuais e a elaboração do modelo digital de terreno foram executados numa estação de trabalho TDZ 2000-GX1, com *Pentium II xeon TM* a 450 MHz e 500 Mbytes de memória RAM e 4 Gbytes de disco

rígido. As aplicações utilizadas no desenrolar destes trabalhos foram também a versão de *Microstation*® já acima referida e, no caso do modelo digital e elaboração da carta de declives, recorreu-se ainda ao *Site Select CAD*® da *Intergraph*, versão 08.00 de 1999.

No caso dos dados relativos aos elementos de prospecção inventariados (sondagens, trincheiras, poços, furos e pontos de colheita de amostras) e para minimizar os erros de carregamento das coordenadas cartográficas por teclado, depois de se confirmar se os elementos geométricos (pontos) estavam completos em ambiente CAD, optou-se por uma aquisição diferente para o SIG. Assim, a partir de ficheiros digitais, em formato *dgn*, utilizou-se um editor próprio deste programa (EDG) e obteve-se uma listagem das coordenadas de projecção (X,Y) e a altimetria (z) de todos os pontos de informação. Em seguida, exportou-se esta informação para o *Microsoft EXCEL*® e foram estes os dados que foram importados para o *GEOMEDIA PROFESSIONAL*®, através de ligação a uma tabela externa seguida da sua geocodificação.

O controlo de qualidade dos dados digitalizados/geocodificados incluiu sempre uma inspecção visual com base em impressões em plotter de rolo A0, a jacto de tinta, modelo *HP 750 Plus*, com uma resolução máxima de 600 dpi. Compararam-se, assim, os limites/pontos de observação do ficheiro digital com os das cartas analógicas originais (respectivamente, nas escalas 1:5000 e 1:1000), para garantir que os dados estavam completos e avaliar a exactidão da vectorização/conversão de dados. Só então, em ambiente *GEOMEDIA PROFESSIONAL*®, se converteu cada um dos ficheiros vectoriais para uma estrutura topológica. Para o efeito recorreu-se às ferramentas de manipulação, edição e validação dos elementos gráficos disponibilizadas pelo *software* a fim de validar a topologia. Seguidamente, povoaram-se os atributos das tabelas associadas. Deste *software* foram utilizadas três versões no desenrolar dos trabalhos: desde a versão 2.0 até à versão 04.00.22.12 de 2000, tendo-se migrado sucessivamente a informação; o mesmo se passou com as versões de *ACCESS*® utilizadas, do *Office 97*® para a do 2000®.

As características geotécnicas para cada unidade cartografada foram extraídas da BD e transferidas para um programa de estatística para processamento e interpretação (determinação dos valores mínimo, máximo, média, etc.). Os restantes dados foram analisados com o recurso às ferramentas disponibilizadas pelo SIG, permitindo obter “cartas derivadas e de síntese”.

Apresenta-se, seguidamente, uma descrição mais pormenorizada das cartas digitais incluídas no SIGEO-ALMADA e da análise dos dados efectuada.

3. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA

3.1 MDT - Metodologia Adoptada

A análise de fotografia aérea e de mapas topográficos e temáticos diversos, geralmente de diferentes escalas e datas, são os métodos tradicionalmente utilizados pelos especialistas em Ciências da Terra para obter várias informações de índole morfológica, nomeadamente delimitação de bacias hidrográficas, definição de formas de relevo, estudo de redes de drenagem, cálculo de declives e definição de alinhamentos tectónicos/falhas. Em regra, existe uma tarefa complementar de reconhecimento do terreno *in situ*, cujo pormenor e importância no processo aumenta na proporção directa da escala adoptada no trabalho. Para a região em análise, referem-se alguns estudos desta natureza, nomeadamente AZEVEDO (1982), COSTA (1985; 1986), PEREIRA (1986), RODRIGUES-CARVALHO & COSTA (1986), ABECASSIS (1987), FREIRE (1989), RODRIGUES-CARVALHO & LAMAS (1990, 1992), TEIXEIRA (1990), RODRIGUES-CARVALHO *et al.* (1989, 1994), CABRAL (1995) e, mais recentemente, LAMAS (1998). Estes trabalhos dizem respeito não apenas a zonas do concelho de Almada, mas também à região da Península de Setúbal ou a uma faixa litoral ainda mais abrangente.

Actualmente, os diversos *software* comercializados disponibilizam aos utilizadores ferramentas diversas como módulos para análise de dados altimétricos em formato digital associados a sistemas de informação geográfica (SIG) ou a outras aplicações para a Engenharia. Tais aplicações incluem algoritmos matemáticos que permitem analisar, explícita e iterativamente, aqueles dados e derivar, automaticamente, as informações antes obtidas manualmente através de operações morosas e fastidiosas, nomeadamente cálculo de declives, traçado de perfis longitudinais entre pontos e delimitação de bacias hidrográficas. Contudo, para que este trabalho automatizado seja exequível e tenha um mínimo de qualidade é necessário, primeiramente, obter um modelo digital do terreno (MDT). No que se refere concretamente aos declives do terreno, estes são ainda, e substancialmente, dependentes da escala em que são determinados e, portanto, esta deve ser seleccionada de acordo com o objectivo pretendido.

No âmbito desta dissertação seleccionou-se a escala 1:5 000 como base de trabalho na aquisição da diferente informação para definir um MDT de qualidade aferida. Os termos mais utilizados na bibliografia ao referir uma representação digital de uma parte da superfície da Terra são o de modelo digital de terreno (*digital terrain modeling*) ou o de modelo digital altimétrico ou de altitudes (*digital elevation model*). Este último, refere-se a um modelo numérico que arquiva a forma da superfície topográfica através do registo da altitude acima de um determinado *datum*; na prática consiste numa colecção de pontos de valores x, y e z, isto é, localizações planimétricas associadas a valores de altitudes (SKIDMORE, 1997; WEIBEL, 1997; KLINKENBERG, 1997). A designação MDT é mais

abrangente e, para além da informação anterior, inclui outra, como o registo de descontinuidades no terreno (*breaklines*), ou seja canais, cristas, escarpas, etc., ou ainda de atributos relevantes, como é o caso dos declives (WEIBEL, 1997).

Para a maioria dos estudos de estabilidade de taludes, os MDT irão constituir uma fonte de dados básicos, devendo garantir-se o seu nível de exactidão. Este, depende da densidade espacial e da precisão dos dados topográficos. Uma regra básica é assumir que o erro nas medições verticais de um mapa é de cerca de metade da equidistância das curvas de nível no mesmo mapa. Tais erros conduzem a efeitos mais significativos em zonas de declives mais suaves, com pequenas ondulações, o que sucede no concelho de Almada ao longo do seu limite poente e, em especial, nas áreas mais intervencionadas pelo Homem. É o caso do sector Trafaria - Terras da Costa e, em menor grau, até à zona da praia da Rainha, verificando-se novas alterações morfológicas induzidas pelo homem nas zonas de Fonte da Telha e de Aroeira.

Não existem, na bibliografia, muitas referências às metodologias adoptadas para a elaboração de MDT e, as que existem, são vagas na sua maioria. Referem-se essencialmente à correcção de erros devidos às imprecisões dos dados altimétricos originais (leia-se, ocorrências de picos e/ou fossos anormais) e, genericamente, à comparação directa das curvas de nível obtidas automaticamente com as originais para “conferir” o modelo. Contudo, não mencionam as medidas adoptadas para corrigir as eventuais discrepâncias. Admite-se que tal se deverá essencialmente a dois motivos (SILVA *et al.*, 1999):

- elaboração daqueles trabalhos no âmbito de estudos regionais, isto é, a utilização de dados altimétricos a escalas predominantemente médias (1:25000 a 1:100000), onde o intervalo de exactidão exigido é bastante amplo, considerando a equidistância das curvas de nível de base e o erro de graficismo admissível para aquelas escalas;
- fracos conhecimentos geomorfológicos por parte de quem efectuou o modelo, que muitas vezes nem sequer permitem a comparação com o modelado real através da selecção de lugares chave do ponto de vista geomorfológico, o que só pode ser conseguido através do conhecimento prévio do terreno natural.

Um MDT poderá incluir (WEIBEL, 1997):

- dados como pontos cotados, linhas (curvas de nível e/ou *breaklines*), ou até áreas, como as designadas “áreas mortas” (superfícies com um determinado declive constante, tais como lagos, campos de futebol, etc.);
- relações topológicas, que definem as interligações entre os dados atrás referidos a fim de obter uma superfície implícita (modelos matriciais) ou explicitamente (tesselações irregulares) contínua;
- modelos de interpolação, que definem a forma da superfície entre os diferentes dados.

Estas três componentes do MDT são registadas numa estrutura de dados; as mais frequentemente utilizadas são as tesselações regulares, quadradas (modelos matriciais, GRID), ou irregulares, triangulares (*triangular irregular network* - TIN, modelos vectoriais).

A interpretação permite extrair informação dos MDT que pode posteriormente servir de *input* em SIG para estudos de impacte ambiental, morfológicos, de modelos de erosão ou simulações hidrológicas, entre outros. As investigações, que ainda continuam a desenrolar-se, têm demonstrado que as interpolações efectuadas em módulos de SIG amplamente disseminados, como ARCVIEW®, IDRISI®, ILWIS®, GRASS® ou MGE®, resultam em diferentes modelos digitais de terreno (CARRARA *et al.*, 1997).

O território de Almada foi sede de amplas terraplenagens que adoçaram significativamente várias zonas, nomeadamente o sopé das escarpas que conformam os limites setentrional e poente do concelho, ou resultaram na escavação de outras para extracção de materiais de construção em décadas passadas. Por outro lado, a densidade da ocupação humana condiciona a informação disponível na base topográfica, em especial no que respeita à ausência de curvas de nível em zonas ocupadas por habitações, como as freguesias de Cacilhas, Almada, Cova da Piedade, Laranjeiro ou Feijó. Esta insuficiência de dados (falta de pontos cotados/curvas de nível) reflecte-se na modelação de tais áreas para fins de engenharia e planeamento devido, quer à falta de elementos para efectuar a respectiva triangulação, com potenciais reflexos negativos na estimativa adequada dos declives, quer à ocultação da presença de linhas de água.

Estes aspectos irão, portanto, influenciar a percepção que se obtém da análise directa da informação das altitudes, a não ser que se adoptem medidas adequadas, pelo que a metodologia inicialmente adoptada teve que ultrapassar estas condicionantes.

Após importação dos dados altimétricos (pontos cotados e curvas de nível) e das entidades geomorfológicas devidamente cotadas (*breaklines* e “áreas mortas”), efectuou-se a triangulação dos dados e procedeu-se à edição e correcção interactiva dos erros em função da natureza do afastamento do modelo face à realidade, o que incluiu (SILVA *et al.*, 1999):

- selecção de mais *breaklines* dos correspondentes ficheiros planimétricos para serem cotadas e importadas para o MDT;
- acréscimo de informação altimétrica, recorrendo-se aos dados digitais (adicionando curvas intermédias e/ou pontos cotados) com precisão da escala 1:1000 que existiam na base SIGMA;
- correcção de imprecisões nalgumas *breaklines* inicialmente cotadas na primeira etapa; nesta fase, o conhecimento do terreno natural verificou-se ser de primordial utilidade na selecção da atitude a adoptar para cada um dos erros detectados.

A fase anterior foi repetida até se considerar que as imprecisões obtidas nas curvas de nível traçadas automaticamente eram inferiores ao erro de posição estabelecido, devido ao recorte de algumas curvas base (com a exactidão da escala 1:1 000) e admitindo um afastamento horizontal máximo de cerca de 10 m. Esta metodologia foi aplicada inicialmente utilizando o *Site Select CAD*[®]. Seguidamente, tentou efectuar-se a mesma análise recorrendo ao *Terrain Analyst*[®] da *Intergraph*, o que se revelou impraticável devido à densidade de informação tratada e às características do *hardware* disponíveis na altura.

É importante realçar as limitações do próprio *hardware*, em muitas ocasiões incapaz de sustentar os processos de manipulação de muita informação altimétrica (ficheiros grandes e pesados), para além de outras restrições inerentes ao *software*. Em consequência, resultaram diversos bloqueamentos, perda de ficheiros e, até, incapacidade em atingir os objectivos propostos, facto que atrasou consideravelmente as metas inicialmente propostas e que obrigou, inclusivamente, à utilização final apenas do *Site Select CAD*[®] na elaboração das cartas hipsométrica e de declives. Houve, assim, necessidade de proceder a um moroso trabalho de importação e manipulação da informação relativa aos declives do terreno para que pudesse ser analisada ulteriormente em ambiente SIG.

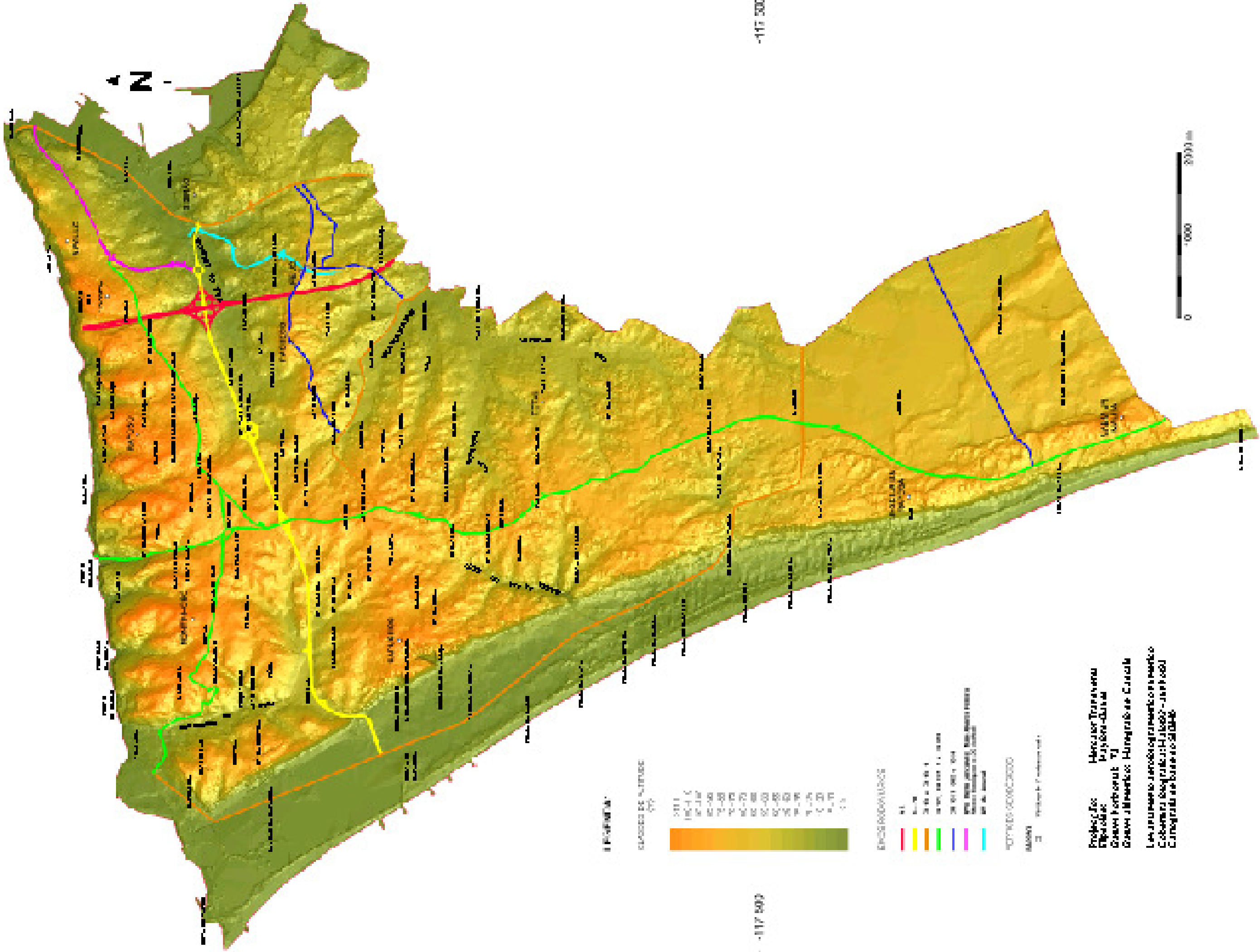
Apresentam-se, em seguida, as duas cartas obtidas automaticamente a partir do MDT.

3.2 Carta Hipsométrica

A partir do MDT, obteve-se o traçado automático de uma carta hipsométrica para o concelho de Almada, que considerou dezasseis classes de altitudes. A mesma é apresentada na Figura V.4, na escala 1:50 000, e incluída no Anexo IV deste trabalho, na escala 1:25 000. As escalas referidas são apenas indicativas e verdadeiras para o plano horizontal de referência, uma vez que a terceira dimensão as faz variar. Não se apresenta a carta hipsométrica de altitudes a uma escala superior a 1:25 000, na medida em que se revelou inviável obter a sua reprodução devido à dimensão do ficheiro de impressão gerado (mais de 300 MB) que levava ao sistemático bloqueamento do *hardware*. A escala de cores seleccionada teve em consideração as adoptadas em trabalhos semelhantes. Contudo houve que exagerar a gama de cores utilizada para se ter uma noção adequada do relevo. De facto, o concelho de Almada apresenta uma diferença máxima de altitudes relativamente pequena, pouco superior à centena de metros, oscilando as suas cotas entre um mínimo de zero, junto ao Rio Tejo ou ao Oceano Atlântico, e um máximo de (124,40), no vértice geodésico do Raposo, sobranceiro ao Tejo.

08 09 + -117 500

08 09 + -117 500



LEGENDA

CLASIFICACION DE ALTURAS (m)



ENCERREDORES

- 01
- 02
- 03
- 04
- 05
- 06
- 07
- 08
- 09
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35
- 36
- 37
- 38
- 39
- 40
- 41
- 42
- 43
- 44
- 45
- 46
- 47
- 48
- 49
- 50

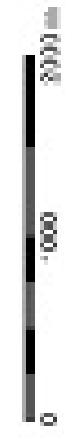
LINEAS DE CONTOUR

- 01
- 02
- 03
- 04
- 05
- 06
- 07
- 08
- 09
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35
- 36
- 37
- 38
- 39
- 40
- 41
- 42
- 43
- 44
- 45
- 46
- 47
- 48
- 49
- 50

Proyecto: Hecador Transversal
Episodios: Mijón-Guáral
Grupos: Fortín 7J
Grupos Aliterales: Huerfana de Curul
Los Anillos: Juncos, Troncos, y Puerto
Colinas: San Juan, San Juan, San Juan
Carreteras: de Buenos Aires

08 09 + -117 500

08 09 + -117 500



A análise da Figura V.4, permite avaliar algumas características geomorfológicas da região em referência que, inclusive, já foram descritas em estudos anteriores, sendo de LAMAS (1998), o mais recente. No entanto, salientam-se alguns aspectos da carta que, pelo seu realce visual, devem ser referidos.

Morfologicamente, os taludes da margem esquerda do "corredor" do Tejo sobressaem claramente na região. Estes taludes constituem a vertente mais inclinada de uma extensa costeira que culmina, aproximadamente entre as cotas (110,00) e (120,00), no que resta de uma superfície aplanada correspondente a antiga plataforma de abrasão marinha (AZEVEDO, 1982; AZEVEDO & CARDOSO, 1985; CABRAL *in* RIBEIRO *et al.*, 1986). A mesma superfície de aplanação ainda se observa um pouco mais a sul numa linha de cumeadas que se prolonga para oeste da Sobreda, desde Lazarim até à Arriba Fóssil, próximo dos Capuchos. Estas duas zonas de terrenos levantados e aplanados encontram-se presentemente separadas por uma área depressionária de orientação sensivelmente este-oeste e norte-sul onde se instalaram algumas ribeiras cujos leitos, regularizados pelos trabalhos agrícolas, deram origem às actuais valas do Caramujo, a nascente, e da Caneira (este-oeste) e Enxurrada (norte-sul), a poente (Figs. V.4 e V.5).

Em toda a sua extensão, mas essencialmente para oeste do encontro sul da ponte 25 de Abril, a costeira que conforma as colinas de Almada é entalhada por diversos vales, alguns deles suspensos, muitos deles bem escavados, sulcados por linhas de água obsequentes.

A análise tridimensional da região permitiu definir, nos taludes que conformam a vertente mais inclinada da costeira de Almada, os quatro sectores morfologicamente bem diferenciados (A a D) referidos por COSTA (1985; 1986) e RODRIGUES-CARVALHO & COSTA (1986). De forma resumida, e seguindo o terreno de este para oeste, observa-se inicialmente um talude escarpado, praticamente contínuo até à zona da Quinta de Arealva (sector A), passando, a partir deste local, a ser entalhado por valeiros de curta extensão e de encaixe variável, profundamente intervencionados pelo Homem, desde a colina do monumento a Cristo-Rei até à zona de Palença de Baixo-Montalvão (sector B) e prolongando-se até à Trafaria (sector C). Aí, uma importante depressão (Vala da Enxurrada), provavelmente de origem tectónica, separa este sector da colina delimitada a poente pelo trecho setentrional da Arriba Fóssil da Costa de Caparica. Um trecho de taludes contínuos e de reduzida extensão surge, ainda virado ao rio, porém recuado algumas centenas de metros, em relação aos que se encontram para leste, sendo a margem rochosa anterior substituída por um litoral de acumulação baixo (sector D).

A encosta inflecte depois para SSE passando a estar com a frente virada ao Atlântico. O perfil torna-se, de um modo geral, mais simples e, no seu todo, mais declivoso. Uma vez que se diferencia dos taludes da margem esquerda do Tejo em termos litológicos,

estruturais e, principalmente, de posicionamento em relação ao rio, o trecho setentrional da Arriba Fóssil da Costa de Caparica, constitui uma unidade geomorfológica distinta, conformando por isso um quinto sector geomorfológico no litoral do concelho (LAMAS, 1998) - Fig. V.5. Neste último sector é possível reconhecer a **planície litoral**, que se desenvolve a cotas mais baixas, desde as praias atlânticas até à base da Arriba; sucede-lhe a **vertente litoral** e, a partir do seu rebordo superior, estende-se a **plataforma litoral**.

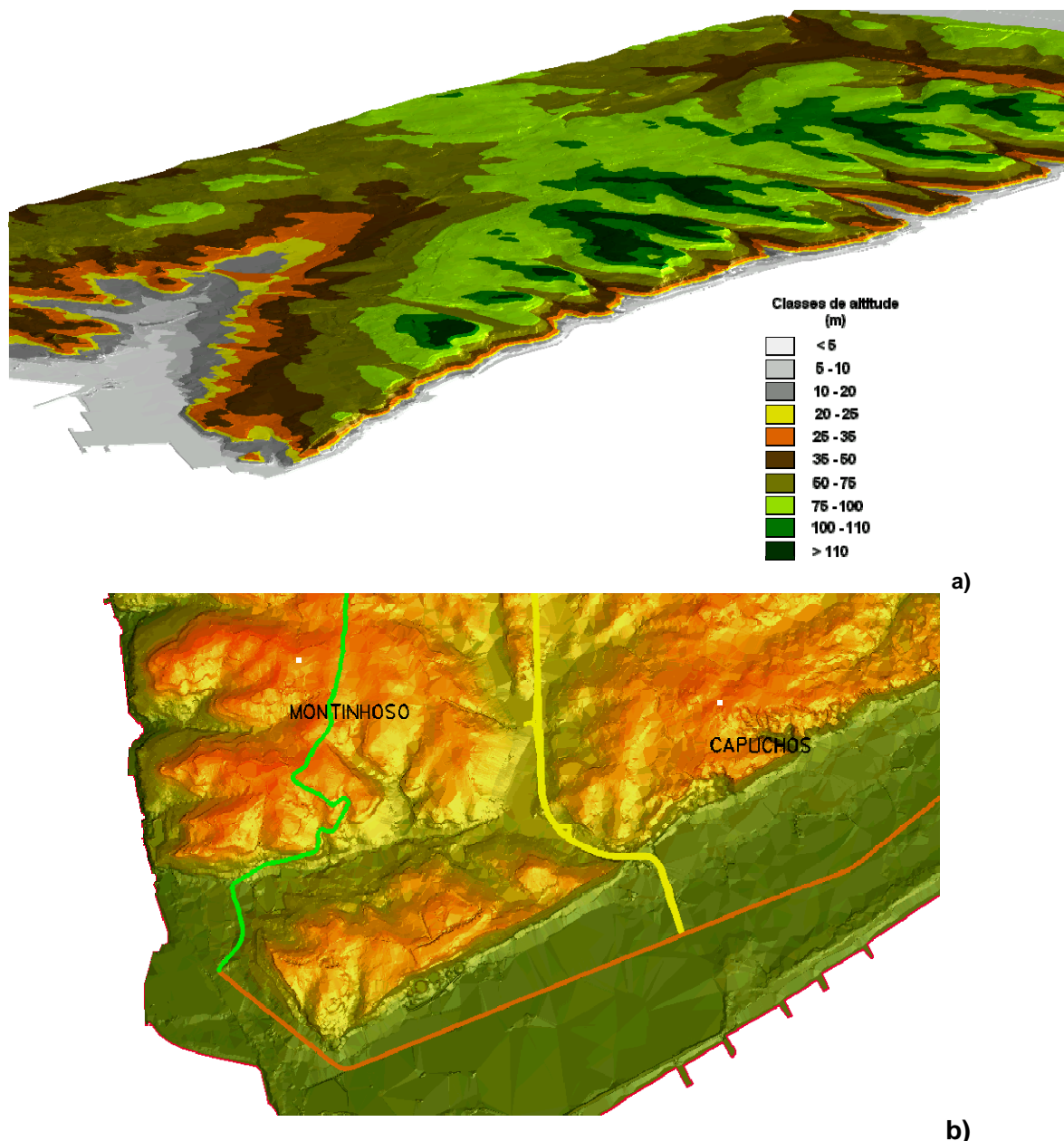


Figura V.5 - Excertos da carta hipsométrica (sem escala): **a)** Vista parcial da vala do Caramujo e dos taludes da margem sul do Tejo, a partir de nordeste; **b)** Zona da Trafaria - Vala da Enxurrada, vista de topo e de noroeste (classes de altitude de acordo com a legenda da Fig.V.4).

O limite natural nascente do concelho é marcado por um decréscimo de cotas em direcção ao Mar da Palha (Fig. V.5a), como que revelando um basculamento em direcção àquela área (AZEVEDO, 1982) ou um escalonamento em degraus que descem naquela direcção, e acusando igualmente uma erosão maior das linhas de água que para ali drenam: as Valas do Caramujo e de Corroios e seus afluentes (Valas do Guarda-Mor, Sobreda, Regateira e Charneca).

A análise da Figura V.5b, permite justificar morfológicamente a presença de um acidente tectónico importante, aproximadamente N-S, que se estenderá desde a Trafaria, ao longo da Vala da Enxurrada, passando a nascente do Miradouro dos Capuchos e a poente do depósito da água situado no Alto dos Capuchos. Este alinhamento assinala o limite poente da superfície de aplanção referida por AZEVEDO (1982), a cotas superiores à centena de metros.

Na bordadura setentrional, entre as cotas (0,0) e (5,0), desenvolvem-se zonas intervencionadas pelo Homem, enquanto que no limite poente aquelas cotas correspondem, essencialmente, à praia atlântica e/ou a zonas também submetidas a terraplenagens.

A meio da linha de esporões ao largo da Costa de Caparica, sobressai uma pequena ondulação que ascende pouco acima dos 10 m, correspondendo ao cume de antiga duna e que está hoje camuflada sob a Rua dos Pescadores e zonas adjacentes daquela vila.

A **planície litoral atlântica** desenvolve-se entre as cotas (0,0) e (15,0); nela podem-se distinguir três trechos: a **praia**, seguida pelo cordão dunar primário ou **anteduna**, que se eleva a cotas da ordem dos (5,0) até sul da Costa de Caparica; dali em diante ascende pontualmente a altitudes inferiores à dezena de metros; finalmente refiram-se as **dunas interiores**, que tão bem se individualizam na carta hipsométrica. Entre a Cova do Vapor e as Terras da Costa, pontuam ainda alguns esporões longitudinais, que não chegam a atingir os 5 m de altitude.

A morfologia das dunas interiores, que se estendem entre a anteduna e o sopé da Arriba Fóssil até cerca de dois quilómetros a sul da Fonte da Telha, é muito alterada pela actividade antrópica desde a Cova do Vapor até à zona da Descida das Vacas, com especial ênfase no trecho até ao paralelo da Praia do Castelo, onde a implantação de diferentes estruturas e infra-estruturas e o uso do solo para fins agrícolas alteraram profundamente o modelado natural, desmantelando as dunas quase completamente. O campo de dunas interiores é constituído predominantemente por dunas longitudinais N-S, que exibem maior continuidade, a que se associam dunas transversais, com orientação E-W e ESE-WNW; este sistema cessa a partir da Fonte da Telha, primeiro devido à sua destruição pela ocupação por construções ilegais e, em segundo lugar,

cerca de um quilómetro a sul, porque deixa de existir como unidade morfológica na planície litoral.

A **vertente litoral**, fóssil desde tempos geológicos recentes (ANTUNES & PAIS, 1989), constituiu um extenso talude, praticamente contínuo, desde a Raposeira - S. Pedro da Trafaria, até à laguna de Albufeira, quase rectilíneo e só interrompido transversalmente pelo IC 20, na zona de Santo António de Caparica, pela Ribeira da Foz do Rego, que desagua frente à praia da Rainha, e pela Descida das Vacas, frente à praia do Rei. Apenas se distingue nela um único degrau, a sul do Boqueirão da Junça, pouco distinto no modelo, que conforma uma rechã cerca da cota (70,0). A vertente apresenta altitudes variáveis, que oscilam entre 55 e 80 m no trecho Trafaria - Terras da Costa, passando por mais de 75 m frente à praia da Rainha e baixando junto à Descida das Vacas para os 50 m; dali em diante ascende até (82,65) no vértice geodésico da Descida da Raposa, diminuindo até cerca dos 55-60 m na Fonte da Telha e rondando um mínimo de 35-55 m na Mina de Oiro; a sua direcção é de cerca de N25°W até ao Miradouro dos Capuchos, N18°W até à Descida das Vacas e N8°W até à Descida da Raposa.

Ao longo do trecho de Costa Atlântica, no topo da arriba, sobressai a ampla **plataforma litoral** cujas cotas oscilam entre (51,0) e (75,0), entrecortada por zonas mais baixas, variando as cotas entre (36,0)-(50,0) na Descida das Vacas, na depressão fechada de Vale de Cavala e na Mina de Oiro, bem como nos afluentes e zona de cabeceira da Ribeira da Foz do Rego. Situação idêntica é registada mais a norte, na cabeceira das Valas da Enxurrada/Caneira. No campo dunar da plataforma litoral as dunas encontram-se em parte fixadas pelas matas de mimosas e pinheiros e é possível distinguir nelas três zonas (FREIRE, 1989). Uma investigação local permitiu caracterizá-las da seguinte forma:

- a norte da Descida das Vacas, onde se encontram ainda vestígios de dunas em forma de doma que podem atingir no máximo menos de 2 m de altura; é a zona onde a actividade antrópica se sentiu com maior intensidade;
- entre a Descida das Vacas e a Fonte da Telha, onde se podem ver dunas longilíneas, subparalelas à Arriba Fóssil, com direcção mais frequente NNW-SSE e com altura da ordem de 7 m no máximo;
- a sul da Fonte da Telha, o sistema dunar encontra-se em melhor estado de conservação (Mata dos Medos), atingindo a cota (113,48) no vértice geodésico do Cabo da Malha. No Clube de Golfe da Aroeira, ainda subsistem alguns pequenos exemplares de dunas parabólicas.

3.3 Carta de Declives

O declive, uma característica importante na análise da paisagem, consiste na inclinação média de um talude (gradiente) a que se associa a direcção para onde aponta

(exposição ou aspecto). É útil no planeamento do uso do solo e é factor importante na previsão da erosão ou no estudo das condições físicas subjacentes ao desencadear de movimentos de terrenos. Na bibliografia existem diversas classificações para intervalos a adoptar nas classes de declive, em função da finalidade do estudo para que foram desenvolvidas - edafológico, planeamento civil ou agrícola, etc. (AGUILLO ALONSO *et al.*, 1996).

No presente trabalho considerou-se inicialmente a classificação de declives, expressa em percentagem, incluída no Quadro V.2. As classes utilizadas foram suficientemente abrangentes para permitir diversos usos futuros desta temática. Por exemplo, as classes de declives utilizadas na primeira versão do PDM de Almada (CMA, 1992b), 0-5%, 5-10%, 10-15%, 15-30% e >30%, estão contidas nas classes aqui apresentadas; a opção de utilizar o limite de 8% para subdivisão de classes em vez de 10%, deriva da bibliografia consultada considerar esta barreira como significativa em análises morfológicas de escala grande, como é o caso presente.

Quadro V.2 - Intervalos das classes de declives adoptados e algumas características relevantes para uma futura análise geotécnica (adaptado de AGUILLO ALONSO *et al.*, 1996; MARSH, 1978; TURNER & COFMAN, 1973).

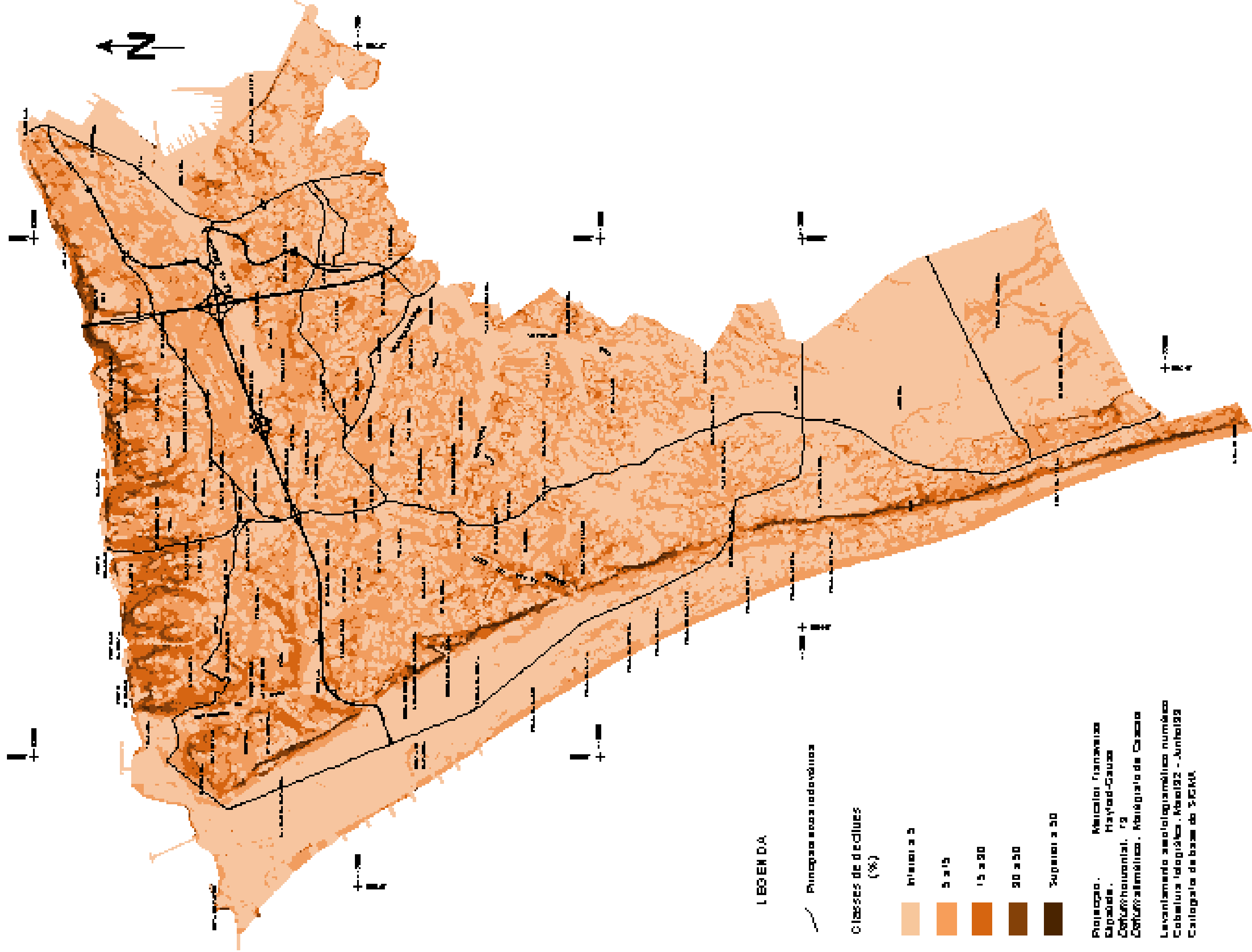
Classe de declive (%)	Descrição	Escorrência Superficial/Drenagem natural	Implicações sobre o uso
0-2	Morfologia plana ou quase plana, declive muito suave.	<i>Escorrência lenta a muito lenta, predomina a erosão por impacto.</i>	Uso intensivo; declive natural adequado para implantação de aeroportos, auto-estradas, ferrovias e centros comerciais.
2-5	Declive suave	<i>Escorrência lenta a mediana, inicia-se a erosão por arregaçamento</i>	
5-8	Morfologia ondulada; declive moderado	<i>Escorrência média a rápida.</i>	O limite superior da classe (15 %) constitui o declive natural máximo para actividades agrícolas e de urbanização convencional, tendo em conta o risco de erosão superficial.
8-15	Morfologia rugosa, declive moderadamente acentuado	<i>Escorrência pode ser rápida pontualmente e desencadear um certo ravinamento.</i>	
15-30	Declive acentuado, apenas com algumas colinas	<i>Escorrência rápida a muito rápida, erosão por abarancamento torna-se importante.</i>	Diminuição de coberto vegetal implica um acréscimo no perigo de erosão e de formação de barrancos.
30-50	Morfologia dissecada, zonas com inclinação muito acentuada	<i>Escorrência muito elevada.</i>	Perigo de movimentos de terreno em caso de construção ou escavação.
50 ou superior	Morfologia dissecada, zonas escarpadas	<i>Escorrência é de tal maneira elevada que é necessário proteger o terreno.</i>	Idem anterior, mas ainda tolerável para áreas de recreio e estruturas urbanas. Recomendada protecção - REN. O declive máximo para operações com maquinaria ou veículos pesados com tracção é, no máximo, 55%.

A carta de declives, derivada a partir do MDT no *Site Select CAD*[®], foi exportada para ambiente SIG em formato vectorial e, aqui, foi criada uma estrutura topológica para permitir a manipulação automática desta nova informação básica. De largas centenas de milhares de triângulos com um determinado declive e área digital, foi necessário proceder a uma generalização em que se utilizou, como critério, que polígonos com áreas inferiores a 501 m² não eram considerados significativos para a exactidão da escala em referência (1:5 000). Procedeu-se à sua agregação do seguinte modo: à mesma classe de declive, caso houvesse outros polígonos contíguos da mesma classe ou, caso contrário, à classe de declive superior mais próxima. Para o efeito recorreu-se a ferramentas de análise do SIG, pelo que o procedimento foi semi-automático. No final, houve ainda que eliminar as áreas de declives que ultrapassavam o limite do concelho, tendo-se recorrido também a ferramentas de análise de dados do SIG (intersecção). No cômputo final o número de polígonos abrangendo todo o concelho rondou os dezassete mil.

A análise espacial seguiu, *grosso modo*, a estratégia definida por DIKAU *et al.* (1991) e modificada por BRABYN (1997), que se adaptou face à grande resolução e ao formato (TIN) dos dados. Inicialmente separaram-se as classes de morfologia em dois grandes grupos: um em que os declives são inferiores a 8% (planícies), constituindo cerca de 54% do concelho, e outro com declives iguais ou superiores àquele valor ("declivoso"). Em seguida, efectuou-se a agregação das oito classes de declives da BD para apenas cinco - inferior a 5%, de 5% a 15%, 15% a 30%, 30 % a 50% e superiores a 50%; conforme se apresenta na Figura V.6, na escala 1:50 000; no Anexo IV ao presente volume inclui-se a mesma informação, mas na escala 1:25 000.

Declives inferiores a 5% correspondem, no concelho, às zonas das baixas aluvionares das linhas de água que drenam para o Mar da Palha, aos aterros construídos pelo Homem e ao reverso da escarpa ribeirinha na área do *campus* da Caparica; no interior da plataforma litoral, à área abrangida pela Charneca, Quintinhas e Aroeira-Marisol; à plataforma das principais infra-estruturas viárias. Inclui-se também neste grupo grande parte da planície litoral atlântica, especialmente na zona de praias a norte de S. João da Caparica e na que se estende até à vertente litoral onde a intervenção antrópica foi mais acentuada, nomeadamente entre o IC 20 e a Foz do Rego, por destruição dos edifícios dunares transversais.

Os declives entre 5% e 15% distribuem-se pela faixa da planície litoral correspondente às praias atlânticas e à anteduna e dunas transversais, bem como às dunas que se acumulam no topo da Arriba Fóssil; às encostas das principais linhas de água e, ainda, a algumas áreas ocupadas por depósitos de vertente. Incluem-se neste declive médio, o reverso dos taludes da margem sul do Tejo, a sul de uma faixa que se estende entre Cacilhas, Pragal, BFFH, Quinta das Rosas e Costas de Cão, bem como a maioria da área situada a sul do IC 20, até perto de Palhais (Charneca de Caparica).



LEGENDA

~ Principales ríos gallegos

Clases de declives (%)

- 0 a 5
- 5 a 15
- 15 a 30
- 30 a 50
- Superior a 50

Projeção: Mercator Transverso
 Escala: 1:500.000
 Contorno: horizontal, 1:2
 Contorno: vertical, 1:2

Levantamento aerofotogramétrico número
 C-1000-100000, 1962 - Junho/63
 Cartografia de base do IGCN

Declives entre 15% e 30% surgem a culminar algumas vertentes dos taludes da margem sul do Tejo e dos vales que a recortam; constituem ainda grande parte da vertente litoral, dos taludes do vale da Ribeira da Foz do Rego e alguns afluentes, e o rebordo nascente de alguns edifícios dunares da plataforma litoral.

Os declives entre 30% e 50% ocupam pequenas áreas e correspondem geralmente a zonas de transição entre os da classe anteriormente descrita e os que se descrevem em seguida.

Declives iguais ou superiores a 50% correspondem aos taludes escarpados da vertente litoral e da margem sul do Tejo, e aos taludes de escavação da Praça da Portagem, junto à Ponte 25 de Abril, da Base Naval do Alfeite e de antigos areeiros na Quinta da Carcereira.

4. LITOLOGIA

4.1 Litostratigrafia

As observações geológicas sobre os terrenos miocénicos que ocorrem na região em estudo, semelhantes aos de Lisboa, remontam à segunda metade do século XVIII (T. D'ALMEIDA, 1762 in SEN *et al.*, 1992). Desde então houve uma evolução considerável no conhecimento geológico desses terrenos, tendo a Bacia do Baixo Tejo (BBT) adquirido uma importância mundial no estudo do Miocénico devido, por um lado, à sua posição geográfica, no limite dos domínios mediterrânico e atlântico e, por outro, ao completo registo estratigráfico das diferentes unidades que o integram e que se distribuem entre os andares Aquitaniano e Tortoniano. O limite superior deste último andar e o do Messiniano ainda se encontram por caracterizar (ANTUNES & PAIS, 1993).

Podem considerar-se pelo menos três fases nos diversos estudos realizados sobre os terrenos terciários e quaternários da BBT na região de Lisboa, onde se inclui o concelho de Almada. Numa primeira fase, que decorreu até meados do século XIX, salientam-se as contribuições de ANDRADA e SILVA (1817), que descreve um corte na Arriba Fóssil da Costa de Caparica, a sul da Fonte da Telha, a propósito das explorações auríferas na Adiça, as de ESCHWEGE (1831) e VANDELLI (1831), onde aquele efectua uma breve síntese da “Formação Terciária de Lisboa” na margem sul do Tejo e do “terreno de alluvião” que as encobre (ESCHWEGE, 1831). Ainda durante este período, D. SHARPE (1834, 1842) apresenta o resultado das investigações que empreendeu sobre a parte vestibular da “*great tertiary basin*” (do Tejo) em publicações da *Geological Society of London*.

Na segunda metade do século XIX, C. RIBEIRO apresentou, no Congresso Internacional de Geologia em Paris (1878), uma sistematização das formações terciárias em Portugal e contribuiu para a cartografia, nas escalas 1:100 000 (folha da Estremadura) e 1:500 000, dos terrenos neogénicos e quaternários. CHOFFAT iniciou um estudo notável do terciário português, nomeadamente no domínio da tectónica, de que resultaria um conjunto importante de publicações (1906, 1907, 1908, 1912/1913, 1950 - obra póstuma), nas quais refere as formações da Península de Setúbal. É também nesta fase que um conjunto de paleontólogos apresenta uma série de estudos importantes, nomeadamente COSTA (1866, 1867), ROMAN & TORRES (1917) e DOLLFUS *et al.* (1903/04). Este último trabalho merece destaque por ter sido nele que B. COTTER, numa introdução ao trabalho, divide o Miocénico marinho de Lisboa em três andares, que atribuiu sucessivamente, a partir da base, ao Burdigaliano, Helveciano e Tortoniano. Para este intervalo de tempo e com base em critérios litostratigráficos, definiu sete divisões principais, em Lisboa e na margem sul do Tejo, que caracterizou do ponto de vista litológico e paleontológico. Estas divisões definidas por Cotter e que adiante serão referidas, embora tenham sofrido revisões importantes, nomeadamente no que se refere à cronostratigrafia, ainda hoje se utilizam no estudo do Miocénico marinho para a região em referência.

A última fase de trabalhos iniciou-se na década de trinta com as investigações empreendidas por G. ZBYSZEWSKI, que entre 1937 e 1964 foi autor de diversos trabalhos de cartografia sobre, o Miocénico de Lisboa e da margem sul do Tejo (ZBYSZEWSKI, 1937, 1947, 1949, 1953, 1954, 1962, 1964), e o Plio-Plistocénico da Península de Setúbal (*ib.*, 1943, 1957, 1958, 1963).

Na década de sessenta, M.T. ANTUNES iniciou a publicação, como autor ou co-autor, de diversos estudos paleontológicos e estratigráficos relativos ao terciário, alguns dos quais de síntese dos conhecimentos. A partir da década de setenta, torna-se responsável pela elaboração de diversos trabalhos de investigação e de cartografia do Neogénico a sul do Tejo encontrando-se, directa ou indirectamente, ligados ao seu nome os trabalhos mais recentes que têm vindo a desenvolver-se sobre a BBT.

Refiram-se ainda dois trabalhos no âmbito da sedimentologia dos terrenos terciários e quaternários da BBT, realizados por CARVALHO (1968) e AZEVEDO (1982) abrangendo, este último, os terrenos plio-pleistocénicos de cobertura do concelho de Almada. PAIS (1981), para além de contribuir para a caracterização da fracção argilosa de alguns depósitos do Miocénico da região de Lisboa, bem como da flora encontrada, tem colaborado com ANTUNES na linha de investigação que abrange o estudo do Neogénico a sul do Tejo (PAIS, 1999); uma síntese destes estudos foi publicada recentemente (ANTUNES *et al.*, 2000).

Os terrenos neogénicos que afloram na região em análise são constituídos por depósitos de fácies marinha com algumas intercalações não marinhas, a que sucederam depósitos de fácies continental que registaram algumas influências marinhas ocasionais; na generalidade, correspondem a sete ciclos sedimentares no Miocénico e, eventualmente, dois no Pliocénico, cada um enquadrado por uma transgressão e a regressão seguinte (ANTUNES, 1971; ANTUNES *in* RIBEIRO *et al.*, 1979; ANTUNES *et al.*, 2000; ANTUNES e PAIS, 1993; CUNHA *et al.*, 1993).

A BBT, na qual a área em estudo se integra, corresponde a uma fossa alongada segundo uma direcção NE-SW limitada, em grande parte, por um conjunto de fracturas profundas. A sua diferenciação ter-se-à processado no Oligocénico superior (VANNEY e MOUGENOT, 1981) ou mesmo antes (ANTUNES *et al.*, 1987; ANTUNES *in* SIMÕES, 1998). É limitada, a noroeste, por cavalgamento do maciço calcário mesozóico estremenho, a oeste, entre a Serra de Sintra e a Serra da Arrábida contacta com o oceano Atlântico, a nordeste, por afloramentos xisto-grauváquicos paleozóicos e, a leste, pela bordadura do planalto de Évora. A sul, encontra-se separada da Bacia de Alvalade desde, pelo menos, o Miocénico médio (ANTUNES *et al.*, 1986; SIMÕES, *op. cit.*), por relevos paleozóicos, nomeadamente pelo *horst* de Valverde - Senhor das Chagas, a norte de Alcácer. A espessura dos sedimentos neogénicos aumenta da periferia para o centro da Bacia, ao contrário da antiguidade (CARVALHO, 1968), e de acordo com várias sondagens realizadas, oscila entre cerca de 300 m, em Lisboa, e perto de 1400 m na zona de Alpiarça, junto às zonas de falhas de Alcochete e do Vale do Tejo (ANTUNES *in* RIBEIRO *et al.*, 1979; SIMÕES, *op. cit.*).

No Plio-Plistocénico, esta bacia seria sulcada por uma rede de drenagem importante, dependente de uma linha de água principal, o “pré-Tejo”, que desaguaria no Atlântico, provavelmente no canhão existente ao largo da Fonte da Telha, a norte da laguna de Albufeira (ANDRADE, 1933; ANTUNES *in* RIBEIRO *et al.*, 1979; VANNEY e MOUGENOT, 1981; AZEVEDO, 1982). Durante este período ter-se-ía depositado um conjunto de detritos com uma sucessão litológica heterogénea e espessuras variáveis. De acordo com AZEVEDO (1982), a migração do curso do Tejo para norte, isto é, em direcção à actual zona vestibular, teria ocorrido durante o Vilafranquiano médio. Contudo, esta evolução paleogeográfica foi recentemente questionada por SIMÕES (*op. cit.*) que, com base em análise de largas centenas de furos de captação na BBT, define como foz do “pré-Tejo” o canhão de Setúbal, instalado no alinhamento tectónico Gavião-Ribeira de Erra.

Movimentações na zona de falha do Vale do Tejo, teriam originado a actual saída do Tejo, no actual “gargalo”, por inversão da drenagem no Canal do Sorraia e teriam levado ao abandono total do vale em Setúbal, zona da antiga foz (SIMÕES, *op. cit.*). Estas mudanças teriam ocorrido ao longo do Plio-Plistocénico. A inclinação da superfície de deposição do Conglomerado de Belverde, para Nordeste, mais não seria do que a

expressão de idêntica inclinação do talvegue. As fracturas N20°E que afectam as “Areias de Santa Marta”, seriam o prolongamento da zona de falha do Vale do Tejo (*ib.*).

Os depósitos plio-pleistocénicos, ou supostos como tal, distribuem-se ao longo do eixo de um sinclinal, limitado a sul pela cadeia da Arrábida e a noroeste pelas arribas da Fonte da Telha - Adiça e que se estendia para o interior, até ao Pinhal Novo-Montijo. Sobre o miocénico marinho ocorrem areias e arenitos, que estão por sua vez cobertos por areias e cascalheiras com intercalações de argila (“Séries do Alfeite” ou “Areias de Santa Marta”) que possuem fauna malacológica datada do Pliocénico superior: Placenciano (DOLLFUS e COTTER, 1909) ou Placenciano - Astiano (ZBYSZEWSKI, 1949). Sucede-lhes um espesso conjunto de areias finas com níveis de calhaus, lenhites, argilas e diatomitos (“Série Arenosa Pliocénica”) que, segundo ANTUNES e PAIS (1993), poderão pertencer quase na totalidade ao Quaternário; parecem corresponder à zona vestibular de uma rede de drenagem para nordeste (ZBYSZEWSKI, 1943; CARVALHO, 1968; AZEVEDO, 1982). A espessura média desta unidade oscila entre cerca de 50 m, na zona a norte da laguna de Albufeira e no litoral ocidental, e 365 m no *graben* do Pinhal Novo (CUNHA *et al.*, 1993).

Os depósitos terciários da margem sul do Tejo encontram-se recobertos, após desconformidade, por níveis de cascalheiras de quartzito e quartzos rolados e arenitos vermelhos (“Conglomerado de Belverde”) atribuídos ao Vilafranquiano. AZEVEDO (1982) refere que estes sedimentos poderão ter sofrido alguma remobilização marinha durante a transgressão calabriana, embora recentemente aquela investigadora tenha admitido que tal influência poderá não ter ocorrido (AZEVEDO *in* CABRAL, 1995); apenas os calhaus estarão muito bem rolados em consequência da competência do meio fluvial que os transportou.

Ao longo da bordadura ocidental do concelho ocorrem depósitos de areia de praia e, na sua rectaguarda e até junto à base da arriba que se estende até perto da laguna de Albufeira, ocorrem areias de duna e/ou depósitos de vertente. Existem, ainda, diversas aluviões a preencher leitos de linhas de água, bem como inúmeros aterros, a maioria dos quais construídos sem controlo geotécnico adequado, disseminados sobre todos os terrenos já descritos.

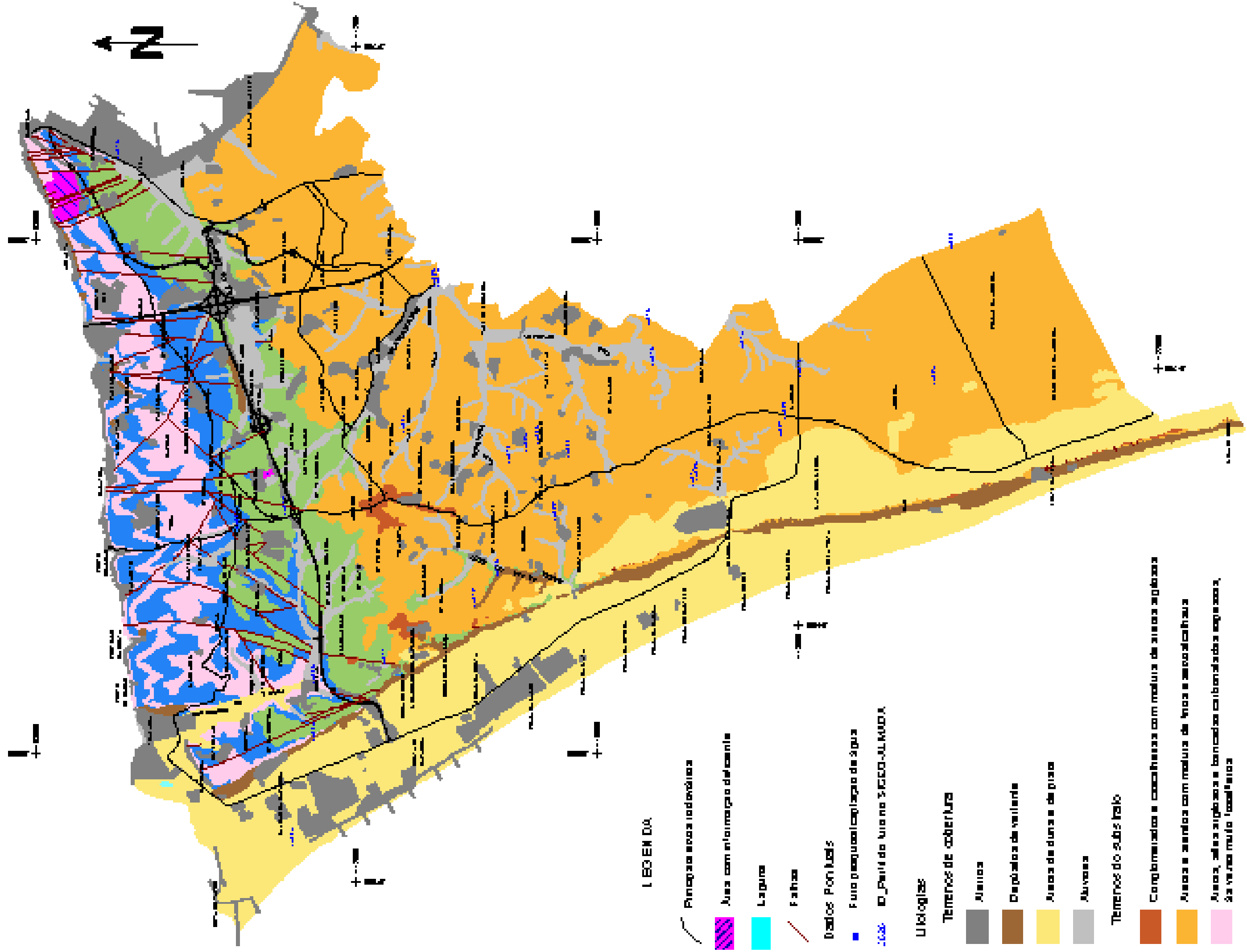
As unidades litostratigráficas consideradas para o concelho de Almada encontram-se sintetizadas no Quadro V.3. Os depósitos plio-holocénicos são predominantemente constituídos por depósitos de cascalheiras (“Conglomerado de Belverde”) com intercalações de areias argilosas ou mesmo de argilas cinzentas ou esverdeadas (base das aluviões).

Quadro V.3 - Unidades litostratigráficas da zona emersa do concelho de Almada (adaptado de ANTUNES *et al.*, 2000).

QUATERNÁRIO	Holocénico	Aterros; Aluviões; Depósitos de Vertente; Dunas e Areias de Duna; Areias de Praia.
	Plistocénico	“Conglomerado de Belverde”.
	Pliocénico	“Areias de Santa Marta”;
TERCIÁRIO	Miocénico	VIIIb - “Areia finas e grés argilo calcário com <i>Pecten scabrellus</i> de Cabo Ruivo”;
		VIIa - “Areias finas micáceas (areolas) e grés argiloso alternando com estratos tabulares calcários de <i>Pecten tenuisulcatus</i> Sow. de Braço de Prata”;
		<i>Tortoniano inf.</i> VIIc - “Molasso calcário de <i>Ostrea crassicostata</i> var. <i>gigantea</i> de Marvila”;
		<i>Serravaliano sup.</i> VIb - “Grés siliciosos e grés argilo-calcário de <i>Schizaster schillae</i> dos Grilos”;
		VIa - “Argilas, margas e grés fino argiloso com <i>Venus brocchii</i> de Xabregas”;
		<i>Serravaliano inf.</i> Vc - “Camadas de fósseis espatizados e de <i>Anomia choffati</i> de Quinta das Conchas”;
		Vb - “Areias e molasso arenoso com <i>Ostrea crassissima</i> do Vale de Chelas”;
		<i>Langhiano</i> Va ₃ - “Molasso calcário com <i>Pecten scabrellus</i> var. <i>scabriusculus</i> de Musgueira”;
		Va ₂ - “Argila e grés com <i>Ostrea crassissima</i> e <i>Placuna miocenica</i> do Vale de Chelas”;
		<i>Burdigaliano sup.</i> Va ₁ - “Molasso calcário de <i>Pecten scabrellus</i> do Casal Vistoso”;
IVb - “Areias, argilas e molasso arenoso com <i>Ostrea crassissima</i> e impressões de vegetais da Quinta do Bacalhau”		
<i>Burdigaliano médio</i> IVa - “Argilas azuis de <i>Pereiraia gervasi</i> do Areeiro”;		
<i>Burdigaliano inf.</i> III - “Banco Real - Calcários de Entre Campos”;		
II - “Areolas com <i>Pecten pseudopandorae</i> da Avenida Estefânia”.		

Os depósitos atribuídos ao Pliocénico (“Areias de Santa Marta”) integram um conjunto de areias finas a médias, às vezes grosseiras, esbranquiçadas, amareladas ou avermelhadas, com raros leitos lenticulares de argilas.

As unidades miocénicas, também areno-argilosas, apresentam intercalações de níveis mais carbonatados (calcarenitos, calcários mais ou menos margosos e argilas com restos de fósseis). As mesmas unidades litostratigráficas apresentam, à superfície, tonalidades mais claras (acastanhadas a amareladas) e tornam-se mais escuros (acinzentados ou mesmo azulados) em profundidade, devido à menor alteração. A heterogeneidade granulométrica dos terrenos é uma constante ao longo do território do concelho, pelo que a definição destas unidades no terreno não é pacífica sem os adequados estudos de Paleontologia ou Estratigrafia. Do ponto de vista geotécnico, e como se referiu no capítulo II, é mais importante separar os terrenos em conjuntos de litologias com idêntico comportamento face a uma mesma solicitação externa do que recorrer à litostratigrafia, pelo que os mesmos foram agrupados segundo o primeiro



LEÕES DA LAPA

- Principais áreas rodoviárias
- Áreas com informação deficiente
- Lagoa
- Fazendas
- Dados PCHs
- Furo para regularização de água
- Proj. PCH do rio no SÍTIO-ALMOGA
- Uso do solo
- Temas de cobertura
- Áreas
- Depósitos de valente
- Áreas de duna e de praia
- Áreas
- Temas do solo
- Complementares e concêntricas com matiza de áreas agrícolas
- Áreas e áreas com matiza de áreas agrícolas
- Áreas, áreas agrícolas e áreas concêntricas agrícolas
- Áreas muito locais
- Áreas e áreas agrícolas e áreas com algumas áreas agrícolas
- Áreas e áreas com algumas áreas agrícolas, em áreas de espessura média

A composição dos aterros é heterogénea, assim como a respectiva espessura, pelo que se optou por caracterizá-los tendo em consideração a sua inclusão numa base de dados espacialmente referenciados (BDER) e tomando como critério o facto da construção dos aterros ter sido controlada, ou não. Por aterro controlado entendeu-se ser todo aquele que fosse construído com materiais seleccionados e que, simultaneamente, tivesse sido objecto de controlo de compactação durante a fase de construção; todos os outros foram considerados não controlados. Uma vez que se poderia maximizar as informações retiradas da base de dados, considerou-se que os aterros rodoviários ou portuários que, apesar de construídos com materiais seleccionados não tivessem sido controlados durante a sua execução, sendo incluídos no grupo dos aterros não controlados, deveriam ser passíveis de distinção relativamente aos demais. Tentou-se ainda especificar, sempre que existisse informação, se um determinado aterro não controlado se encontrava fundado em solos com fracas características geotécnicas como, por exemplo, aluviões lodosas.

Depósitos de vertente

Junto ao sopé dos taludes da margem sul do Tejo, bem como da Arriba Fóssil, detectaram-se diversos depósitos de vertente resultantes da evolução natural daqueles.

Estes depósitos são constituídos, predominantemente, por materiais provenientes de segmentos escorregados/tombados da escarpa e/ou por detritos resultantes da degradação por erosão dos materiais expostos nos taludes que os encimam.

Os coluviões incluídos na carta litológica digital coincidem, *grosso modo*, com os cartografados anteriormente nos trabalhos de RODRIGUES-CARVALHO *et al.* (1989,1990) e SILVA (1990), com excepção dos do trecho a sul do IC 20.

Neste grupo de terrenos inclui-se, ainda, um aluvio-coluvião ao longo do leito da Ribeira da Foz do Rego.

Areias eólicas ou de praia

As unidades litostratigráficas “Dunas e Areias de Duna” e “Areias de Praia” integram um único conjunto litológico, à semelhança do que foi feito anteriormente por SILVA (1990) e RODRIGUES-CARVALHO *et al.* (1990a, b); contudo, estes trabalhos abrangem apenas a planície litoral entre Trafaria e S. João da Caparica, a norte, e a Descida das Vacas e a Lagoa de Albufeira, mais a sul. Nesta segunda área, e devido a diferenças no pormenor do levantamento numérico do rebordo superior da Arriba Fóssil na BDER do SIGMA, optou-se por cartografar novamente as dunas.

Areias dunares e dunas correm ao longo do limite atlântico do concelho recobrando, quer a planície litoral (cordão dunar litoral longitudinal e, mais para o interior, o transversal), quer sobre a plataforma litoral, no rebordo da Arriba Fóssil, ascendendo a cotas superiores à centena no vértice geodésico do Cabo da Malha. Na região de Trafaria penetram ao longo da Vala da Enxurrada e, depois, surgem nalgumas manchas descontínuas no topo da Arriba Fóssil, a sul do Boqueirão da Junça e até à Ribeira da Foz do Rego; a sul desta depressão, formam cobertura contínua no topo da Arriba Fóssil até à laguna de Albufeira. Chegam a atingir cerca de seis dezenas de metros de desenvolvimento máximo (ANTUNES & PAIS, 1989). São constituídas, em geral, por areias bem calibradas, podendo englobar níveis de seixos e calhaus, correspondentes a antigas praias. FREITAS (1995) refere que as areias do cordão litoral são predominantemente quártzicas (90-95%), embora contenham bioclastos (2,5-4%), litoclastos (0,5-1%) e minerais pesados (1%-1,5%); o feldspato só ocorre muito esporadicamente. Os grãos de quartzo apresentam-se maioritariamente subrolados a rolados.

As dunas do topo da arriba entram em contacto com as dunas da planície litoral apenas na Trafaria e na Descida das Vacas, sendo este último o local onde atingem maior espessura (PEREIRA, 1995).

A planície litoral é constituída, no extremo ocidental, por areias de praia que são marginadas, em regra, por uma anteduna ou, no trecho S. João da Caparica - Terras da Costa, por diques longilitorais de enrocamento.

Estas areias de praia foram estudadas no âmbito de uma dissertação de mestrado em Geomorfologia na década de oitenta (FREIRE, 1989) e são esses os dados mais completos que ainda hoje foram publicados sobre a zona. Indicam que esta formação é constituída por 99% de areia e 1% de silte, correspondendo este valor ao resíduo de decarbonatação dos bioclastos que nela se encontram dispersos. As areias são constituídas por, pelo menos, 50% de grãos siliciosos, entre 45 e 50% de bioclastos, e por menos de 1% de palhetas de mica e grãos de minerais pesados (*op. cit.*). Verifica-se uma percentagem crescente de elementos superiores a dois milímetros (seixos) nas amostras colhidas a sul da praia da Bela Vista. TEIXEIRA (1990) analisou mais seis amostras de praias da costa atlântica deste Município e chegou às mesmas conclusões que FREIRE (*op. cit.*). O trabalho mais recente salienta ainda a diminuição do teor em carbonatos nas areias (de 15% para 10%, ou menos) à medida que se caminha para o limite sul do concelho.

Em sentido inverso, diminui a energia de ondulação e, portanto, o calibre das areias de praia.

Aluviões

Distribuem-se essencialmente ao longo dos leitos das principais linhas de água e respectivos tributários do concelho, a saber: Valas do Caramujo, do Guarda-Mor, da Sobreda, da Charneca, da Regateira e do Palácio Real do Alfeite, que drenam para o Mar da Palha; das Valas da Caneira/Enxurrada, que drenam para o Tejo, e da Ribeira da Foz do Rego que desemboca no Atlântico.

A sua espessura e composição é muito variável, se bem que predomine a fácies grosseira; algumas apresentam intercalações lodosas. Esta informação, sempre que conhecida, foi incluída na base de dados a fim de permitir uma melhor análise da informação litológica para derivar a carta de unidades geotécnicas.

A existência, em especial na freguesia da Charneca, de antigos areeiros abandonados, produziu alterações nas condições de drenagem natural nalguns pontos, gerando condições propícias à acumulação de água e deposição de matéria orgânica e de finos, que foram cartografados como aluviões sempre que se avaliou terem mais de um metro de espessura.

De referir ainda a presença de argilas esverdeadas na base de algumas aluviões junto ao Tejo, nomeadamente na foz da Vala do Caramujo (CUF, 1963).

4.2.2 Terrenos do Substrato

Conglomerados e cascalheiras com mistura de areias argilosas

Ao longo da faixa litoral e planície interior do concelho e, descontinuamente, no rebordo da Arriba Fóssil, a sul dos Capuchos, detectaram-se diversas cascalheiras, em regra de calhaus e seixos rolados a subrolados de quartzo (73%) e quartzito (27%) (AZEVEDO, 1982), que nalguns casos apresentavam intercalações ou mesmo uma matriz de areias grosseiras arcósicas. Pela sua granulometria, francamente mais grosseira, destaca-se um conglomerado constituído essencialmente por calhaus, denotando forte orientação, imediatamente a sul do IC 20 e a poente do Funchalinho, basculado com os terrenos inferiores, miocénicos.

Nesta unidade litológica, extremamente difícil de amostrar, foram cartografadas todas as ocorrências de depósitos mais grosseiros, independentemente da sua idade geológica, que apresentassem uma espessura média superior a um metro numa área significativa à escala de trabalho. Nalguns pontos da Arriba Fóssil, em especial a sul da Fonte da Telha, esta unidade chega a atingir 5 m de espessura.

Trata-se de materiais que correspondem, na globalidade, a mais do que uma unidade litostratigráfica, quer às “Areias de Santa Marta”, quer ao “Conglomerado de Belverde”, ou eventualmente ainda a depósitos mais antigos (mio-pliocénicos).

Areias e arenitos com mistura de finos e seixos/calhaus

Afloram, *grosso modo*, a sul de um alinhamento definido pelo IC 20-Vala do Caramujo, se bem que surjam sempre a cotas superiores a (40,00); constituem a unidade que ocupa a maior extensão do território do concelho e também a zona, por excelência, para onde a ocupação urbana e industrial do Município se tem vindo a expandir.

Sob esta designação inclui-se um espesso conjunto de areias amareladas, alaranjadas a avermelhadas, às vezes arcósicas, com granulometria variável, intercaladas por níveis muito grosseiros de seixos e calhaus, em regra subrolados, de rochas de diferentes tipos: ígneas (sienitos, granitos e gabros), metamórficas (quartzito, “xistos” do Ramalhão) e sedimentares (arenitos e calcários), a que se junta ainda quartzo; os feldspatos raramente ultrapassam os dois a três centímetros e são subangulosos. As intercalações argilosas, lenticulares, centimétricas a métricas, de tons alaranjados a acinzentados, são também uma constante; contudo, são mais espessas à medida que se caminha para o Mar da Palha.

Este conjunto arenoso apresenta numerosos veios ferruginosos (hidróxidos de ferro) ao longo das várias dezenas de metros de espessura que o constituem e que, às vezes, marcam bem a estratificação oblíqua dos depósitos, conferindo-lhes um aspecto bandado.

Nesta sequência detrítica foi possível individualizar, nas trincheiras dispersas pelo terreno, os dois conjuntos definidos por DOLLFUS & COTTER (1909):

- o mais inferior, a denominada “Série inferior do Alfeite”, na zona Romeira-Palácio do Alfeite, Espadeiros e Sobreda, onde se observa um basculamento para sudeste, exactamente como as camadas infra-jacentes do “miocénico marinho”. Trata-se de areias, em regra grosseiras, amarelas alaranjadas a avermelhadas escuras, com passagens conglomeráticas e com bolas de argila, cinzentas esverdeadas ou alaranjadas, com seixos de rochas ígneas, incluindo basalto; a estrutura maciça predomina. Os arenitos são quartzo-feldspáticos, com cimento argiloso, e às vezes ferruginoso. Este conjunto atinge, pelo menos, três dezenas de metros de espessura e pode conter passagens argilosas lenticulares;
- sucede-lhe novo grupo de estratos arenosos que, na zona de Espadeiros, se nota contactar com o anterior através de nítida discordância angular (Fig. V.8); na vertente litoral, o contacto entre ambas pode ocorrer ondulado e ferruginizado, ou ainda, como acontece na Sobreda/Vale de Grou, apresentar um depósito ferromanganesífero que

pode atingir, pelo menos, um centímetro. Esta nova sequência de estratos é constituída por areias de granulometria variável, esbranquiçadas a amareladas, também com níveis conglomeráticos e ainda intercalações de argilas cinzentas, às vezes com restos de impressões de vegetais. Neste segundo conjunto, detectaram-se ainda níveis de rizomas, granoclassificações positivas e negativas e leitos de areias micáceas, em especial para o topo; na região de Vale Figueira chegou a observar-se, numa trincheira situada já no concelho do Seixal, um leito com cerca de dois a três milímetros de espessura de moscovite. Este conjunto é mais espesso que o anterior, contudo é difícil estimar a sua espessura total (será pelo menos dupla da anterior) devido à variabilidade lateral das camadas que o integram ou ao carácter lenticular de outras.

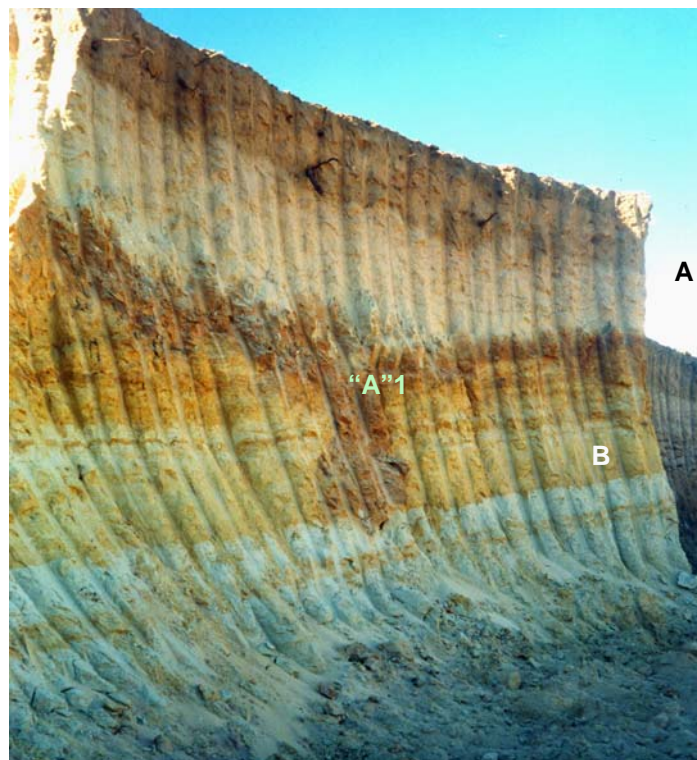


Figura V.8 - Corte em Espadeiros (identificado no SIGEO-ALMADA por **2230**), onde é possível observar o contacto entre **A** - Areias e arenitos com mistura de finos e seixos/calhaus ("Pliocénico"), e **B** - Silte e siltes argilosos a arenosos com algumas intercalações carbonatadas (Miocénico, Tortoniano).

Os materiais avermelhados (**A1** - hidróxidos de ferro) e os inferiores (**B**) amarelos e esbranquiçados, encontram-se ambos basculados para SE, enquanto que os materiais mais claros, sobrejacentes a A1, assentam em posição sub-horizontal, isto é, em discordância.

A espessura total deste conjunto litológico aumenta da frente marítima do concelho para o Mar da Palha. Na zona da Arriba Fóssil da Costa de Caparica, é mais espesso nas imediações do Regimento de Artilharia da Costa (RAC), a norte da Fonte da Telha e a sul do vértice geodésico da Descida da Raposa.

Estas litologias foram aproveitadas para extracções de areias/saibros desde finais do século XIX no Alfeite (RIBEIRO, 1866) e durante grande parte do século seguinte, nas freguesias da Charneca, Feijó, Laranjeiro e Sobreira tendo constituído um recurso importante do município. Actualmente, a exploração ainda decorre, mas apenas no vizinho concelho do Seixal.

Areias, siltes argilosos e bancadas carbonatadas espessas, às vezes muito fossilíferos

Areias (em geral finas) siltosas, às vezes com níveis ferruginosos com várias concreções, outras vezes com passagens mais argilosas ou carbonatadas e, em regra, fossilíferas, e siltes arenosos ou argilosos, geralmente amarelados, podendo igualmente conter passagens castanho-amareladas, cinzentas escuras ou amarelo-alaranjadas, existem ao longo de todo o concelho, quer na vertente norte, quer na Arriba Fóssil. Intercalados neste conjunto encontram-se frequentemente, tanto bancadas espessas a muito espessas de rochas carbonatadas (arenitos margosos, lumachelas ou biocalcarenitos), como de siltes argilosos ou argilas siltosas cinzentas, também métricas (Fig. V.9). Alguns estratos são micáceos.



Figura V.9 - Aspecto calcarenítico do conjunto litológico que conforma a escarpa do extremo nordeste de Almaraz, sobranceira ao Tejo, e a ponte do Ginjal. Observa-se ainda pormenor de plano de falha que intersecta a divisão IVb de Cotter (fotografia de P.LAMAS).

Do ponto de vista litostratigráfico, estas alternâncias de litologias miocénicas estão incluídas nas divisões II+III, IVb+Va₁ e nas divisões Va₃+Vb+Vc em todo o concelho com excepção do trecho BFFH-Pêra, onde inclui apenas as divisões Va₃+Vb.

A espessura desta unidade oscila entre cerca de vinte metros sob o Castelo de Almada e mais de cinquenta na Arriba Fóssil, sob o Miradouro dos Capuchos - Ponta do Cabedelo, a norte do Boqueirão da Junça.

Siltos e siltos argilosos a arenosos com algumas intercalações carbonatadas

Este grupo corresponde a um conjunto de bancadas silto-arenosas que às vezes são muito fossilíferas, tornando-se lateralmente areníticas e que incluem bancadas ora margosas ora siltosas ou mesmo silto-argilosas; distinguem-se da unidade anterior por se apresentarem menos espessas e/ou com mais finos. Na fracção arenosa domina frequentemente a areia fina. A cor predominante é amarela a castanho amarelada, embora as passagens com mais finos possam ser cinzentas ou mesmo cinzentas escuras.

Corresponde ao conjunto das divisões de Cotter VIb+c, VIIa e, a sul do Boqueirão da Junça - Funchalinho, VIIb.

Na Arriba Fóssil da Costa de Caparica, a sul do Boqueirão da Junça surge, próximo do topo deste conjunto, uma intercalação argilosa um pouco arenosa, micácea, espessa (chega a atingir 3,0m), de cor cinzenta acastanhada a cinzenta muito escura que apresenta, de onde em onde, manchas de enxofre de tom “amarelo limão”. No trecho a sul da Foz do Rego, nas proximidades da praia da Rainha, foi ainda detectado um leito conglomerático no topo desta unidade (CACHÃO, 1984).

Este grupo de estratos apresenta espessura total máxima na Arriba Fóssil, onde chega a rondar a meia centena de metros.

No estacionamento junto do Fórum Romeu Correia, no centro de Almada, os arenitos calcários fossilíferos revelaram-se lateralmente desprovidos de cimento carbonatado, passando a ter o comportamento de um solo arenoso, não plástico; já no trecho da Arriba Fóssil, entre a Ribeira da Foz do Rego e, mais a norte, a zona de Três Covas, a sul do Boqueirão da Junça, os calcarenitos revelaram-se pouco consolidados e cavernosos (Fig.V.10).

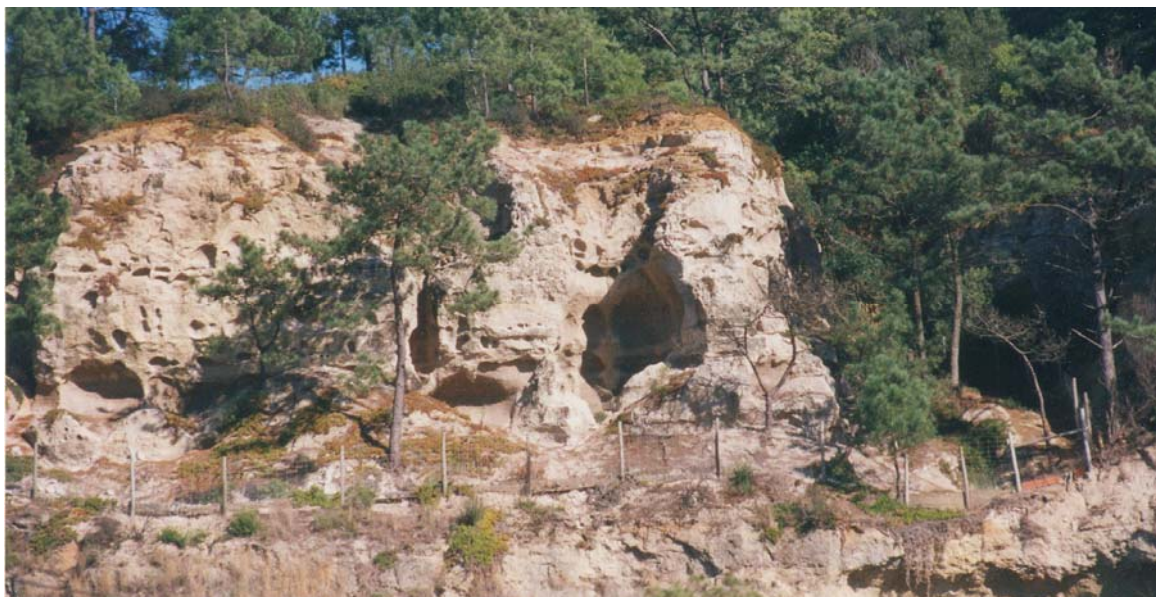


Figura V.10 - Aspecto do conjunto silto-arenoso a sul do Boqueirão da Junça, onde se pode apreciar as cavidades alveolares, resultantes de erosão eólica, que apresenta junto ao seu topo.

Argilas e siltes com algumas intercalações carbonatadas de espessura média

Esta designação abarca um conjunto de estratos miocénicos que foram agrupados e que correspondem às seguintes divisões de Cotter: IVa, Va₂ e VIa (em todo o concelho com excepção do trecho BFFH até Pêra, onde corresponde a Vc+VIa). As duas primeiras divisões anteriormente mencionadas, apresentam algumas intercalações margo-carbonatadas, que chegam a ser métricas no trecho entre Mutela e Arialva, no caso das “Argilas azuis do Areeiro” (IVa), e até à zona a nascente de Porto Brandão, no caso das “Areias com *Placuna*” (Va₂). Contudo, o carácter francamente argiloso ou argilo-arenoso da maior parte dos materiais que os integram levou a que se incluíssem num mesmo conjunto litológico. As restantes divisões acima referidas apresentam, geralmente, intercalações margosas fossilíferas (cascões) que tendem a atingir os vinte a trinta centímetros de espessura máxima.

De acordo com os dados do levantamento de terreno, a espessura desta unidade litológica oscila entre um mínimo de cerca de 12 m na zona da Arriba Fóssil, entre Trafaria e o IC 20, e mais de 50 m, sob o Cristo Rei.

5. TECTÓNICA E NEOTECTÓNICA

De acordo com vários autores, a actividade tectónica na Bacia Cenozóica do Tejo terá resultado da interacção de um conjunto de diversas fracturas de carácter profundo, não aflorantes e, na maioria dos casos, de características ainda desconhecidas (RIBEIRO *in* RIBEIRO *et al.*, 1979; CABRAL, 1995).

Os terrenos terciários que constituem a região enquadrada preenchem uma vasta depressão tectónica complexa, admitindo-se que o eixo terá direcção NNE-SSW, estendendo-se desde Torres Novas até ao sul do Seixal, passando junto de Santarém, e aprofundando-se para SW (LEIFORET *et al.*, 1983 *in* CABRAL, *op.cit.*). Trata-se da zona de falhas do vale inferior do Tejo, já referida por CHOFFAT (*in* CHOFFAT & BENSÁUDE, 1911), ANDRADE (1933) e CARVALHO (1968), se bem que nunca tenha sido detectada em afloramento.

Segundo CUNHA *et al.* (1993), o preenchimento desta bacia durante o Placenciano resultaria da reactivação da falha de Alcochete e dos importantes acarreios de materiais proporcionados pelos levantamentos de idade miocénica e posteriores, ocorridos nas zonas adjacentes. Seguidamente, a compressão tectónica que continuou a processar-se reactivou falhas orientadas NNE-SSW e NE-SW, que passaram a comportar-se como falhas inversas, e promoveu a “halogénese” diapírica que afectou também tais sedimentos (*op. cit.*; RIBEIRO, 1984; RIBEIRO e CABRAL, 1988; CABRAL, 1995).

Para poente, elevam-se os dobramentos anticlinais da cadeia da Arrábida, associados à fase compressiva Bética da orogenia Alpina, com orientação ENE-WSW, apresentando um modelo de deformação muito evoluído, dispondo-se em *échelon* e cavalgantes para SSE. São, por sua vez, recortados por desligamentos esquerdos de direcção N-S a NNW-SSE (RIBEIRO *et al.*, 1979; 1988; 1990).

AZEVEDO (1982) e RIBEIRO (*in* AZEVEDO, 1982), para explicar uma mudança na inclinação das camadas miocénicas de um e doutro lado do IC 20, admitem a existência de uma falha, paralela à orientação da actual zona vestibular do Tejo, que passará sob o IC 20 e que se prolongará, eventualmente, pela Vala do Caramujo. Durante os trabalhos agora realizados não se detectou evidência de tal acidente, mas antes de outros predominantemente NNE-SSW e NE-SW.

Na cartografia ora apresentada da tectónica da zona (Fig. V.7), apenas se incluíram as falhas com rejeito aparente pelo menos métrico. Esta generalização fez com que alguns acidentes tectónicos menores na zona Ginjal – Praia das Lavadeiras (também denominada de “praia das Bailadeiras” no início do século XX), fossem omitidas pelos fracos rejeitos observados e/ou por se tratarem de falhas sin-sedimentares.

As camadas do Miocénico e, como se referiu, de parte das areias grosseiras e conglomerados às vezes argilosos atribuídos ao Pliocénico, encontram-se basculadas, em regra para sul ou sudeste, ao longo do concelho.

A inclinação das camadas miocénicas ao longo da vertente norte é, em regra, de 6° a 8° para sudeste; contudo, a partir do vale da Trafaria para sul, essa inclinação diminui para apenas 4° a 5°. Merece ainda ressalva a zona de Cacilhas, Margueira e Mutela onde, inversamente, a inclinação aumenta para 10° a 12°, rodando para ESE, facto sem dúvida ligado a falha importante detectada sob as instalações da Lisnave, na zona imersa (CUF, 1963). Aliás, é frequente a inclinação das camadas miocénicas aumentar nas imediações de acidentes tectónicos para aquela ordem de valores, como se comprova pela observação das arribas do Tejo, na zona de Pêra ou mesmo na análise de sondagens - caso do grupo de sondagens a poente do Seminário de S. Paulo (SOPECATE, 1992). Noutros locais, verificam-se rotações no sentido de inclinação das camadas, quer para SSW, como acontece no Monte de Caparica e na zona da Escola António da Costa/Teatro de Almada, quer para norte, na colina sobranceira ao Parque Aquático de Brielas. Estas anomalias na inclinação resultam de rotações sofridas por blocos de camadas afectadas por falhas.

As principais famílias de fracturas que intersectam as arribas da margem sul do Tejo têm orientação predominante N-S a NE-SW e parecem ser falhas de desligamento esquerdo, correspondendo-lhes geralmente o maior rejeito observado. Entre o conjunto de falhas detectadas com aquelas atitudes, incluem-se as dos seguintes locais: Margueira-Caramujo; Boca do Vento, Fonte da Pipa, Palença; *campus* da FCT- Costas de Cão - Pêra, intersecção da Arriba Fóssil e o IC 20 na Costa de Caparica; Raposeira - S. Pedro da Trafaria. Encontraram-se outros acidentes tectónicos, mais recentes, constituindo muitas vezes falhas conjugadas das anteriores; detectaram-se orientações NNW-SSE (fracturas na Mutela e Ginjal), NW-SE e NNE-SSW (algumas falhas no Cristo-Rei - Pragal).

A intensa urbanização do concelho camuflou o prolongamento, para o interior, de diversas falhas observadas na frente norte. No entanto, o acompanhamento de diversas escavações, por um lado, e a análise de vários relatórios geotécnicos, por outro, permitiu definir a continuação de algumas delas na cartografia efectuada (Fig. V.7) ou redefinir o andamento de outras devido à grande escala utilizada no levantamento. Alguns dos acidentes tectónicos foram fotografados, de que são exemplo as Figuras V.11 e V.12. Para além disso, outros cuja presença se suspeita, mas cuja orientação e/ou correcto posicionamento não se considerou suficientemente claro, ficaram por assinalar; entre estes inserem-se os da zona urbana de Almada, entre o Pombal, Parque Urbano e A2, ou das áreas da Pêra-Funchalinho-Quinta do Rato, do Robalo-Ribeiro-Costas de Cão ou, ainda, mais a sul, Quinta da Rosa-Foz do Rego-Quinta do Texugo.

Por último, uma referência a um conjunto de falhas prováveis detectado na interpretação de sondagens na zona imersa a sul do Caramujo, na Base Naval do Alfeite. Tratar-se-à, possivelmente, da continuação do acidente tectónico atrás mencionado, inferido na interpretação das sondagens realizadas para o projecto das instalações da Lisnave (CUF, 1963).

COTTER *in* DOLLFUS *et. al.* (1903/04) refere um rejeito de 6 a 7 m para uma eventual falha a oeste do “Forno da Cal”, que existia no topo da arriba sobranceira à praia da Mutela, de acordo com levantamento topográfico de 1920. Corresponderá, eventualmente, ao prolongamento, para sul, das falhas do Pontal ou Pontaletto, cartografadas em Cacilhas e já referidas por RIBEIRO (1866).

A poente da A2, em Espadeiros, ocorre uma falha que faz com que, para nascente, deixem de aflorar as “Argilas Azuis de Xabregas”, que foram apenas detectadas em sondagens realizadas na passagem desnivelada da A2 sobre o IC 20, resultando num rejeito de mais de uma dúzia de metros; esta, deverá corresponder à estrutura assinalada por AZEVEDO (1982) para o local. Trata-se, provavelmente, do prolongamento para sul da fractura que foi observada a poente da Praça da Portagem, posta a descoberto, por algum tempo, pelas obras do eixo ferroviário (Fig. V.11). Este acidente já fora cartografado por ZBYSZEWSKI *et al.* (1940) e será o responsável pelo mergulho das “Areolas da Estefânia”, para nascente, rebaixando o topo desta unidade até junto à praia fluvial, sob o monumento a “Cristo-Rei”.



Figura V.11 – Aspecto da falha a poente do encontro sul da Ponte 25 de Abril – vista de norte para sul (fotografia de C.VILAR).

Mais a poente, no Monte de Caparica, num talude a sudeste do Instituto de Ciências da Saúde, ocorrem diversas fracturas que permitiram a extrapolação do andamento de falhas observadas noutros locais. Saliente-se a falha que passa a sul da Quinta das Rosas, intersectando as instalações da ENSUL e que compartimentou o maciço miocénico. Trata-se, eventualmente, do acidente detectado no nó das Casas Velhas que, para além de uma componente de desligamento, poderá ainda ter uma componente de deslocamento vertical, com descida do bloco poente.

Uma referência também à zona do *campus* da FCT, área afectada por diversas falhas inferidas da análise dos elementos obtidos em diversas campanhas de prospecção geotécnica. Estas falhas serão intersectadas mais a norte por outra, mais recente: a falha da Fonte Santa, à qual se encontra associada a surgência que está na origem do topónimo. Paralela à linha de água que limita, a poente, as instalações da FCT, ocorre uma zona de falha, ou melhor, um conjunto de fracturas que foram observadas nas escavações para o edifício da residência de estudantes (Fig. V.12). Este conjunto inclui pelo menos três falhas, de direcção NE-SW, numa faixa de 30 m, todas subverticais, com ligeira inclinação para poente e com descida desses blocos. Exibem ligeiro preenchimento (2 mm na mais a nascente e 10 mm na mais a ocidente de todas), de natureza argilosa, amarelo-acinzentado.

No que respeita à Vala da Enxurrada, resta acrescentar aos dados apresentados por LAMAS (1998) que uma das várias falhas que ali ocorrem situar-se-à nas imediações da sondagem SP4 (identificada por **1060** no SIGEO-ALMADA), realizada no sopé da colina do Parque Aquático, em Brielas (GEOCONTROLE, 1986). Outra irá passar no lado poente daquela colina (Fig. V.13). Contudo, pelo menos uma terceira falha, não assinalada por LAMAS (*op. cit.*) terá necessariamente que existir, a nascente daquelas. Trata-se de um acidente que intersectará a antiga estrada de acesso à Costa de Caparica passando pelos Capuchos, e cuja presença explicará a mudança de atitude das camadas miocénicas observada na arriba nesse local: de francamente inclinadas para sul, passam a apresentar-se quase sub-horizontais. Por outro lado, as “Argilas Azuis de Xabregas”, que deixam de aflorar mesmo em frente ao extremo sul da “ilha” ajardinada que se encontra no entroncamento da antiga estrada nacional com o actual IC 20, surgem de novo a cotas superiores, a meio da estrada secundária, antes de um pequeno miradouro ali existente. É difícil inferir o local de passagem daquele acidente, tendo sido cartografado onde a arriba apresenta um pequeno ressalto.

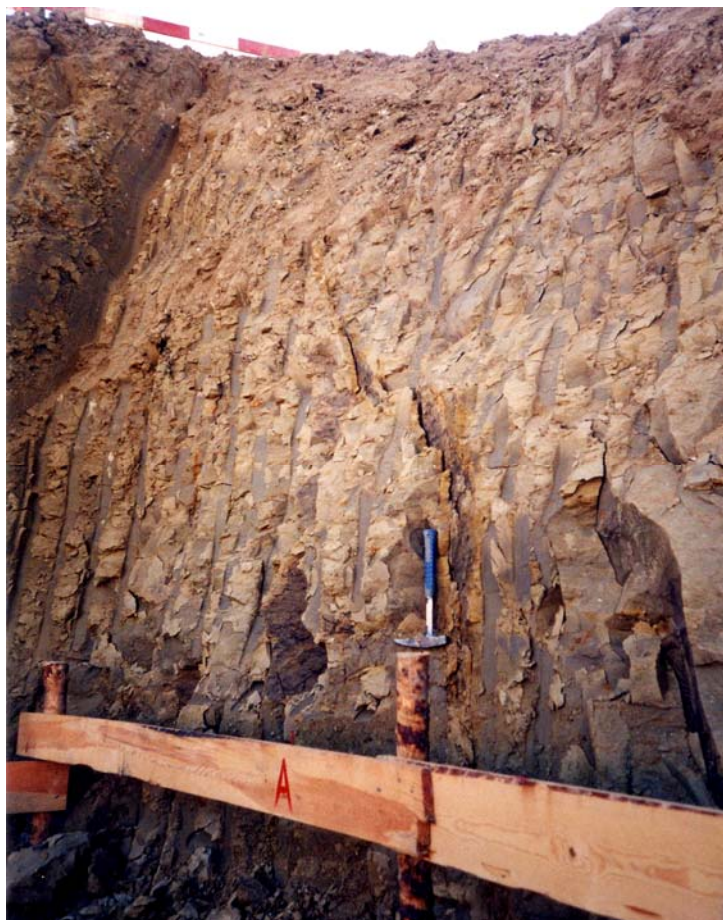
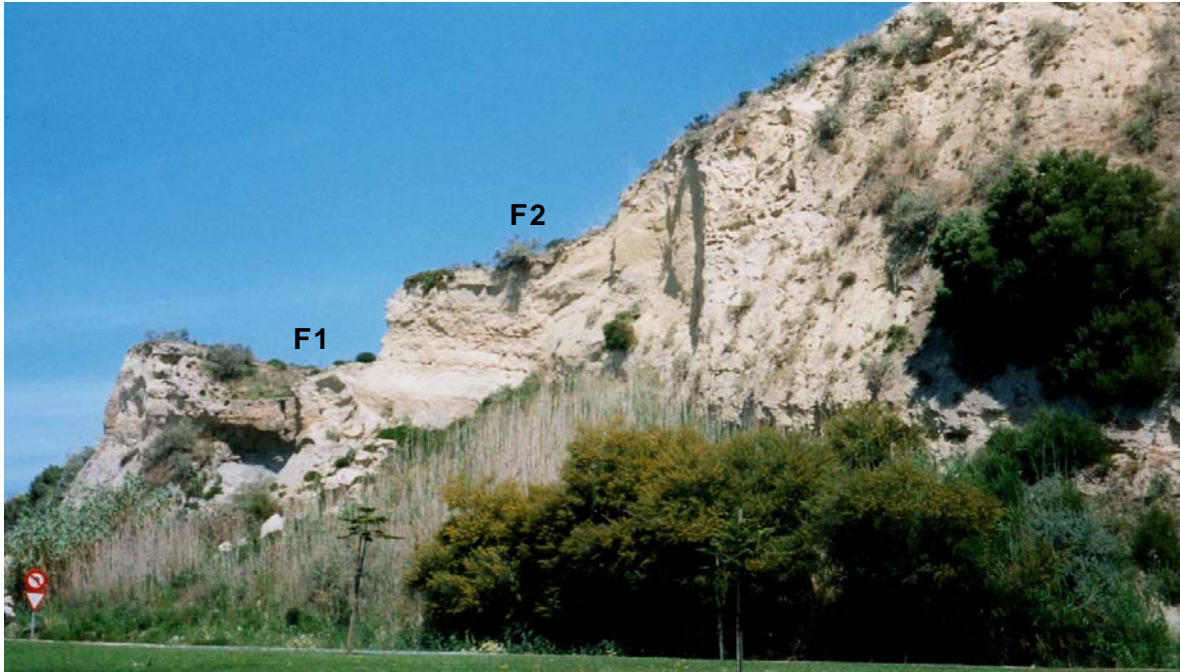


Figura V.12 - Aspecto da falha situada mais a poente e observada nas escavações para a primeira fase de construção da residência de estudantes da FCT/UNL, nas imediações da trincheira **2061** do SIGEO-ALMADA.

A falha a nascente de Raposeira, que interrompe uma unidade que constitui horizonte de referência (“Calcário do Casal Vistoso” – divisão Va_1 de Cotter), prolonga-se para a plataforma continental, tendo sido detectada por sondagens ali realizadas para implantação dos silos da EPAC (AGPL, 1984). O rejeito inferido é de cerca de 8 m (*op. cit.*), com descida do bloco nascente.

Ao longo da Arriba Fóssil, o substrato miocénico apresenta uma ondulação/empolamento na zona da Fonte da Telha, imediatamente a sul do acesso viário, e novamente cerca de dois quilómetros a sul, prolongado-se até à Mina de Oiro. Inversamente, ele parece desaparecer antes da Descida das Vacas e, mais a sul, na Descida da Raposa/Regimento de Artilharia da Costa (RAC). Assim, a menção tradicional do “sinclinal de Albufeira”, que se supõe ter um fundo plano e eixo coincidente com a laguna de Albufeira, é questionável. Acresce ainda que no sentido E-W também é possível definir empolamentos, nomeadamente na zona Sobreda-Quinta dos Medronheiros. Aliás, já ANDRADE (1933), assinala que entre a Foz do Rego e a Fonte da



a)



b)

Figura V.13 - Arriba Fóssil, a sul do IC 20 e antes da entrada na Costa de Caparica, ao longo da antiga estrada de acesso aos Capuchos, onde se observam: **a)** duas falhas (F1 e F2), a principal de tipo inversa (**F2**); **b)** e um pormenor do plano de **F2**, ondulado.

Telha e dessa área para nascente, em direcção ao Alfeite, poderá ter existido uma depressão de certa importância. A sua atitude, NE-SW, é subparalela à da zona de falha do Baixo Tejo. Contudo, não é de excluir que alguns (senão todos) dos empolamentos acima referidos possam corresponder à actuação de eventuais movimentos tectónicos ao longo de falhas, que então terão sido reactivadas.

No estudo das formações plio-quaternárias da arriba fóssil, detectaram-se algumas falhas, de tipo distensivo e compressivo, as mais importantes das quais se incluem nesta cartografia. A zona de maior concentração de acidentes tectónicos situa-se, sem dúvida, imediatamente a sul do acesso à Fonte da Telha (Figs. V.14 e V.15), onde existe um cortejo de diversas falhas compressivas, N-S a NW-SE, subverticais e de plano de falha ondulado; a sua geometria é complexa, ramificando-se e tornando-se mais verticais para o topo da vertente, como já tinham verificado CABRAL *et al.* (1984).

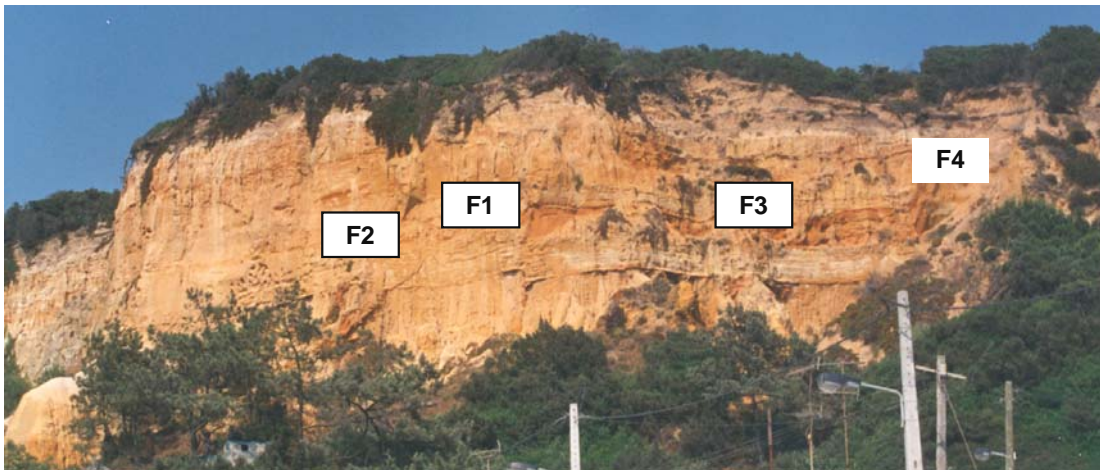


Figura V.14 - Aspecto de uma zona fracturada na Arriba Fóssil, no talude meridional do caminho de acesso à Fonte da Telha.

Observaram-se ainda, na região, microfalhas que afectam os depósitos terciários e quaternários (“Conglomerado de Belverde”), nomeadamente na zona situada entre a Descida da Raposa (a norte da Guarda Fiscal) e cerca de 1700 m a sul da Fonte da Telha, bem como nalgumas antigas frentes de extracção de areias, como é o caso da Quinta dos Medronheiros. Neste município e no do Seixal, em Santa Marta de Corroios, estudos anteriores referem a medição de atitudes de microfalhas, de superfície curva, predominantemente de tipo inverso, às vezes apresentando outras conjugadas de tipo normal, sugestivas de mecanismo de falhas antitéticas em *upthrust* (CABRAL, *op. cit.*). Nas atitudes medidas predominam as de orientação WNW-ESE, que se apresentam muito inclinadas para NE, e outras N-S ou ligeiramente rodadas para ocidente, que se encontram menos inclinadas para nascente (AZEVEDO, 1982; CABRAL *et al.*, 1984; CABRAL, 1995). CABRAL (*op.cit.*) admite que na zona da Fonte da Telha deverão ocorrer dois acidentes tectónicos profundos, um junto daquela povoação, com atitude aproximada WNW-ESE, muito inclinado para NNE com subida relativa do bloco

setentrional e outra aproximadamente N-S, a sul da Fonte da Telha (talvez na zona do Galheirão?), também com inclinação para nascente e com subida relativa daquele bloco.

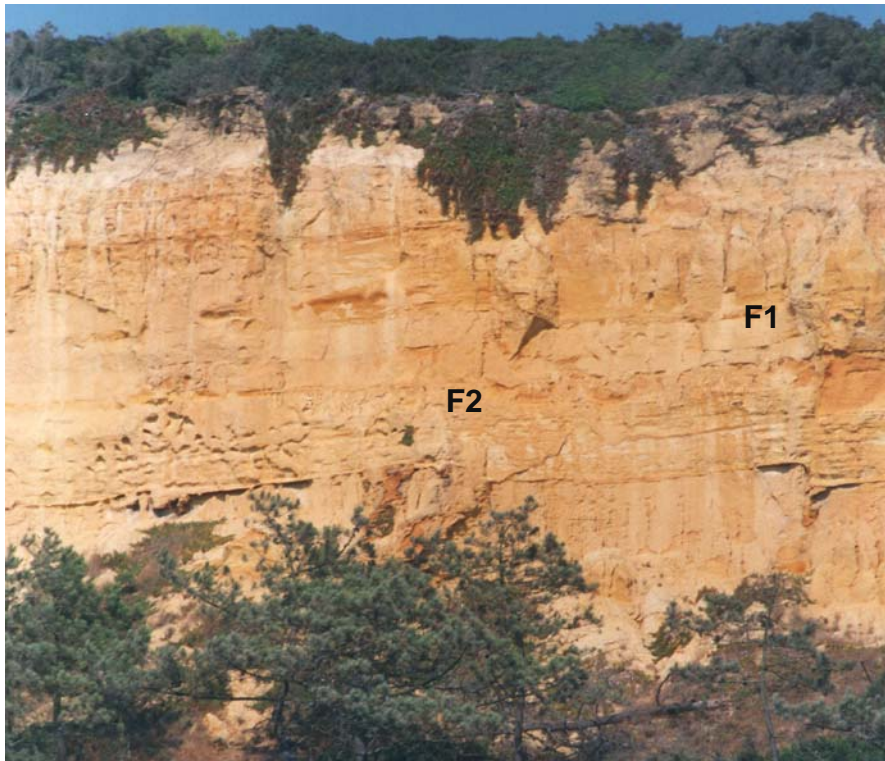


Figura V.15 - Pormenor das duas falhas inversas (F1 e F2) que ocorrem na arriba Fóssil na Fonte da Telha e que estão representadas na Fig. V.14.

De referir também as microfalhas detectadas num areeiro da Quinta da Caneira, cerca de um quilómetro a nascente da Sobreda, por CABRAL (*in* RIBEIRO *et al.*, 1986), num local designado de Salgado. Trata-se de fractura de tipo distensivo, também de geometria complexa, onde se consegue observar, no bloco superior, um conjunto de falhas normais e inversas que terminam no outro acidente principal. Por se tratar de deslocamentos centimétricos, não se incluiu esta estrutura na cartografia.

CABRAL (1995) descreve, para a área, dois tipos principais de actividade tectónica no Quaternário: movimentos neotectónicos verticais e movimentos por falhas. Os primeiros, representados na área em estudo por levantamentos que deram origem às actuais colinas sobranceiras ao Tejo, serão, por essa razão, os aspectos neotectónicos mais relevantes a ter em conta.

Quanto às falhas de idade quaternária, a sua importância reveste-se do facto de poderem vir a originar actividade sísmica por vezes com epicentro a curta distância da área em estudo.

Nesse contexto, a mais importante é a zona de falhas do Vale Inferior do Tejo, de orientação N30°E e pendor acentuado pra WNW, detectada por lineamento nas aluviões do Tejo desde Vila Nova da Barquinha até ao "Mar da Palha", bem como por evidências geomorfológicas e sismológicas (CABRAL, 1995). Este acidente ter-se-á comportado, ao longo do Quaternário, como um cavalgamento do bloco WNW sobre o bloco ESE, com ligeira componente de desligamento esquerdo (RIBEIRO & CABRAL, 1994). A sua continuidade através da Península de Setúbal, tal como sugere a interpretação de lineamentos em imagens de satélite efectuada por CONDE & ANDRADE (1976), é problemática uma vez que nesta zona carece de evidência geológica e mesmo morfológica. Esta última pode ser sugerida pela configuração de um trecho do canhão submarino de Lisboa, ao largo de Fonte da Telha. CABRAL (1995) admite como mais provável uma transferência, durante o Quaternário, dos deslocamentos daquela zona de falhas para a de Alcochete (ou Setúbal-Pinhhal Novo), de direcção NNW-SSE, que se prolonga pela baixa de Palmela até à extremidade da restinga de Tróia, e identificada como potencial fronteira oriental das deformações alpinas da cadeia da Arrábida (RIBEIRO *et al.*, 1988; 1990).

A interpretação dos testemunhos de algumas sondagens executadas no leito do rio Tejo para a ponte que liga Lisboa a Almada levaram alguns autores (ALMEIDA & ZBYSZEWSKI, 1955; TAYLOR, 1956; ALMEIDA & FOLQUE, 1960; ALMEIDA, 1986) a admitir a existência de uma falha, orientada ENE-WSW a qual, na opinião de RIBEIRO & CABRAL (1994), poderá funcionar como desligamento direito e tem sido considerada responsável, em parte, pela instalação do actual trecho final do rio Tejo, ocorrida no Quaternário inferior (RIBEIRO, 1984; AZEVEDO & CARDOSO, 1985; CABRAL *in* RIBEIRO *et al.*, 1986; CABRAL, 1995).

A existência provável deste acidente, denominado "falha do Gargalo do Tejo", já tinha sido sugerida por C. RIBEIRO (1893, *in* ANDRADE, 1933). Contudo, ANDRADE (*op. cit.*), justificaria o desvio do trecho final do Tejo para o leito actual como sendo unicamente gerado por simples erosão diferencial das camadas miocénicas sem que para isso fosse necessária a ocorrência de uma falha. CABRAL (1995) admite que o desvio do Tejo para o seu leito final actual poderá ser justificado apenas por aproveitamento de uma zona de fraqueza estrutural motivada pela própria ocorrência da falha e não necessariamente por rejogo tectónico ao longo do seu plano.

Evidências morfológicas denunciam a existência de uma falha de direcção aproximadamente NNW-SSE ao longo de parte do vale da ribeira de Coima. Esta falha, localizada cerca de uma dezena e meia de quilómetros a noroeste da zona em estudo, terá sofrido movimentos verticais de tipo inverso (CABRAL & RIBEIRO, 1988) após a deposição da "Formação vermelha do Marco Furado", já no Quaternário (AZEVEDO, 1982). De facto, estudos realizados tendo em vista a definição do "*horizonte de deposição daquela formação vermelha, demonstraram que, a nascente da Ribeira de*

Coína, esta inclina de sul para norte e, a poente da mesma, de oeste para leste. Estes basculamentos, afectando toda a região da Península de Setúbal, tiveram grande importância na definição da actual rede de drenagem" (ib.).

Em relação ao alinhamento ENE-WSE definido pela laguna de Albufeira e Ribeira da Apostiça, CABRAL (*in* RIBEIRO *et al.*, 1986) admite poder corresponder a uma falha activa provável uma vez que corta uma superfície de aplanção que, como referem DAVEAU & AZEVEDO (1980-81), para norte do alinhamento se encontra basculada para nordeste, na direcção do "Mar da Palha" e, para sul do mesmo, balançada para noroeste.

6. PERIGOS GEOLÓGICOS

6.1 Sismicidade

No âmbito dos estudos de engenharia e planeamento de um concelho como Almada englobado na zona de risco sísmico mais elevado de Portugal continental do "Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes" (RSA, 1983), a sismicidade assume particular importância.

A sismicidade de uma região é determinada pela distribuição e localização de fontes sismogénicas relativamente à área em análise (domínios sismotectónicos e distância relativa), e respectiva história sísmica, nomeadamente em termos de magnitude e frequência dos eventos sísmicos.

Zonas de geração sísmica

Em termos de zonamento e de microzonamento sísmico, as principais fontes sismogénicas a considerar para a região encontram-se identificadas em diversos estudos de Neotectónica ou de avaliação da casualidade sísmica em Portugal, entre os quais se referem CAMPOS - COSTA *et al.* (1992), OLIVEIRA *et al.* (1993), CABRAL (1995), SOUSA (1996), PAULA & OLIVEIRA (1997a,b), JORGE & COELHO (1998), TAVARES (1998), ALMEIDA (1998) ou RODRIGUES (1998). O efeito depende da magnitude do sismo máximo credível, da distância à fonte sísmica e da profundidade do foco que, conjugados com efeitos azimutais e locais (enquadramento geológico, geomorfológico e geotécnico) permitem estabelecer os cenários sísmicos. A existência de registos instrumentais para a Península Ibérica apenas a partir de 1902 e, mesmo assim, com várias lacunas até cerca da primeira metade do século XX para muitos sismos que afectaram o continente,

fazem com que se recorra sistematicamente a dados históricos e macro sísmicos nos estudos de casualidade sísmica em Portugal.

Os domínios de geração de sismos mais significativos situam-se essencialmente nas seguintes regiões (Fig. V.16):

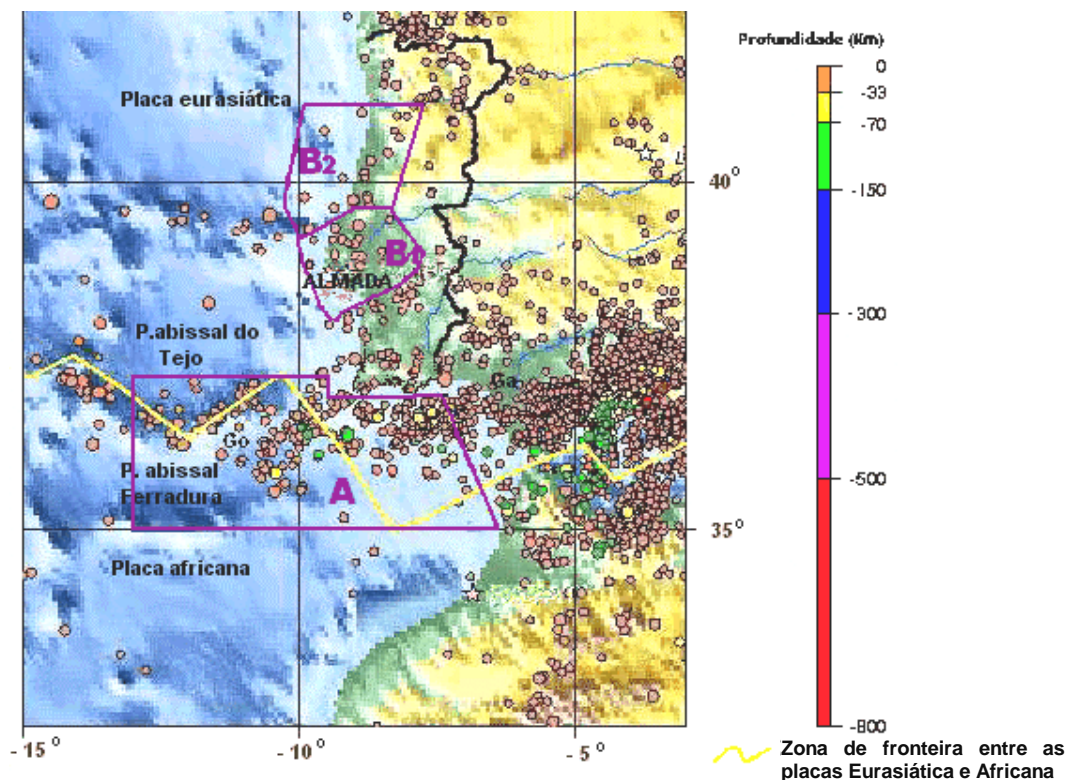


Figura V.16 - Esboço da localização das principais zonas sísmogénicas (A, B1 e B2) a considerar para estudos de risco sísmico no concelho de Almada, com indicação dos epicentros de sismos instrumentais verificados entre 1977 e 20.09.99 (adaptado de CABRAL, 1995; SOUSA, 1996; D'APPOLONIA, 1982 in RODRIGUES, 1998; NEIC-USGS, 1999).

Go – Banco de Gorringe; Ga – Guadalquivir.

A. Zona de fronteira das placas eurasiática e africana, onde se geram sismos ditos **interplacas**, devido a movimentos ao longo da falha Açores – Gibraltar. Esta, no domínio designado por A (Fig.V.16), funciona essencialmente em regime compressivo puro, numa fronteira de tipo destrutiva, que se prolonga até ao Golfo de Cádiz / subplaca do Alborão. A taxa de convergência estimada para a zona é da ordem de $1,3 \text{ cm.ano}^{-1}$. A sismicidade desta zona é classificada de elevada (MINEIRO, 1994; COELHO, 1998); os sismos podem ter magnitudes elevadas, isto é, superiores a 6, admitindo-se um período de retorno da ordem das centenas de anos (MOREIRA, 1988). Os sismos gerados são considerados como tendo uma origem distante (ordem das centenas de quilómetros), com profundidades de foco da ordem das quatro a cinco dezenas de quilómetros (*op. cit.*). A magnitude local

máxima ($M_{Lmáx}$) expectável para a zona, determinada por métodos determinísticos e com origem numa rotura provável no Banco de Goringe (distância de cerca de 260-300 km) a SW do Cabo de S. Vicente, é da ordem de 8.3-8.5 estimando-se um período de retorno de 1000 (MINEIRO, 1994) a 2000 anos (CAMPOS - COSTA *et al.* 1992). Terão eventualmente tido o seu epicentro nesta zona os sismos históricos intensos de 218/216, 210/209 e 60 A.C., bem como o de 382 (SOUSA *et al.*, 1992).

- B. Sismos gerados no interior da placa eurasiática, isto é, **intraplacas**. A sismicidade desta zona é classificada de moderada, sendo o processo de deformação mais lento, traduzindo-se num intervalo maior entre a ocorrência de sismos de magnitude mais elevada – será da ordem do milhar às dezenas de milhares de anos (COELHO, 1998; JORGE & COELHO, 1998). Os sismos aqui gerados e com interesse para a região de Almada, são considerados como tendo uma origem próxima (inferior a poucas dezenas de quilómetros) e admite-se que as profundidades focais não sejam superiores às duas dezenas de quilómetros. Salienta-se, ainda, que no caso da sismicidade intraplaca é difícil estabelecer uma relação minimamente segura entre alguns sismos, a sua localização precisa e a geometria das potenciais falhas sismogénicas. Podem considerar-se alguns subdomínios, nomeadamente:

B.1) O mais importante, é a **zona de fractura do vale inferior do Tejo**, em especial a região de Benavente, *sensu lato*. PAIS *et al.* (1996) admitem uma $M_{Smáx} = 7.0$ para um sismo de projecto com origem neste domínio, enquanto que CAMPOS - COSTA *et al.* (1992) consideram um valor de magnitude de 6.8 para um período de retorno de 200 anos (distância de 20 km).

O concelho de Almada tem sofrido ainda os efeitos de alguns sismos com epicentros na plataforma continental e de fraca profundidade (inferior à dezena de quilómetros), eventualmente relacionados com um segmento da falha Monchique-Sines-Sintra, acidente subvertical com orientação NNW-SSE (RIBEIRO & CABRAL, 1994). As magnitudes locais registadas até hoje parecem ter sido inferiores a 5 (Fig.V.16). Contudo, a falta de informação relativa a um largo período de tempo, da ordem dos ciclos sísmicos, é notória.

B.2) Com menor relevância, refira-se ainda a **zona de falha da Nazaré-Batalha**, onde poderão ainda ter origem sismos com algum impacto no concelho; a magnitude máxima atribuída a um sismo com origem neste domínio foi inferior a 6. A afirmação que encerra o parágrafo precedente também se aplica a esta zona.

RIBEIRO (1989, 1994) e CABRAL (1995) anotam ainda a possibilidade de alguns dos sismos já referidos poderem ter origem na denominada zona de subdução incipiente Oeste-Ibérica. Trata-se de uma eventual zona sismogénica que se desenvolverá sensivelmente ao longo do território de Portugal continental, na zona correspondente ao talude continental e cuja sismicidade instrumental é menos relevante que nas zonas anteriormente descritas.

Efeitos dos sismos

Segundo o mapa de intensidades macro sísmicas máximas observadas em Portugal Continental até 1996 (Fig. V.17), a intensidade macro sísmica máxima registada no concelho de Almada foi de grau IX-X na escala de intensidades de Mercalli modificada (MM), registada na zona para o sismo de 1 de Novembro de 1755.

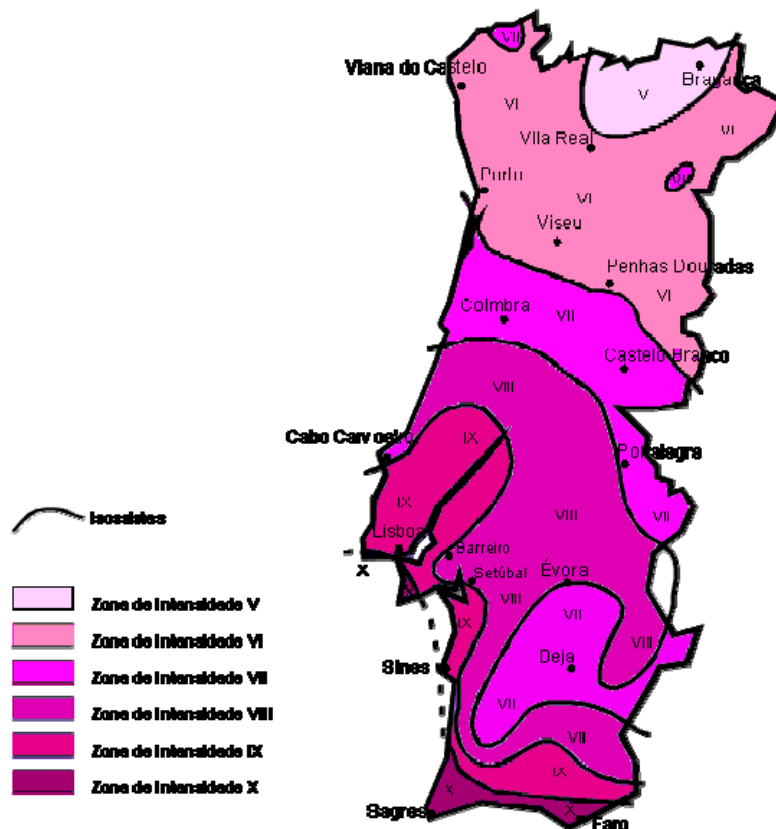


Figura V.17 - Carta de isossistas de intensidades sísmicas máximas observadas em Portugal Continental (IM, 1997).

O Quadro V.5 inclui uma compilação e análise dos principais sismos históricos sentidos na região a partir do século XIV e que têm relevância do ponto de vista da engenharia, isto é, em regra com uma magnitude mínima de 4, e que na região se fizeram sentir com uma intensidade mínima de V (MM). Salienta-se que a grandeza da maioria dos macro sismos históricos vem expressa em termos de valores de magnitude estimados (M_p), sendo deficiente o conhecimento da localização dos epicentros respectivos, especialmente para os sismos anteriores ao século XX.

Entre 382 e 1991, ter-se-ão verificado 1473 sismos com $M \geq 4$ (MINEIRO, 1999). Como é normal acontecer, associados aos sismos de maior magnitude ocorreram outros,

Quadro V.5 - Distribuição dos principais sismos históricos e instrumentais para o concelho de Almada em função dos domínios sismogénicos e algumas características desses eventos (INMG, 1947/96; SOUSA *et al.*, 1992; JORGE, 1993; SENOS *et al.*, 1994; PAIS *et al.*, 1996; PAULA & OLIVEIRA, 1997a,b; RODRIGUES, 1998; NEIC-USGS, 1999).

	Evento	Epicentro					Almada		
		Data	Latitude	Longitude	Local	Mp* ou M _L	P. FOCO (km)	I** (MM)	Tsunami (T) /Liquefacção (L)
Sismos interplacas:	Província atlântica	24.08.1356	36.0 ^o	-10.7	Atlântico, a SW de Sagres	7.5*	24?	VIII?	T - Provável
		01.11.1755	37.0 ^o	-10.5 ^o	Atlântico, a SW de Sagres	8.5*	30?	IX-X	T - Sim L - Certa
		31.03.1761	36.0 ^o	-10.5 ^o	Atlântico, a SW de Sagres	7.5*			
		12.04.1777	36.0 ^o	-10.0 ^o	Atlântico, a SW de Sagres	7.0*			
		30.10.1896	37.5 ^o	-08.2 ^o	Atlântico, a SW de Sagres	5.0*		IV-V	
		11.07.1915	37.0 ^o	-10.5 ^o	Atlântico, a SW de Sagres	6.6*	50?		
		25.11.1941	37.25 ^o	-19.0 ^o	Atlântico, entre Lisboa e os Açores	8.2- 8.4* 7.9B	25	VI-V	T - Sim
		28.02.1969	35.99 ^o	-10.81 ^o	Atlântico, a SW de Sagres	7.3 (7.5*)	20	VI	
Sismos intraplacas:	Província Lisboa - Setúbal	01.01.1344	38.9	-8.8 ^o	"Benavente"	6.0*		VII?	
		28.01.1512	38.7 ^o	-9.2 ^o	Arredores a N de Lisboa	6.3*			
		26.01.1531	38.95 ^o	-09.0 ^o	"Benavente"	7.1*	4?	VIII	L - Duvidosa
		28.01.1551	38.0 ^o	-9.0 ^o	Plataforma, arredores de Setúbal	7.1*			
		27.03.1855	39.1 ^o	-09.1 ^o	A N de Lisboa	4.0*		VI	
		11.11.1858	38.2 ^o	-09.0 ^o	Plataforma, a sul de Setúbal	7.2*	17	VIII	L - Duvidosa
		13.08.1899	38.7 ^o	-09.2 ^o	Arredores a N de Lisboa	5.7*		V-VI	
		09.08.1903	38.3 ^o	-09.0 ^o	Arredores a N de Lisboa	5.5*		IV-V	
		23.04.1909	38.57 ^o	-08.46 ^o	"Benavente"	7.6*	4	V	L - Duvidosa
		06 a 09.08.1913	38.62 ^o a 38.5 ^o	-09.45 ^o a -09.3 ^o	Atlântico, a W de F. da Telha e a S de Cascais	4.6* a 4.7*	7?	VI	
		23 e 25.09.1914	39.0 e 38.9 ^o	-8.82 e -08.8 ^o	"Benavente"	5.3*	5	IV-V	
		18.12.1926	38.78 ^o	-09.17 ^o	Arredores a N de Lisboa	4.4	7	V	
		27.12.1722	37.17 ^o	-07.58 ^o	Plataforma, a SW de Tavira	7.8*			
		12.01.1856	37.1 ^o	-08.0 ^o	Plataforma, a SW de Tavira	6.0*		V-VI	
Outras	28.02.1926	38.58 ^o	-07.9 ^o	Região de Évora	5.5*	28	V		
	26.12.1962	39.35 ^o	-10.65 ^o	Atlântico, vale submarino da Nazaré	4.8	5	IV-V		
	26.04.1983	37.05 ^o	-14.34 ^o	Atlântico, a W do litoral ocidental	4.8	33	III-IV		

* Valores estimados, magnitude pessoal (M_p). ** Intensidades máximas no concelho de Almada.

premonitores e réplicas, como aconteceu nos eventos de 1356, 1755, 1858, 1909 ou 1969 (Quadro V.5).

Em trabalho recente, RODRIGUES (1998) inventariou a ocorrência de *tsunamis* associados a alguns dos sismos mencionados no Quadro V.5. No que se refere ao concelho de Almada, ter-se-ão verificado *tsunamis* muito intensos, isto é de intensidade V na escala de KARNIK (1977 *in op. cit.*), na sequência do sismo de 1 de Novembro de 1755, bem como de algumas das suas réplicas. No conjunto, foram atribuídas pelo menos cinco mortes por afogamento nas praias da Caparica ao maior *tsunami* (Pereira de SOUSA, 1929). A altura máxima da onda na região de Lisboa terá sido da ordem de 15 m (PAIS *et al.*, 1996; VIEIRA, 1995), facto que só por si assume particular relevância face à ocupação das zonas ribeirinhas no concelho de Almada.

Salienta-se ainda que, na sequência dos sismos de 26 de Janeiro de 1531 e de 23 de Abril de 1909 (zona de fractura do vale inferior do Tejo), ter-se-à verificado uma agitação anormal das águas do Tejo (RODRIGUES, 1998; SENOS *et al.*, 1994).

De acordo com o mapa de períodos de retorno da oportunidade de liquefacção para Portugal continental elaborado por JORGE & COELHO (1998), o período de retorno de sismos capazes de induzir **liquefacção** no concelho de Almada é inferior a 150 anos. A análise da bibliografia permite avançar que se terão verificado fenómenos de liquefacção na zona da Trafaria na sequência do sismo de 1755 (Pereira de SOUSA, 1929); outros sismos poderão ter eventualmente gerado fenómenos do mesmo tipo, mas os dados ora disponíveis não permitem confirmá-lo (Quadro V.5; JORGE, 1993).

Num concelho já de si bastante susceptível a fenómenos de instabilidade de taludes naturais, existem relatos de algumas ocorrências destes fenómenos em resultado de alguns dos eventos sísmicos incluídos no Quadro V.5:

- 1 de Novembro de 1755 (GUIMARÃES, 1981).
- 26 de Dezembro de 1962 (NASCIMENTO *et al.*, 1976).
- 25 de Novembro de 1941 e 26 de Fevereiro de 1969 (LAMAS, 1998).

Tendo em consideração o estudo experimental conduzido por OLIVEIRA (1977) baseado na sismicidade histórica e instrumental, e para um período de retorno de 1000 anos, serão expectáveis para a área em análise, valores máximos de parâmetros sísmicos da seguinte ordem de grandeza:

- *Aceleração* > 150 cm.s⁻².
- *Velocidade* > 18 cm.s⁻¹.
- *Deslocamento* > 8 cm.

Estes elementos foram determinados a partir de curvas que, como salienta aquele autor, correspondem a valores obtidos ao nível do substrato, não tendo sido considerados os efeitos de sítio, nomeadamente efeitos de amplificação locais nos terrenos de cobertura. De acordo com os dois tipos de acções definidas no RSA (1983), acções sísmicas de tipo 1 (magnitude moderada, reduzida distância focal e com duração de 10 s) e de tipo 2 (magnitude mais elevada, maior distância focal e com duração de 30 s) e considerando a contribuição das condições geotécnicas através dos três tipos de terrenos descritos no RSA (*op. cit.*), CORREIA (1997) quantificou os seguintes valores de pico das componentes horizontais da aceleração, velocidade e deslocamento:

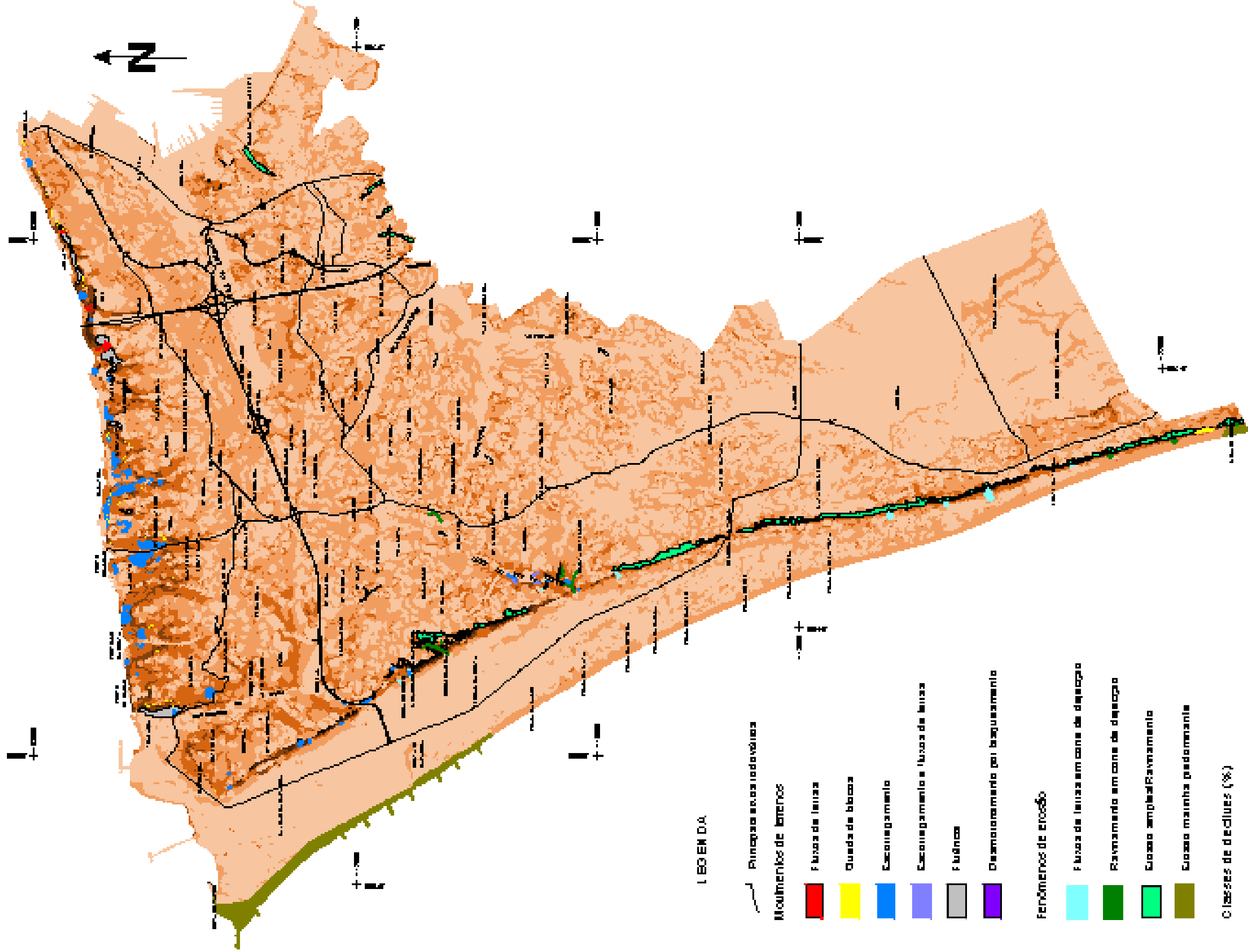
Acção sísmica:	Tipo de terreno	Aceleração (cm.s ⁻²)	Velocidade (cm.s ⁻¹)	Deslocamento (cm)
Tipo 1	I	177	11.9	5.6
	II	150	11.9	6.4
	III	125	11.9	6.9
Tipo 2	I	107	14.1	10
	II	107	15.8	14
	III	108	18.3	20

MINEIRO (1999) avaliou as acelerações máximas para as principais fontes sismogénicas já referidas e, com base em métodos determinísticos e probabilistas, definiu as seguintes acelerações máximas para a região de Lisboa:

Sismos	Magnitude adoptada	Distância epicentral (km)	Lei de atenuação	Aceleração máxima (cm.s ⁻²)	Período de retorno (anos)
Intraplacas	7.5	< 25	OLIVEIRA, 1977	166	1000
				341	10000
	7.5	< 25	SABETTA & PUGLIESE, 1987 in MINEIRO, 1999	238	1000
				296	10000
Interplacas	8.5	360	MINEIRO, 1999	103	1000
				136	10000
	9.0		MINEIRO, 1999	138	1000
				182	10000

6.2 Movimentos de Terrenos e Fenómenos de Erosão

A carta digital de inventário de movimentos de terrenos e fenómenos de erosão (Fig. V.18) foi elaborada com base em trabalhos de LAMAS (1989,1998), e LARANJEIRA *et al.* (1996), complementada com informações obtidas durante os trabalhos de campo



realizados pela autora, em especial para a faixa da Arriba Fóssil situada a sul do IC 20 até ao limite meridional do concelho, na zona da Mina de Oiro, bem como para o interior. Na zona compreendida entre a Descida das Vacas e a laguna de Albufeira, existia uma cartografia prévia (RODRIGUES-CARVALHO *et al.*, 1991), que foi refeita por existirem discrepâncias significativas entre a base topográfica de referência e a utilizada naquele trabalho (levantamento aerofotogramétrico de 1976) para o rebordo e o sopé da vertente litoral.

Os movimentos de terrenos ao longo da margem sul do Tejo têm sido objecto de um conjunto de estudos decerto incentivados por algumas ocorrências catastróficas, a partir da década de sessenta, que provocaram vítimas mortais e/ou elevados prejuízos materiais. As principais entidades envolvidas na condução de tais estudos foram o LNEC, a PROFABRIL, a TEIXEIRA DUARTE e, mais recentemente, a FCT/UNL, nomeadamente através de um conjunto de trabalhos de investigação sob a responsabilidade de J.A. RODRIGUES-CARVALHO, incluindo duas teses de LAMAS (1989, 1998). No mais recente deles, apresenta-se uma revisão histórica de tais trabalhos e apresentam-se novas considerações sobre os mecanismos de instabilização (*op. cit.*, 1998). Os principais tipos de movimentos de terrenos detectados são:

1. **Escorregamentos** de tipo **rotacional**, singulares ou sucessivos, ou de tipo **planar**, em geral pouco profundos, que se instalam essencialmente nas vertentes dos vales.
2. **Escorregamentos de crista**, envolvendo volumes relativamente pequenos, especialmente nos degraus de escarpas que se estendem a meia encosta ao longo dos vales mais importantes, bem como os **escorregamentos de sopé** no fundo dos vales. Recentemente, um escorregamento de crista esteve na origem de duas vítimas mortais em Porto Brandão (LARANJEIRA *et al.*, 1996).
3. **Escorregamentos de detritos**, superficiais, envolvendo coluviões pouco espessos e/ou a camada superior mais alterada dos terrenos miocénicos expostos em taludes mais declivosos.
4. **Quedas de blocos e desmoronamentos** de painéis rochosos, geralmente a partir dos degraus das escarpas que atingem maior altura.
5. **Fluência** em algumas vertentes, que se tem vindo a desenrolar ao longo de várias décadas.
6. **Fluxos de terras**, que se desenvolvem, em regra, em áreas susceptíveis a escorregamentos e que, devido à presença de excesso de água nos terrenos envolvidos, se comportam como um líquido viscoso.

Os diversos movimentos de terrenos que foram inventaridos para a frente norte e poente do Município de Almada, embora resultem de fenómenos naturais em curso na região, foram em grande parte devidos a períodos de chuva particularmente intensa. Por outro lado e na maior parte dos casos, tais movimentos são acelerados pelas actividades antrópicas que se têm vindo a desenvolver nas áreas afectadas, de que são exemplo várias intervenções no sopé das escarpas com o alargamento, para o interior, das zonas

utilizáveis tanto para fins industriais como habitacionais, e outras em alguns dos vales mais importantes que desembocam junto de instalações fabris ou comerciais. Destas intervenções resultaram profundas modificações no meio envolvente, nomeadamente por alteração da topografia original ou perturbação da drenagem, tanto superficial como profunda.

A análise da informação que integra o SIGEO-ALMADA permite retirar algumas conclusões interessantes, que se apresentam em seguida. Dos cerca de cento e noventa movimentos de terrenos incluídos na BD, 65% foram interpretados em estudos fotogeológicos, 22% foram observados, 3% foram datados com base em testemunhos e os restantes 10% foram observados no terreno e, simultaneamente, verificada a sua distribuição em área em estudos fotogeológicos. Mais de metade foram considerados, presentemente, como inactivos (58%), 9% encontram-se estabilizados por obras de engenharia e 22% foram considerados como suspensos, isto é, poderão ser reactivados mediante, por exemplo, condições meteorológicas excepcionais; apenas 5% foram considerados como activos (áreas em fluência). Neste último caso e na maioria das ocorrências, é difícil datar com precisão o início do fenómeno.

A distribuição dos eventos em função da data/intervalo de anos estimado para a respectiva ocorrência (Fig. V.19), permite verificar que as invernias de 1962/63 e 1963/64, a que corresponderam pluviosidades médias anuais entre 1000 mm e 1250 mm na estação de Lisboa - Instituto Geofísico Infante D. Luís (LAMAS, 1998), foram responsáveis por inúmeros movimentos de terrenos, em especial queda de blocos (vinte e três ocorrências) e escorregamentos de magnitudes diversas (dezoito). Mais recentemente, no decorrer da invernia de 1995/96 verificou-se novo importante episódio de movimentos de terrenos, também em consequência de precipitações anormalmente elevadas, tendo desta vez assumido a primazia os escorregamentos (nove eventos) e acessoriamente as quedas de blocos (cinco), logo seguidos pelos desmoronamentos por lasqueamento já no trecho da Arriba Fóssil entre a Trafaria e o IC 20.

Os escorregamentos observados no trecho da arriba fóssil situados a sul do IC 20 ou nas margens da ribeira da Foz do Rego correspondem a movimentos do tipo rotacional, consequência dos terrenos, essencialmente siltosos, afectados.

A deficiente cobertura aerofotográfica disponível para as décadas de trinta a sessenta, de escala média, sobre o trecho da Arriba Fóssil a sul do IC 20, impossibilitou que se efectuasse uma datação mais precisa dos anos de ocorrência para os movimentos de massas naquele trecho, ao contrário do que se passou para a vertente norte do concelho. Os elementos de movimentos sem datação que existem na BD (4,2% do total), ou dados mais pormenorizados incompletos, dizem todos respeito a este sector ou, inclusive, às vertentes que ladeiam a Ribeira da Foz do Rego.

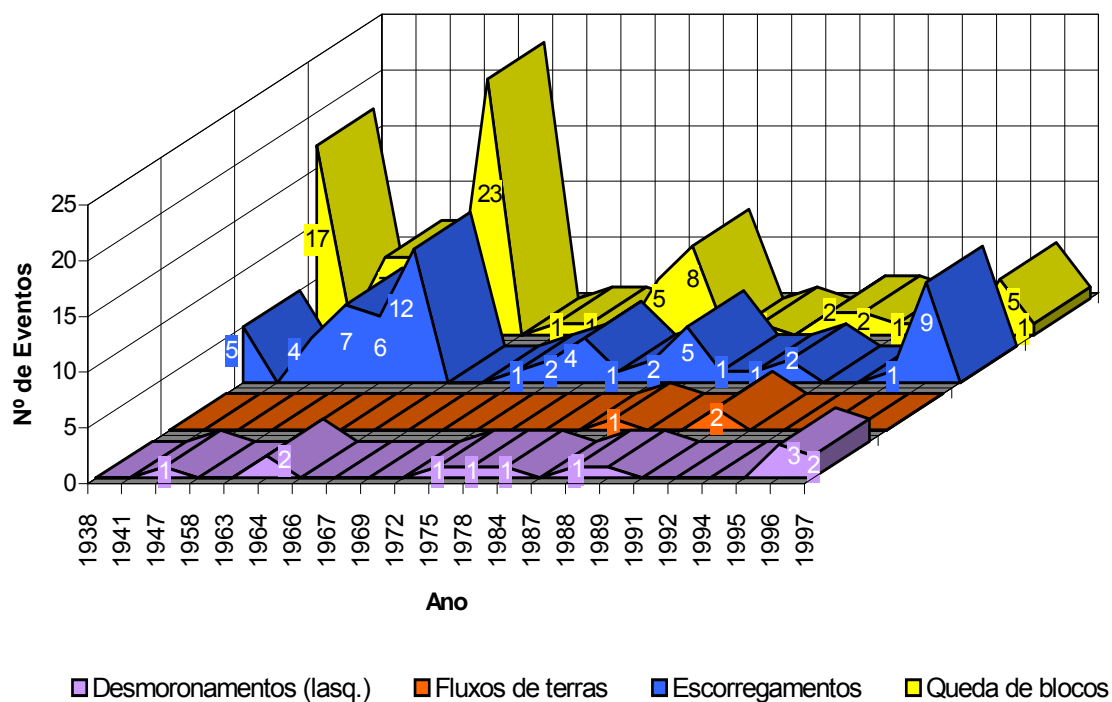


Figura V.19 - Distribuição dos movimentos de terrenos inventariados no concelho de Almada em função da data estimada/inventariada da ocorrência.

No que respeita aos **fenómenos de erosão**, pelo menos 56% do total das áreas cartografadas são afectadas por processos de erosão de tipo continental, que englobam arregueiramentos, ravinamentos e abarrancamentos (Figura V.20). Em alguns locais, como a Ribeira da Foz do Rego, verifica-se que depósitos de cones de dejectão são igualmente afectados por ravinamentos acentuados.

A Arriba Fóssil evolui por desmoronamentos e escorregamentos até às proximidades da Ribeira da Foz do Rego e por abarrancamentos generalizados (Fig. V.21) no restante trecho para sul. Estes, para além de constituírem a principal forma de evolução geomorfológica na arriba, afectando principalmente o conjunto inferior, mais grosseiro (Fig. V.22), são ainda factor determinante no desencadear da maioria dos desmoronamentos que ocorrem na arriba, contribuindo assim para a instabilização ao longo de todo o seu perfil até ao limite meridional do concelho.

Detectaram-se ainda fluxos de terras associados a alguns cones de dejectão, também resultantes da erosão por abarrancamento da vertente, e que estão estreitamente relacionados com épocas de maior pluviosidade; são geralmente constituídos por areias englobadas numa matriz argilosa, fluida.

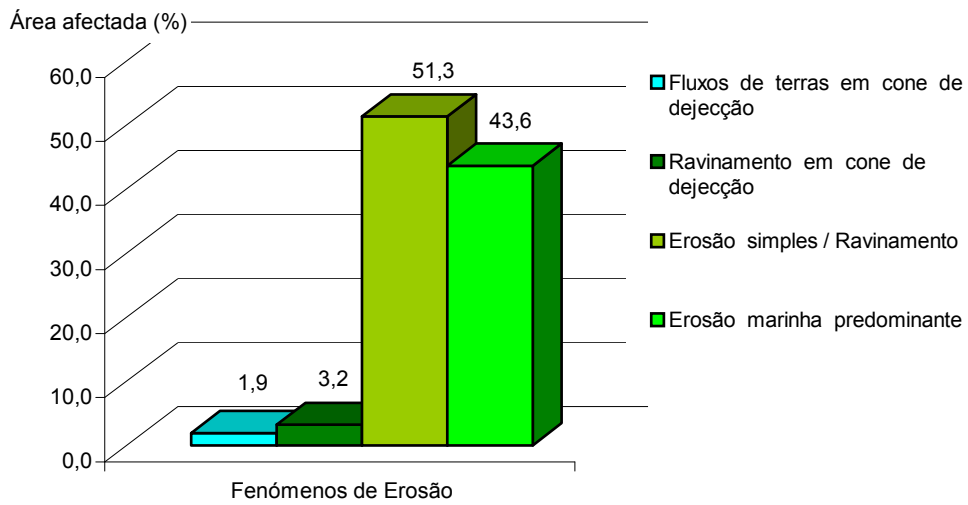


Figura V.20 - Distribuição dos fenómenos de erosão inventariados no concelho de Almada em termos da proporção de área afectada (percentagem).



Figura V.21 - Abarrancamento generalizado na Arriba Fóssil, a norte da Mina de Ouro.



Figura V.22 - Erosão por ravinamento com evolução remontante por lasqueamento, na Arriba Fóssil a sul da Fonte da Telha.

A natureza friável dos materiais plio-quadernários que constituem a maior parte do rebordo superior da arriba fóssil e, pontualmente, a fraca percentagem de carbonatos (ou até a descarbonatação) de alguns trechos esculpido nos terrenos miocénicos, tornam-nos susceptíveis a fenómenos de erosão simples, provocados pelos agentes subaéreos que atacam o perfil da vertente litoral a que, muitas vezes, se associa um certo desmoronamento por lasqueamento de blocos mais resistentes deixados em ligeira consola (Fig. V.22). A constituição mista, em termos de resistência à erosão, dos terrenos que constituem a arriba, faz com que, nalguns sectores analisados, se verifique a existência de um “degrau intermédio”.

A monotonia da Arriba Fóssil é quebrada junto ao limite sul do concelho por um entalhe conhecido como Mina de Ouro (Fig. V.21), resultante de um abarrancamento mais intenso e de maiores proporções dos terrenos areno-argilosos que ali constituem a arriba. Este abarrancamento resulta da evolução, para montante, do aprofundamento e alargamento contínuo das ravinas que ali existem, acabando aquele por deixar alguns blocos isolados esculpido nos terrenos arenosos. Nalguns locais as dunas que recobrem o rebordo da arriba já foram atingidas. A jusante dos abarrancamentos mais importantes formam-se cones de dejectão, assinalados na Fig. V.18.

Para a cabeceira dos barrancos existentes no trecho da Arriba imediatamente a Sul do limite entre os concelhos de Almada e Sesimbra, SOBREIRA (1995) menciona um recuo local médio de 3-8 m por ano e máximo de 14 m (zona dos Olhos de Água). Saliente-se que se trata de um trecho também fustigado pela erosão marinha.

A erosão marinha corresponde a 44% dos fenómenos de erosão inventariados e faz-se sentir em toda a costa atlântica; no entanto, ela ultrapassa largamente a acumulação de sedimentos móveis no extremo noroeste, entre a Cova do Vapor e as praias da Costa de Caparica e, novamente, no extremo sul, a partir da Mina de Oiro. Estes fenómenos acentuaram-se especialmente no último triénio e dever-se-ão essencialmente a dois factores principais:

- Degradação antropogénica das estruturas costeiras naturais, nomeadamente da anteduna;
- Obras de engenharia costeira implantadas no local (esporões e diques de enrocamento longilitorais) a fim de proteger praias e edificações implantadas demasiado próximo da linha de costa, nas décadas de 60/70, ou para proteger as dunas remanescentes de S. João da Caparica.

Acessoriamente, a diminuição da quantidade de sedimentos fornecidos ao litoral pelo Tejo devido a barragens e a dragagem de areias, terão igualmente contribuído para a progressão dos fenómenos de erosão (OLIVEIRA, 1967; FREIRE, 1989; DIAS, 1990).

A análise de fotografia aérea de grande escala obtida durante a década de noventa, permitiu verificar que, junto dos esporões, havia acumulação de areia do lado norte e a continuação do incremento da erosão na face virada a sul (Fig. V.23). No final do Inverno, a zona a norte apresentava-se colmatada com areia, não se tendo verificado nos últimos anos reforço do enrocamento. TEIXEIRA (1990) refere que as praias a Norte do arco da Caparica são dissipativas e carentes de sedimento, incapazes de repor convenientemente o seu perfil; esta ocorrência verifica-se especialmente a norte da praia da Saúde.

A destruição do cordão dunar primário, devido à intensa ocupação urbana, facilita a erosão e impede que haja reposição de sedimentos na alta praia, reforço fundamental contra o aumento da erosão marinha. Os cones de dejectão que se detectaram na metade sul do concelho fornecem à praia material sedimentar que é proveniente da vertente e plataforma litorais, ajudando à sua alimentação. Apenas a sul da Mina de Oiro é que a arriba passa a ser viva, sendo atingida pelo mar em alturas de temporal e marés vivas.



a)



b)

Figura V.23 - Esporões transversais na Costa de Caparica e exemplo da interferência no transporte costeiro no final da década de noventa: **a)** Sedimentação a norte; **b)** Erosão a sul.

7. CARTA DE DOCUMENTAÇÃO

7.1 Inventário de Dados Geológicos e Geotécnicos

Na tabela PERFIL_VERTICAL, já descrita em IV.4, incluem-se setecentos e cinco registos de dados pontuais de informação (furos de pesquisa/captação, locais de amostragem,

poços, sondagens de furação, trincheiras e valas), recolhidos em estudos hidrogeológicos ou geológicos e geotécnicos ou obtidos no desenrolar do presente trabalho. Todos os elementos pontuais registados na BD e apresentados apostos à carta de unidades geotécnicas incluída no Anexo IV na escala 1:10 000, possuem coordenadas cartográficas e, a maioria deles, cota com erro inferior a 1 m. Nos dados recolhidos, apenas num ponto de colheita de amostra em trincheira (**2232**) se obteve uma cota com erro entre 1 e 5 m. A principal dificuldade na avaliação de cotas surgiu, em regra, junto ao rio Tejo, nos relatórios em que a altitude se encontrava referida ao zero do plano hidrográfico do Porto de Lisboa, ou seja, referenciada ao marégrafo do antigo Arsenal da Marinha, junto à Praça do Comércio em Lisboa.

No total, nas tabelas METADADOS_SONDAGEM, METADADOS_OBS_DIRECTA e METADADOS_FURO, descritas no subcapítulo III.4, encontram-se registos de, respectivamente, quatrocentas sondagens de furação, duzentos e setenta e oito pontos de observação directa dos terrenos (dos quais 49% foram obtidos no presente estudo) e vinte e sete furos de pesquisa/captação de água.

A informação referente às sondagens de furação distribui-se por um amplo intervalo de tempo, com especial incidência para os últimos 10 anos do século XX (Fig. V.24). A maioria das sondagens (69%) foi efectuada à percussão (Fig. V.25) e duzentas e três (51 %) intersectaram o nível freático notando-se, em pelo menos duas delas (**1179** e **1180**), influência do nível da maré.

À maioria das sondagens está associado um total de três mil trezentos e vinte e nove registos de ensaios SPT que foram executados em regra de 1,5 m em 1,5 m e, noutros casos, de metro a metro nos primeiros metros de furação, podendo a seguir tornar-se mais espaçados, atingindo 2 m.

Na tabela LAB_SOLOS, descrita no subcapítulo III.4, da BD **AlfaGEO** incluem-se os resultados de ensaios de identificação de quatrocentos e noventa e oito amostras, das quais apenas três dezenas se encontram incompletas, isto é, não possuem elementos completos da distribuição das fracções granulométricas (grossos e finos) ou da plasticidade. Contudo, optou-se por incluí-los na BD, na medida em que se trata essencialmente de amostras indeformadas para as quais há registos de ensaios de caracterização mecânica. A tabela LAB_ROCHA inclui 115 registos de resultados de ensaios de compressão uniaxial que correspondem a um total de duzentos e vinte e um provetes de solos rijos ou de rochas biocalcareníicas.

Todos os registos que incluem as tabelas SOLO_PROCTOR e SOLO_CBR dizem respeito a resultados compilados de relatórios existentes.

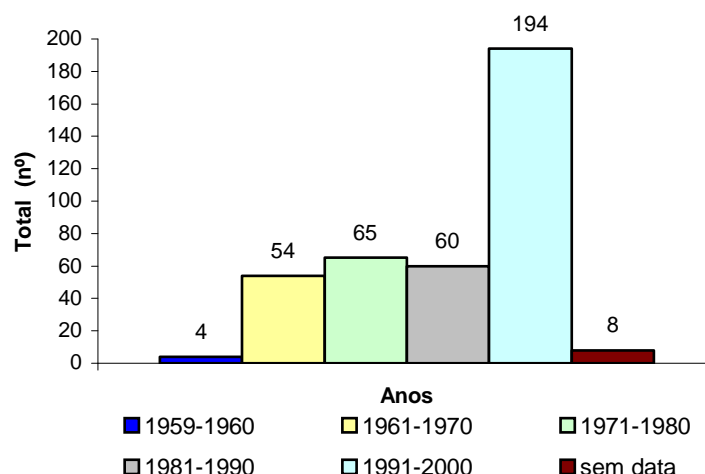


Figura V.24 - Distribuição das sondagens de furação incluídas na BD de acordo com as datas em que foram executadas.

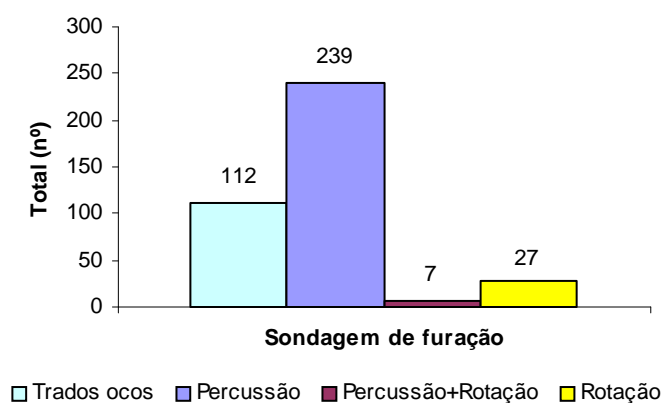


Figura V.25 - Distribuição das sondagens contempladas na BD em função do tipo de furação.

7.2 Inventário de Dados de Pesquisa e Captação de Água

No passado, o fornecimento de água à vila e termos de Almada era efectuado a partir de algumas nascentes naturais, poços, minas ou fontes. A maioria das águas brotava das arribas e barrocas.

Junto ao sopé da escarpa do miradouro Luís Queirós, junto ao Tejo, a Fonte de Pipa viu construído um chafariz em 1736 para aproveitar uma nascente natural de grande caudal. Em 1922 foi instalado um motor a gás que punha em funcionamento um gerador

eléctrico para bombear a água até um depósito no Campo de S. Paulo e, dali, alimentar outros fontanários e chafarizes em Almada. A produção de água na época era da ordem de 200 m³/dia (FLORES & CANHÃO, 1994). Cerca dos anos 30, a água começou a ser insuficiente face às necessidades.

Na zona da Quinta do Pombal, existiu uma mina de água que, durante mais de 600 anos, abasteceu a zona envolvente. As duas fontes anteriores, juntamente com a Biquinha do Alfeite e a fonte de Nossa Senhora da Rosa, constituíam os fontanários mais antigos do Termo de Almada.

A água do Chafariz de Cacilhas provinha de uma nascente ou mina aberta no Ginjal, que nos anos 40 sofre uma intrusão salina das águas do Tejo, deixando de fornecer água potável (*ib.*).

No século XX, evoluiu-se para um sistema de prospecção e captações em diversas zonas do concelho e no do Seixal, construção de estações elevatórias e centrais de água e reservatórios, bem como da respectiva rede de adução e distribuição.

O abastecimento de Almada data de 1893, embora só em 1941 se começasse a estender a todo o concelho; contudo a maioria dos furos viria a situar-se no concelho do Seixal - Quinta da Bomba (Pliocénico, artesianismo repuxante) ou na Quinta do Niza (Miocénico).

Um furo na Sobreda (furo TD1), realizado em 1953, com cerca de 280 m de profundidade produziu um caudal de 18 l/s com rebaixamento de 3,9 m e um nível hidrostático a +3,45 m (TEIXEIRA DUARTE, 1955). Na década de cinquenta, investigaram-se ainda outras áreas no concelho de Almada - Vale da Rosa na Caparica (furo JK6) e mais dois furos na Quinta do Niza, a nascente da Sobreda, já no concelho vizinho do Seixal. O furo de Vale da Rosa veio a revelar-se improdutivo (*ib.*).

No final daquela década e nas seguintes, dada a proximidade da maioria das captações em funcionamento, em especial na Quinta da Bomba, houve necessidade de procurar novas áreas, atingindo cada vez maiores profundidades (caso dos furos AC8 e AC9 na Charneca da Caparica). Até à actualidade, a grande maioria dos novos furos de captação viriam a situar-se no concelho de Seixal, tendo contudo vindo a deslocar-se progressivamente para sul, em direcção a Vale de Milhaços. Os furos da Quinta do Niza foram substituídos no final da década de 60, por apresentarem todos um teor em cloretos anormalmente elevado (contaminação por intrusão marinha).

Nas captações efectuadas por outras entidades, uma referência ao abastecimento da água à Base Naval do Alfeite que, na década de 40, esteve na origem de alguns

estudos desenvolvidos por P. Teixeira DUARTE (1941,1942). Para além destas, outras entidades sediadas no concelho recorreram à execução de furos de captação no século passado para obterem água, essencialmente para regadio, como é o caso da Urbanizadora da Praia do Sol, em S. João da Caparica, da SORECREIO, em Brielas, da Herdade da Aroeira, na Aroeira, ou da Faculdade de Ciências e Tecnologia, no Monte de Caparica, entre muitas outras. Complementarmente, diversos habitantes do concelho tiveram atitude semelhante e também eles requereram a execução de diversos furos. Contudo, saliente-se que estes últimos, na ordem de centenas, têm geralmente em comum o facto de recorrerem a executantes de capacidade técnica discutível, na maior parte dos casos, pelo que apenas um número restrito pode fornecer informação fiável ou não conter imprecisões significativas.

Dos vinte e sete registos de furos de pesquisa de água inseridos no SIGEO-ALMADA (Fig. V.7), vinte e quatro foram transformadas em captações, que constituem apenas uma pequena fracção das que efectivamente se encontram em exploração no concelho. Os furos incluídos foram seleccionados de um conjunto muito mais amplo com base nos critérios a seguir discriminados:

- serem furos cujas localizações são conhecidas com uma margem de erro inferior a 50 metros;
- situarem-se dentro dos limites administrativos do Município;
- considerar-se que a informação litológica do registo do furo não contém imprecisões significativas;
- existir informação relativa à captação, nomeadamente posições dos drenos e/ou níveis hidráulicos.

Analisando os elementos constantes dos registos associados às captações, verifica-se que a profundidade média atingida é de cerca de 165 m, com um valor mínimo de 50 m e máximo de 540 m. As captações exploram maioritariamente o Miocénico e, de acordo com os relatórios, para fins quase exclusivamente agrícolas. Os caudais específicos (caudal bombeado dividido pelo correspondente rebaixamento do nível de água no furo) são em regra inferiores a 0,5 l/s.m, confirmando as observações de SIMÕES (1998) para o Miocénico na Península de Setúbal.

Do ponto de vista hidrogeológico, a área estudada situa-se no sistema aquífero multicamada do Cenozóico do Baixo Tejo, que se pode considerar ter comportamento semiconfinado (SIMÕES, 1998).

As explorações são feitas na subunidade do Miocénico que é composta por depósitos areníticos a calcareníticos, que alternam com dois níveis argiloso-margosos importantes: um superior, correspondendo grosseiramente ao conjunto “Argilas azuis de Xabregas” e “Calcários de Marvila” e, um outro, profundo, que corresponderá em parte às “Areias da Quinta do Bacalhau”, e às “Argilas Azuis do Areeiro”.

A subunidade aquífera Pliocénica é pouco explorada, correspondendo a depósitos predominantemente arenosos, às vezes areno-argilosos, e com raras intercalações argilosas. De acordo com SIMÕES (*op. cit.*), as duas subunidades separam-se bem com base na composição química das águas subterrâneas ocorrentes em cada uma.

Possui-se um número diminuto de resultados de análises químicas das águas captadas, apenas sete, todos eles com mais de um quarto de século, pelo que se considerou irrelevante analisá-los.

VI. CARTAS GEOTÉCNICAS DERIVADAS E DE SÍNTESE

1. INTRODUÇÃO

A informação armazenada no Sistema de Informação Geo-Almada (SIGEO-ALMADA), a partir da qual se produziu e apresentou um conjunto de cartas incluídas no capítulo anterior, permite ainda derivar dessa mesma base, através de operações de interrogação, manipulação e análise espacial, diversas cartas digitais. Neste trabalho, não se pretendeu cobrir a generalidade das cartas que, em termos do seu conteúdo, podem ser obtidas, mas elaborar apenas as mais frequentes, testando assim a funcionalidade de obtenção de algumas cartas geotécnicas digitais num SIG. A análise da informação digital em ambiente SIG foi efectuada recorrendo a algumas das ferramentas descritas em IV (Quadro IV.6) e disponibilizadas pela versão 4.0 de GEOMEDIA PROFESSIONAL[®] utilizada.

Um dos primeiros mapas a derivar, através de diversas interrogações à base, foi o das unidades geotécnicas (litogenéticas). A combinação da carta litológica digital com a informação relativa aos declives médios do terreno permitiu obter, mediante diferentes análises, outras duas cartas: uma de susceptibilidade aos movimentos de terrenos, outra de erosão potencial. Os resultados obtidos foram aferidos por confronto directo, em computador, com as cartas de inventário entretanto já realizadas (subcapítulo V.6.2). A avaliação da erodibilidade não considerou, quer o tipo de cobertura vegetal ou de ocupação urbana, quer a pluviosidade média e/ou comprimento médio do talude. De facto, apenas a disponibilidade destes últimos elementos enunciados permitiria obter o traçado de uma verdadeira carta de erosão.

Finalmente, o cruzamento, devidamente ponderado, das cartas temáticas de declives, de unidades geotécnicas, de susceptibilidade aos movimentos de terrenos e de erosão potencial, permitiu obter um zonamento geotécnico que refere as principais restrições geológicas e geotécnicas à construção na área do concelho em estudo.

A metodologia adoptada para obter cada um destes mapas digitais, bem como a descrição das diferentes unidades definidas para o território de Almada, serão apresentadas em seguida.

2. CARTA DE UNIDADES GEOTÉCNICAS

2.1 Metodologia Adoptada

As diferentes unidades geotécnicas individualizadas (Quadro VI.1), são a seguir analisadas tendo em conta aspectos geométricos, físicos, mecânicos ou hidrogeológicos

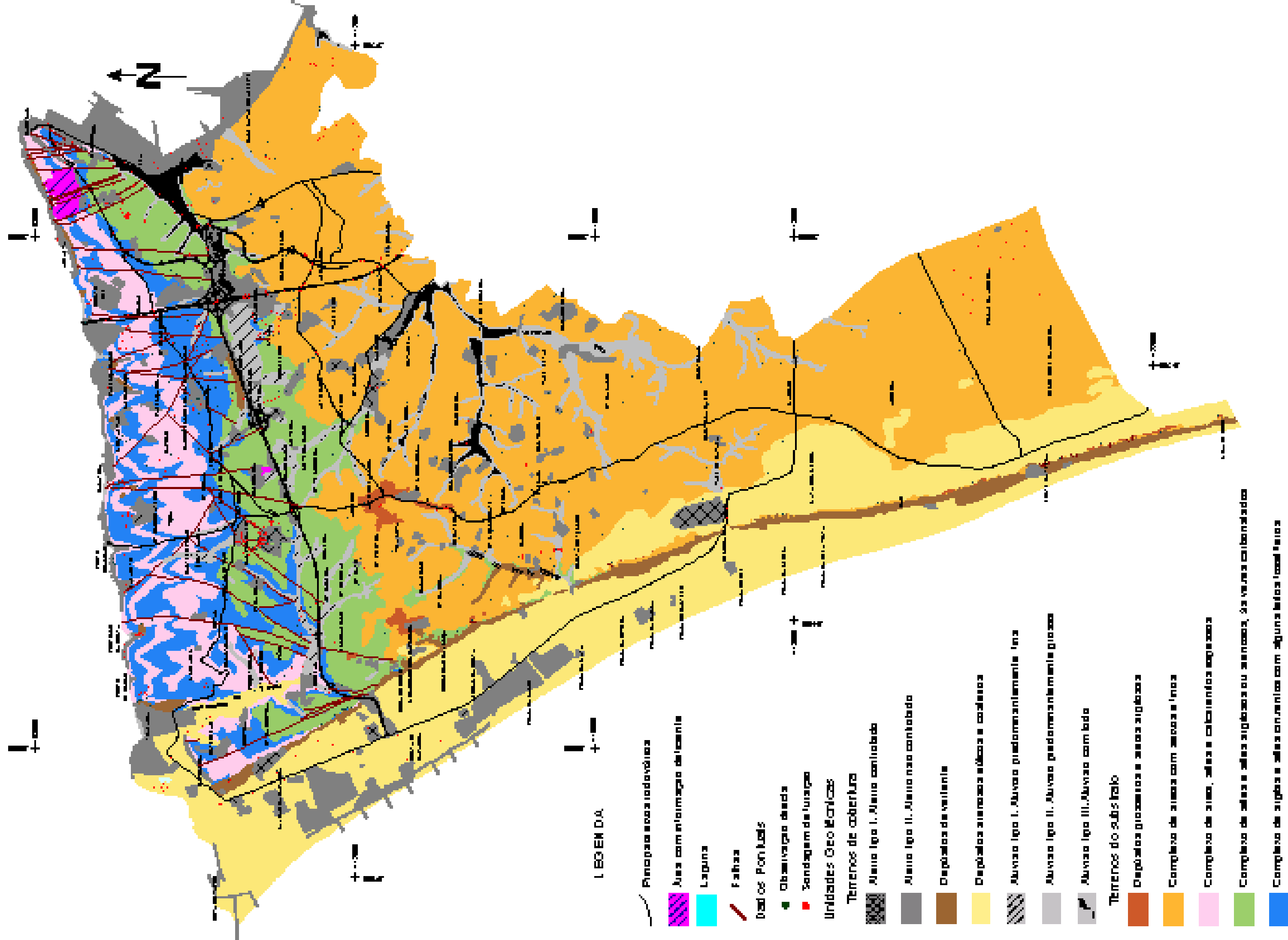
característicos de cada uma. Estas mesmas unidades encontram-se representadas na carta de unidades geotécnicas, apresentada em anexo na escala 1:10 000 (Anexo IV) e no corpo deste trabalho na escala 1:50 000 (Fig. VI.1). Aposto a elas encontram-se assinaladas as localizações dos dados pontuais que integram o SIGEO-ALMADA e auxiliaram a respectiva caracterização.

Quadro VI.1 – Listagem das unidades geotécnicas definidas no concelho de Almada.

	Complexo Litológico	Área do concelho (%)	Tipo Litológico
Terrenos de cobertura	Depósitos de aterro	8	Aterro tipo I: Aterro controlado Aterro tipo II: Aterro não controlado
	Depósitos de vertente	2	
	Depósitos arenosos eólicos ou costeiros	20	
	Depósitos de aluvião	5	Aluvião tipo I: Aluvião predominantemente fina Aluvião tipo II: Aluvião predominantemente grossa Aluvião tipo III: Aluvião com lodo
Terrenos do substrato	Depósitos grosseiros de seixos e areias argilosas		
	Complexo de areias com seixos e finos	42	
	Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos	5	
	Complexo de siltes e siltes argilosos ou arenosos, às vezes carbonatados	9	
	Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos	9	

É importante assinalar que a heterogeneidade lateral das formações geológicas ocorrentes, quer mio-pliocénicas, quer dos terrenos de cobertura, quaternários, faz com que numa mesma unidade estejam agrupadas litologias diferentes, às vezes com comportamento geotécnico contrastante, pelo que se deu prioridade à caracterização do comportamento da litologia dominante. Contudo, deve considerar-se que as outras litologias englobadas na unidade podem, localmente, tornar-se dominantes.

Para cada unidade geotécnica apresentada em seguida, é descrito um conjunto padrão de características, cujo pormenor depende das informações obtidas sobre essa unidade complementado, eventual e acessoriamente, por outros elementos disponíveis julgados de interesse.



LEOBEN D.A.

Principales eozóicas rochas

Áreas com intrusão de ígneas

Laguna

Falhas

Dados PnK local

Observação de campo

Sondagem de litologia

Unidades Geo-Morfológicas

Terrenos de cobertura

Aluvão lgo I. Aluvão consolidado

Aluvão lgo II. Aluvão não consolidado

Depósitos de ventilação

Depósitos aluviais eólicos e colapsos

Aluvão lgo I. Aluvão predominantemente ígneos

Aluvão lgo II. Aluvão predominantemente granitos

Aluvão lgo III. Aluvão com todo

Terrenos do subsolo

Depósitos graníticos e areias argilosas

Complexo de areias com areias e ígneas

Complexo de areias, siltes e calcários argilosos

Complexo de siltes e areias argilosas ou arenosas, às vezes consolidadas

Complexo de argilas e siltes consolidados com alguns leitos locais arenos

Sempre que se cita algum dado pontual ou amostra de terreno incluídos no SIGEO-ALMADA, procede-se à sua identificação, a negrito, através da designação unívoca com que se encontra armazenado na BD e que consta apenas do seu **ID_Perfil** (por exemplo, **1332**), ou deste seguido do respectivo número da amostra (por exemplo, naquele ponto para a amostra com **ID_Amostra 1**, surgirá a indicação **1332_1**).

Para a elaboração automática desta carta digital a partir dos elementos disponíveis no SIGEO-ALMADA foram realizadas diversas interrogações à base. Através de diferentes manipulações das tabelas e mapas digitais apresentadas nos capítulos precedentes, conseguiu-se efectuar a análise e correlação entre observações pontuais (por exemplo, dados relativos à colheita de amostras e resultados de seus ensaios em laboratório) e a litologia interessada (área superficial ou subsuperficial) e obter um novo conjunto de informações - as unidades geotécnicas. A caracterização destas unidades resultou de pesquisas sobre a informação pontual quantitativa que incluiu, por exemplo:

- a distribuição de dados contidos num certo intervalo numérico (por exemplo, penetrações totais de ensaios SPT entre 16 e 44 centímetros, ou seja, as negas obtidas na segunda fase do ensaio, ou ainda as que eram inferiores a 16 centímetros, correspondendo a negas na primeira fase do ensaio);
- a definição dos valores estatísticos de um certo parâmetro (por exemplo, percentagem de finos) numa determinada unidade; algumas vezes esta análise foi ainda complementada recorrendo a outros *software*, como o EXCEL[®].

Pese embora existirem valores dos ensaios SPT que respeitam a um leque temporal de algumas dezenas de anos, eventuais diferenças que ocorram nos resultados para uma mesma unidade, numa mesma área, deverão relacionar-se mais com diferentes técnicas de execução do ensaio, do que numa variação das características dos terrenos devidas, por exemplo, a meteorização. Exceptuam-se, naturalmente, os casos de ensaios em zonas tectonizadas, situadas nas imediações de falhas, ou em zonas mais descomprimidas em encostas.

Nos ensaios SPT tratados a partir da informação recolhida e à semelhança de LAMAS (1998), as únicas correcções que foram efectuadas aos valores de N (SPT) foram as devidas às perdas de energia resultantes do tipo de equipamento utilizado (dispositivo de corda e roldana para elevar e largar o pilão ou de disparo automático). Optou-se por analisar, em cada unidade geotécnica, os valores de N obtidos para as gamas de profundidades inferior a 4 m, de 4 m a 6 m, de 6 m a 10 m e superiores a 10 m, não se tendo efectuado qualquer correcção para o efeito de profundidade do ensaio.

Na aplicação da correcção para a perda de energia e tendo em conta a quase total ausência de elementos técnicos presentes nos relatórios, admitiu-se que, em quase

todas as empresas nacionais que efectuavam prospecção geotécnica, o sistema de cravação manual terá perdurado até o início da década de setenta; dali em diante, terá sido substituído pelo sistema de disparo automático. SKEMPTON (1986 *in* FOLQUE, 1987), propõe um factor de correcção de 0,75 para o equipamento corda e roldana. Esta correcção foi aplicada aos valores de N (SPT) compilados de relatórios podendo, por isso, os valores analisados para cada unidade anteriores a 1970 diferir dos que constam da BD.

Devido à grande heterogeneidade no número e valor dos registos de ensaios SPT para cada unidade geotécnica definida, optou-se pela utilização de um indicador de tendência central, neste caso o valor médio; em termos de apreciação, tais valores representam simplesmente uma indicação, para cada unidade, da compacidade/consistência média da unidade em referência para cada um dos horizontes de profundidade avaliados e não devem ser extrapolados para o estudo de sítios.

No final da caracterização geotécnica das diferentes unidades, a seguir apresentadas, desenvolveu-se uma nova tabela com informação que sintetiza as estabelecidas para cada unidade, e que se apresentam no Quadro VI.2, a fim de contemplar tais elementos alfanuméricos no SIGEO-ALMADA em estreita relação com a informação espacial e, assim, facilitar análises a partir destes novos atributos.

2.2 Caracterização das Unidades Geotécnicas

2.2.1 Terrenos de Cobertura

Depósitos de aterro

Constituição e Localização

Os depósitos de aterro disseminados pelo concelho de Almada apresentam composição e espessura muito heterogénea. Associados a alguns deles detectam-se, ainda, deposições pontuais de resíduos diversos, em regra decorrentes de vazamento de entulhos ou ainda de “monstros” (objectos volumosos como electrodomésticos, entre outros). A consulta da informação contida no SIGEO-ALMADA (capítulo V.4) permitiu individualizar, nestes depósitos, dois tipos: os **aterros controlados** e os **não controlados**.

A informação que serviu de base à caracterização dos Depósitos de aterro constou de cerca de noventa e dois dados pontuais que os intersectaram desde a superfície: dois furos hidrogeológicos (**3005** e **3018**), setenta e duas sondagens geotécnicas e dezoito

Quadro VI.2 - Unidades geotécnicas do concelho de Almada - Quadro resumo.

Unidade Geotécnica	Litologia mais frequente	N.º Pontos	n	Seixo (%)	Areia (%)	Finos (%)	IP (min/médio)	Unificada		AASHTO			Silte (%)	Argila (%)	Actividade de argilas (%)	w natural (%)	Peso volumico seco (kN.m ⁻³)	RCU (MPa)	N_SPT					Prof. Nível Água (m)	Espessura média/máx. (m)	Observações			
								símbolo	nome	casos (%)	grupo	casos (%)							IG	n	<4m	4-6m	6-10m				>10m		
Aterro tipo I: Aterro controlado	Depósitos de solos seleccionados, em regra de baixa plasticidade ou mesmo nula.	92	2	Variável	Variável	Variável	Variável	Variável	Variável	Variável	Variável	Variável			Variável				2					min=2,2 Máx=5,4	1,9/4,2				
Aterro tipo II: Aterro não controlado	Depósitos heterogêneos que podem conter resíduos diversos, inclusive "monstros".		2	Variável	Variável	Variável	Variável	Variável	Variável	Variável	Variável	Variável	Variável			Variável				179	9	12	14	-		3,1/11,8			
Depósitos de vertente	Depósitos de solos em regra finos, podendo conter blocos (terrenos miocénicos) ou seixos e calhaus (sopé de escarpas de terrenos plio-quadernários).	9	9	5	11	84	10	CL	Argila magra / Argila magra com areia	89	A-4 / A-6	44 / 44	6-10	min=61 Máx=89	min=6 Máx=11	Variável	min=20 Máx=30			43	8	7	6	-	Não detectado	4/7,5	N_SPT pode corresponder a pelo menos 60 pancadas, no caso do depósito conter blocos de material consolidado.		
Depósitos arenosos eólicos e costeiros	Areias médias a médias a finas, amarelas acastanhadas.	40	11	0	97	2	NP	SP	Areia mal graduada	82	A-3	91	0				min=2 Máx=22			180	19	28	37	54	min=1,0 Máx=10,5	9,1/22,8	Podem ocorrer restos de conchas actuais e raros seixos intercalados; junto à costa atlântica os níveis de água sofrem influência das marés.		
Aluvião tipo I: Aluvião predominantemente fina	Siltos ricos em matéria orgânica, geralmente arenosos.	40	14	1	20	79	NP / 12%	ML	Silte	50	A-4	71	5-8	min=48 Máx=55	min=7 Máx=25	Variável	min=17 Máx=24			114	11	11	14	15		3,7/13,5			
Aluvião tipo II: Aluvião predominantemente grossa	Areias médias a finas, em regra siltosas, ricas em matéria orgânica; surgem alguns leitos mais grosseiros, em especial na base das aluviões.		9	12	62	25	NP	SM	Areia siltosa	67	A-1-b	67	0				Variável	min=4 Máx=16			70	14	14	28	34	min=1,4 Máx=9	3,9/11,7	Nível de água subsuperficial no Inverno (< 1m); junto ao Tejo os níveis sofrem influência das marés. As aluviões lodosas apresentam um teor em água elevado e grande plasticidade.	
Aluvião tipo III: Aluvião com lodo	Solos grossos ou finos, lodosos.								Variável	Variável	Variável	Variável	Variável				Variável				53	8	8	8	12		4,6/14,2		
Depósitos grosseiros e areias argilosas	Solos grossos, contendo fracção importante de seixos com dimensão máxima de 10-13 cm, com matriz em regra areno-argilosa que pode tornar-se preponderante sobre o seixo.	9	5	17	64	14	NP	SM	Areia siltosa	40	A-2-4	40	0				Variável	min=1 Máx=9			0					Não detectado	-/5		
Complexo de areias com seixos e finos	85% de solos grossos, em regra de areias com misturas de seixos e/ou finos; os leitos argilosos, siltosos e de cascalheiras quando ocorrem são geralmente lenticulares.	210	171	12	60	26	NP / 19%	SM / SC	Areia siltosa e Areia argilosa	29 / 20	A-1-b/A-2-4	26 / 26	0	min=11 Máx=84 Média=57	min=4 Máx=15 Média=10	Muito Activas a Activas	min=0,4 Máx=23 Média=7	min=15 Máx=22 Média=18			615	37	44	51	54	min=1,0 Máx=15,5	-/>100		
Complexo de areias, siltes e calcarenitos espessos	Cerca de 50% dos solos são areias, arenitos ou calcarenitos fossilíferos, correspondendo a restante litologia a siltes ("areolas") e ainda a argilas, em regra arenosas.	49	27 / 51	6	59	29	NP / 15%	SM / SP-SM	Areia siltosa a Areia mal graduada siltosa	42 / 12	A-4 / A-2-4 / A-3	31 / 19 / 19	0-8/0/0			Variável	min=1 Máx=26 Média=9	min=16 Máx=20 Média=18	min=4 Máx=14 Média=8			206	35	42	45	54	min=4,7 Máx=12	-/>20	
Complexo de siltes e siltes argilosos, às vezes carbonatados	Siltos, secundados por argilas, a que se associam areias e arenitos; podem ocorrer ainda calcários fossilíferos, em regra pouco espessos.	127	123 / 73	3	20	79	NP / 13%	ML	Silte / Silte arenoso	53	A-4	61	0-8	min=50 Máx=80	min=9 Máx=27	Normal a Activas	min=1 Máx=30 Média=16	min=15 Máx=20 Média=18	min=0,2 Máx=11 Média=4			425	36	43	46	54	min=4,7 Máx=12	-/>50	
Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos	Siltos argilosos e argilas, em regra cinzentos; podem ainda ocorrer cerca de 20% de níveis arenosos ou bancadas de calcários argilosos fossilíferos, decimétricas.	130	126 / 106	3	8	84	16%	CL	Argila magra	55	A-6 / A-4	35 / 31	5-13/0-8	min=45 Máx=92 Média=82	min=7 Máx=31 Média=12	Normal a Activas	min=3 Máx=29 Média=22	min=15 Máx=19 Média=17	min=0,1/ 2,3 Máx=5/ 30 Média=1/12			594	22	28	38	51	min=2,5 Máx=19	-/>50	

pontos de observação directa do terreno. A caracterização geotécnica baseou-se apenas em quatro amostras ensaiadas em laboratório, duas pertencentes a aterros controlados e outras duas a não controlados, compiladas de relatórios consultados. Devido à heterogeneidade em função da localização dos depósitos e à metodologia de amostragem adoptada neste trabalho (amostragem superficial), não se efectuou nenhuma colheita de amostras nesta unidade geotécnica.

Condições Hidrogeológicas

Detectou-se o nível da água em vinte e quatro sondagens, quer nos aterros marginais do Tejo, manifestando influência das marés, quer nos aterros lançados nos terrenos do *campus* da FCT/UNL, na Quinta da Torre, em zonas aluvionares. Como seria de esperar, estes níveis encontravam-se a pequenas profundidades que variaram entre 2,2 m (**1329** e **1330**) e 5,4 m (**1179**), com um valor médio de 3,8 m e um desvio padrão de 1,4 m.

Aterro tipo I: Aterro controlado

Constituição e Localização

No concelho de Almada foram identificados vários aterros controlados associados a estruturas e infra-estruturas, com finalidades diversas, que incluíram desde aterros para fundações de estruturas/modelação de terrenos, como é o caso do da escola C+S em Santo António da Caparica, até terrenos para infra-estruturas viárias, como é o caso dos da auto-estrada do sul. Este conjunto de depósitos apresenta uma área total da ordem de 35 ha, representando 1% do território estudado. Desde a concretização da carta geotécnica aqui apresentada, novos aterros controlados foram entretanto construídos, salientando-se os do Almada Forum pelos volumes envolvidos.

Estes aterros foram construídos com materiais seleccionados provenientes em regra de escavações em terrenos limítrofes, pelo que a sua constituição é primariamente dependente das características de tais materiais.

Espessura

Os aterros controlados, apenas foram intersectados numa dúzia de sondagens e pontos de observação directa do terreno e as espessuras detectadas oscilaram entre 0,6 m (**1348** e **2062**) e um máximo de 4,2 m (**1124**) para um valor médio de 1,9 m e um desvio

padrão de 1,1 m. Quatro destes registos, correspondem a aterros no *campus* da FCT/UNL (1348, 1350, 2062 e 2063), que podem atingir 5-6 m de espessura, e as restantes sondagens atravessaram o corpo dos aterros da actual auto-estrada do sul, A 2, no desenrolar de estudos geotécnicos para o alargamento da plataforma.

Terra Vegetal

Em regra, os taludes desta unidade apresentam uma espessura de poucos decímetros de terra vegetal que os protegem contra a erosão.

Identificação

A título meramente informativo, apresentam-se os resultados disponíveis para duas amostras (1332_1 e 1331_2), correspondentes a solos do tipo ML, silte arenoso e silte com areia, da classificação unificada, e A-4 com índice de grupo de 7 e 8, respectivamente, na classificação AASHTO; nenhum exibiu plasticidade.

Características Mecânicas

Constituem depósitos cuja finalidade para que foram concebidos implica que apresentem consistência satisfatória desde a superfície, que de acordo com os escassos elementos disponíveis na BD pode ser rija (N = 38 e 39 pancadas). Tal característica deriva de serem materiais cuja colocação em obra foi devidamente controlada.

Estes depósitos são escaváveis por meios mecânicos correntes.

Aterro tipo II: Aterro não controlado

Constituição e Localização

A maioria dos depósitos de aterros cartografados corresponde ao que se convencionou designar por não controlados (ver subcapítulo V.4.3). Atingem uma área total de cerca de 498 ha, correspondendo a 7% da do concelho. Trata-se de aterros executados para diversas finalidades, desde preenchimento de escavações (caso da Quinta da Carcereira), passando por aterros hidráulicos (como os da Base Naval do Alfeite), ou para modelação de terrenos e suportes de estruturas (caso de um aterro na Sobreda imediatamente sobranceiro à escola C+S). No total foram identificadas cento e setenta e oito áreas de depósitos deste tipo variando entre 590 m² e 116 ha.

Como seria de esperar, a constituição destes aterros é mais heterogénea do que a da unidade anterior, encontrando-se:

- materiais explorados nas zonas envolventes às obras, mas cuja colocação não foi controlada (ex., os da Lisnave na Margueira, ou do Cristo Rei no Pragal, ou os aterros hidráulicos da Base Naval do Alfeite);
- terrenos provenientes do desmonte de escarpas miocénicas lançados sobre solos compressíveis, como é o caso dos aterros marginais junto ao Tejo ao longo do limite setentrional do concelho ou entre a Cova da Piedade e Cacilhas (EN10);
- materiais heterogéneos lançados constituídos por uma mistura de solos, blocos de rocha, matéria orgânica e raízes, resíduos de obras de construção civil, bem como outros resíduos sólidos diversos onde se incluem os denominados “monstros”.

São exemplos de locais ocupados por materiais deste último tipo, os que colmatam actualmente áreas de antigas extracções de solos grosseiros pliocénicos, dos quais o mais importante se situa na Quinta da Carcereira, e os que ocupam depressões naturais, como é o caso do aterro lançado de Alfanzina-Montalvão, sobranceiro ao rio Tejo, ou de um pequeno depósito de “monstros” no rebordo anterior à escarpa que limita o Onda Parque, em Brielas.

A análise da BD permite verificar que pelo menos cinco dezenas de registos de descrições de camadas desta unidade identificam a presença de resíduos diversos na constituição dos mesmos, tendo sete sondagens detectado pavimentos de infra-estruturas durante a furação.

De todas as situações detectadas, as que merecem especial referência, quer pelo volume, quer pelos materiais eventualmente tóxicos envolvidos (solos provenientes das obras da Expo 98 e aqui depositados), salientam-se o da Quinta da Carcereira e outro junto de uma estação da Galp, face à Quinta da Morgadinha, na via longitudinal 3. Não é demais salientar que aterros deste tipo sobre solos arenosos, com mistura de seixos e finos, poderão constituir, no futuro, um problema ambiental por migração de águas de infiltração em profundidade, até atingir o aquífero livre, pliocénico.

Espessura

As espessuras dos aterros não controlados em cento e noventa e cinco registos da BD variam entre 0,4 m (**1071**) e 11,8 m (**1168**); o valor médio ronda os 3,1 m para um desvio padrão elevado (2,6 m).

Terra Vegetal

A natureza desta unidade geotécnica torna-a propícia a apresentar matéria orgânica disseminada.

Identificação

A análise de duas amostras de solos pertencentes a este tipo de aterros, provenientes das instalações da ESSO, na Trafaria (1387_20 e 1389_8), não permitem que lhe seja atribuída classificação geotécnica, na medida em que só se possui informação sobre a sua plasticidade (Figura VI.2), que é baixa.

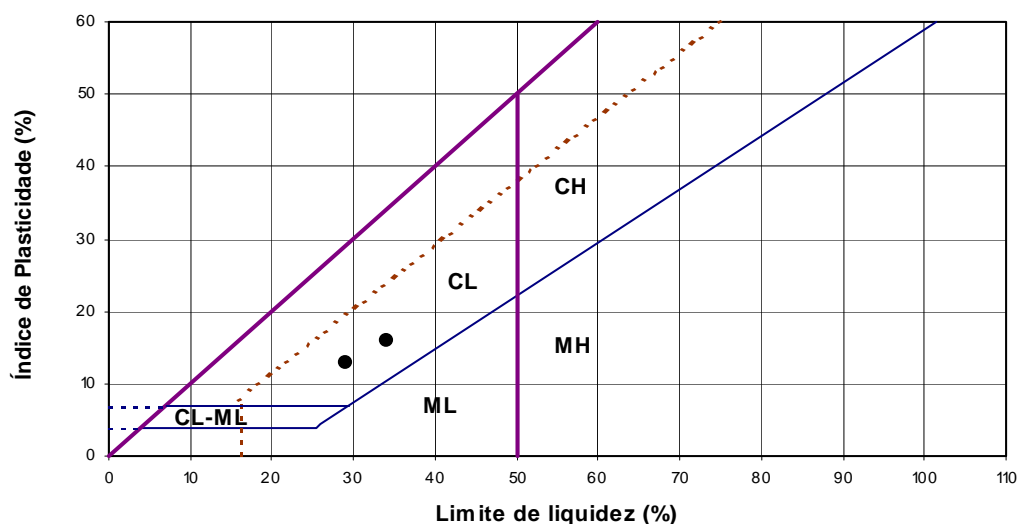


Figura VI.2 - Plasticidade das duas amostras contempladas no SIGHEO-ALMADA para os Aterros tipo II: Aterros não controlados (1387_20 e 1389_8).

Características Físicas

O peso volúmico seco determinado para as duas amostras atrás referidas, foi de 17,4 e 17,7 kN.m⁻³, sendo o teor em água natural de 20,9 % e 21,2 %, respectivamente.

Características Mecânicas

De acordo com os cento e setenta e nove registos avaliados (Fig.VI.3), os aterros não controlados constituídos predominantemente por solos grossos apresentam-se soltos a medianamente compactos até profundidades da ordem de 10 m mas, com frequência, ocorrem níveis muito soltos; inferiormente àquela profundidade, encontram-se apenas

medianamente compactos. A tendência geral é a de que a resistência à penetração dinâmica não aumenta significativamente com a profundidade. Os solos finos que compõem esta unidade exibem, a pequena profundidade e em cerca de 80% dos casos, consistência média ou são duros, enquanto que a profundidades intermédias (4 a 6 m) 90% dos solos distribuem-se quase equitativamente pela consistência média e dura a muito dura.

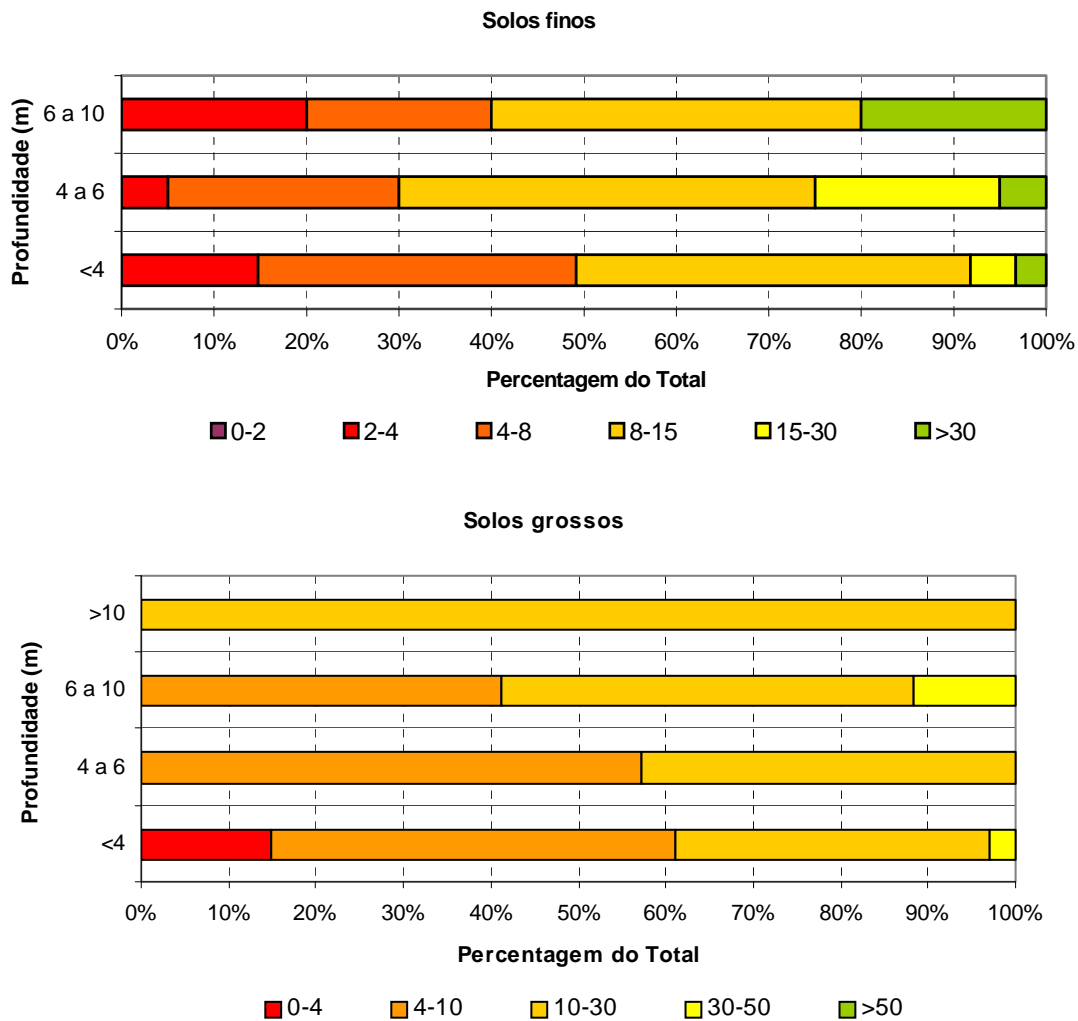


Figura VI.3 - Distribuição dos valores de ensaios SPT nos Aterros tipo II: Aterros não controlados, em função da profundidade.

Estes depósitos são escaváveis por meios mecânicos correntes; os taludes de escavação podem necessitar de entivação, devido à fraca cimentação dos materiais que os integram.

Depósitos de vertente

Constituição e Localização

A caracterização geotécnica desta unidade baseia-se, para além do reconhecimento de campo, num conjunto de nove dados pontuais incluídos no SIGEO-ALMADA, que a intersectaram desde a superfície, e que se distribuem por um furo hidrogeológico (3006), cinco sondagens geotécnicas e três observações directas; acresce ainda informação de outras sondagens geotécnicas que em profundidade intersectaram estes depósitos. A BD inclui ainda resultados de ensaios de laboratório de nove amostras finas (Fig. VI.4), todas remexidas, colhidas neste complexo ao longo do limite norte do concelho por LAMAS (1998).

No seu conjunto, os Depósitos de vertente constituem uma cobertura, de espessura irregular, praticamente continua ao longo das escarpas que marginam o rio Tejo, e outra mais irregular no sopé da Arriba Fóssil; neles podem distinguir-se dois tipos geotécnicos: os que cobrem o sopé das arribas miocénicas e os que, na Arriba Fóssil, encobrem a base da escarpa constituída francamente por materiais grosseiros pliocénicos, em regra a sul da Foz do Rego. Os primeiros apresentam uma certa semelhança em termos de composição, reflectindo alguma regularidade das escarpas miocénicas; apresentam uma matriz fina, silto-argilosa, às vezes silto-arenosa, que envolve blocos, muitos deles volumosos, de calcários e calcarenitos. Estendem-se às vezes para o leito do rio Tejo, encontrando-se frequentemente encobertos pelos aterros marginais (SILVA, 1990).

O outro tipo de depósitos de vertente, cartografado em regra ao longo da Ribeira da Foz do Rego e para sul dela até à Mina de Ouro, apresenta geralmente uma matriz mais grosseira (às vezes com seixos e areia) e inclinações entre 1:1 e 1:2 (V:H); resultam de movimentos subparalelos à escarpa ou de abarrancamentos da mesma, bem como da acção mecânica de raízes de árvores no topo da arriba. Acrescem, ainda, alguns fenómenos localizados de erosão interna nos terrenos pliocénicos que constituem a escarpa e que também alimentam estes depósitos. Pontualmente, nalguns barrancos mais pronunciados da Arriba Fóssil, formam-se cones de dejecção que contribuem para engrossar os depósitos de vertente. Os coluviões apresentam, a partir do extremo sul da Fonte da Telha, uma inclinação mais suave (1:2 e 1:5), e é neste sector que os cones de dejecção mais contribuem para o engrossar dos depósitos.

Por dificuldade de separação, nalgumas zonas incluíram-se, nesta unidade, depósitos que na realidade são colúvio-aluvionares, como é o caso dos que ocupam o eixo do Boqueirão da Junça.

Espessura

Os depósitos de vertente que cobrem o sopé da arriba ribeirinha apresentam sempre uma possança média superior à dos restantes depósitos. A análise dos registos das sondagens da BD permite verificar que a espessura máxima detectada é de 7,5 m, sendo a média da ordem de 4 m.

Pela sua espessura e inclinação dos terrenos, saliente-se o grupo de coluviões na zona de Palença, onde massas volumosas (rondam a dezena de metros), circunscritas, às vezes muito inclinadas junto ao rio (aproximando-se de 1:1), geradas por instabilizações criadas artificialmente por escavações, encostam às instalações da empresa TAGOL.

É difícil estimar a espessura máxima dos depósitos de vertente situados no sopé da Arriba Fóssil, estimando-se que não deverão ultrapassar, localmente, a meia dúzia de metros.

Terra Vegetal

A natureza dos Depósitos de vertente torna-os propícios a apresentarem matéria orgânica disseminada não apresentando, geralmente, a cobri-los, uma espessura contínua de terra vegetal.

Identificação

Os valores estatísticos para a percentagem de finos e de areia nas nove amostras da BD atribuídas aos depósitos mais finos que constituem este complexo foram os seguintes:

	Areia (%)	Finos (%)
<i>Mínimo</i>	2	67
<i>Máximo</i>	24	98
<i>Média</i>	11	84
<i>Desvio Padrão</i>	6	11

A percentagem de silte e de argila avaliada em duas amostras (LAMAS, 1998) foi de, respectivamente, de 76 - 86% e 9 - 11%.

A maioria das amostras desta unidade (89%) pertence ao tipo CL, argilas magras e argilas magras com areia, da Classificação Unificada (Fig. VI.4). Na Classificação para Fins Rodoviários da AASHTO, aquelas amostras repartem-se igualmente (44% de ocorrências cada) entre os grupos A-4 e A-6, com índices de grupo entre 6 e 10.

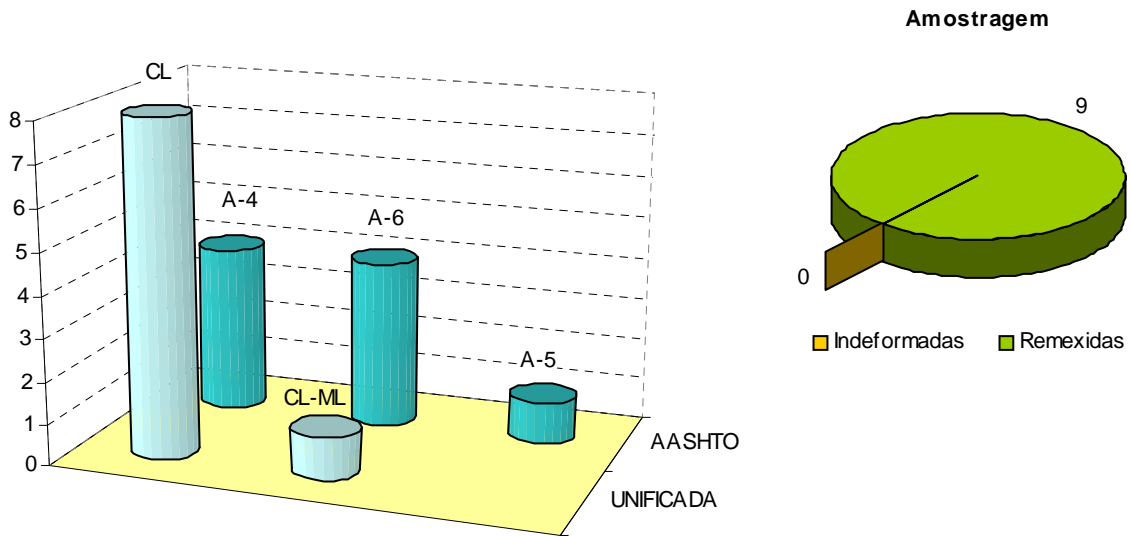


Figura VI.4 - Distribuição da classificação geotécnica dos solos dos Depósitos de vertente para as nove amostras existentes no SIGEO-ALMADA.

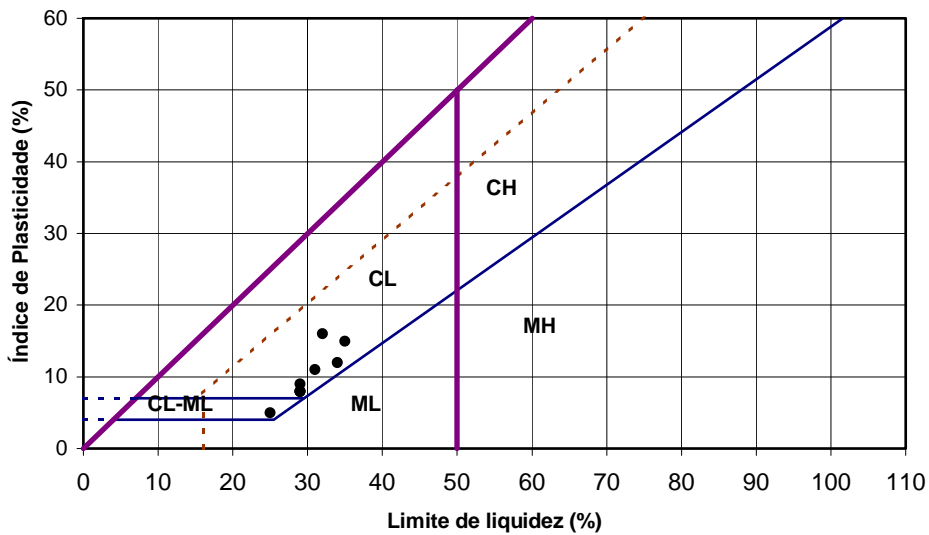


Figura VI.5 - Projecção sobre a Carta de Plasticidade das amostras correspondentes aos Depósitos de vertente.

Todos os solos têm valores baixos para os limites de liquidez ($LL < 35\%$) e os índices de plasticidade são sempre inferiores a 20% (Fig. VI.5).

Características Físicas

O teor em água natural determinado para duas amostras, foi de 20% e 30%.

A actividade coloidal das argilas de um conjunto de amostras de material dos Depósitos de vertente situa-se, na maior parte dos casos avaliados (75%), na transição argilas normais/activas (Fig. VI.6).

O estudo da fracção argilosa ($D < 2 \mu\text{m}$) por difracção de raios-X (DRX) em duas amostras (LAMAS, 1998), revelou a presença predominante de **esmectites** (40 e 45%), seguida de perto pelas **ilites** (38 e 39%) e secundadas pelo grupo das **caulinites** (16 e 22%). Esta distribuição confirma os dados de actividade da fracção coloidal que se observam na Figura VI.6.

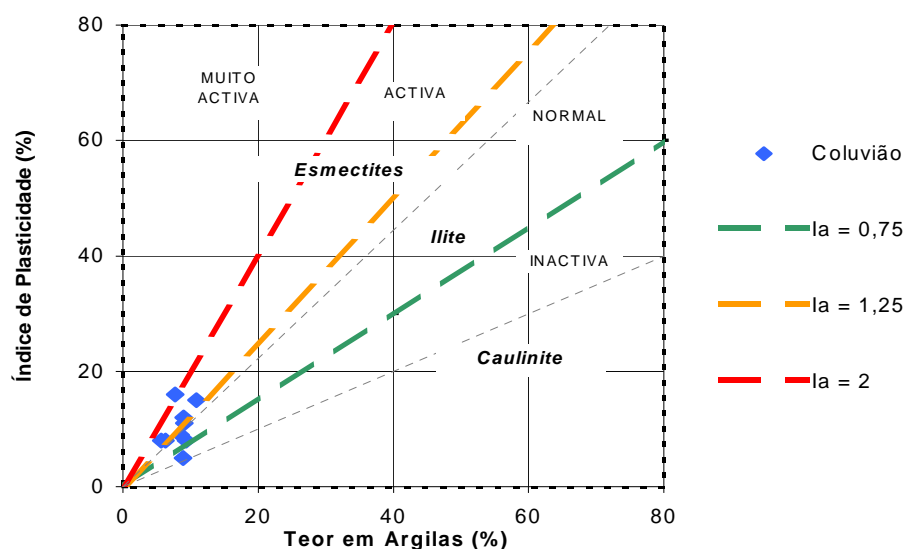


Figura VI.6 - Actividade da fracção argila de acordo com o Índice de Actividade (I_a) de Skempton.

Características Mecânicas

A BD inclui quarenta e três registos de ensaios SPT em depósitos desta unidade, cujos valores de N oscilam entre um mínimo de 3 pancadas em quatro registos (nomeadamente, **1196_4** aos 4,0-4,45 m) e três negas (por exemplo, **1216_1** aos 2,76-2,99 m),

correspondendo a blocos miocénicos, fossilíferos, deslocados. Assim, na determinação dos valores médios obtidos para cada um dos horizontes de profundidade definidos, aqueles valores erráticos foram retirados da análise, com uma diminuição muito significativa nos valores do desvio padrão obtidos nas novas análises estatísticas. Desprezando aquelas três singularidades, o valor médio rondou as 7 pancadas, com um desvio padrão de 3 pancadas. A Figura VI.7 mostra a distribuição dos valores obtidos em função dos horizontes de profundidade atrás definidos.

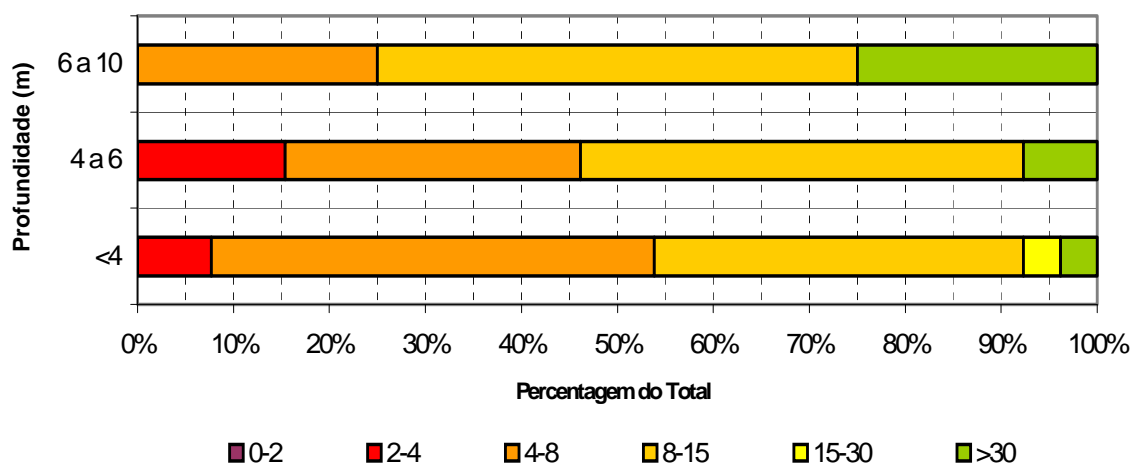


Figura VI.7 - Distribuição dos valores de ensaios SPT para os Depósitos de vertente, em função da profundidade.

A análise da evolução da consistência desta unidade em profundidade permite aferir que, como seria de esperar em depósitos deste tipo, não se verifica um aumento significativo de resistência com o recobrimento uma vez que, globalmente, os solos persistem em apresentar consistência média a dura, sensivelmente na mesma proporção.

Estes materiais são escaváveis pelos meios mecânicos correntes; contudo a sua natureza requer que, na maioria dos casos, sejam adoptadas medidas para garantir a estabilidade dos taludes de escavação.

Condições Hidrogeológicas

Não existe registo de nível da água nas sondagens da BD que atravessam estes terrenos. Contudo, observações de campo permitem verificar que, às vezes, após períodos de pluviosidade, há indícios de haver escoamento preferencial no contacto entre os terrenos desta unidade superficial e o substrato que encobrem.

Depósitos arenosos eólicos e costeiros

Localização e Constituição

Os terrenos abrangidos por esta designação correspondem às areias eólicas e de praia descritos em V.4.2; distribuem-se, quer ao longo da costa atlântica, prolongando-se até à base da Arriba Fóssil, quer ao longo do rebordo superior desta, em especial a sul da Ribeira da Foz do Rego. Refira-se ainda uma área cartografada ao longo da Vala da Enxurrada, prolongando-se da Trafaria até Brielas.

Este conjunto de materiais é constituído por deposições de areias médias a médias a finas, amarelas a acastanhadas que, junto à costa atlântica, nos depósitos de origem costeira, incluem ainda restos de conchas no seu seio, bem como assentadas mais grosseiras. Todos os registos que descrevem a litologia das camadas cuja resistência à penetração foi avaliada pelos ensaios SPT correspondem a solos arenosos.

O SIGEO-ALMADA inclui quarenta dados pontuais que interessam esta unidade desde a superfície, distribuindo-se por dois furos hidrogeológicos (**3003** e **3004**), vinte e quatro sondagens geotécnicas e catorze pontos de observação directa dos terrenos. A caracterização geotécnica desta unidade baseou-se em informação relativa a um total de onze amostras de solos eólicos (Fig. VI.9), todas remexidas, das quais duas (22%) foram colhidas no âmbito deste trabalho. Os solos arenosos costeiros não foram objecto de amostragem; trata-se de solos que não se prevê virem a ser afectados pela área de expansão das construções e, por isso, a sua análise do ponto de vista geotécnico parece irrelevante.

Espessura

A espessura máxima detectada numa das sondagens nesta unidade foi de 22,8 m (**1266**), com valores médio e desvio padrão de 9,1 m e 6,7 m.

Terra Vegetal

Os cinco registos analisados para definir a espessura de terra vegetal, permitiram definir um valor médio de 0,7 m, para um desvio padrão de 0,2 m. Face à litologia desta unidade e à sua porosidade elevada, admite-se que o horizonte enriquecido em matéria orgânica seja certamente mais espesso na zona de areias com componente eólica do que nas de praia, bem como do que na maioria das unidades geotécnicas que a seguir se descrevem.

Identificação

A análise da BD permite verificar que os solos eólicos apresentam uma granulometria muito semelhante, como aliás se confirmou pelas duas amostras que foram recolhidas na região da Trafaria (Fig. VI.8).

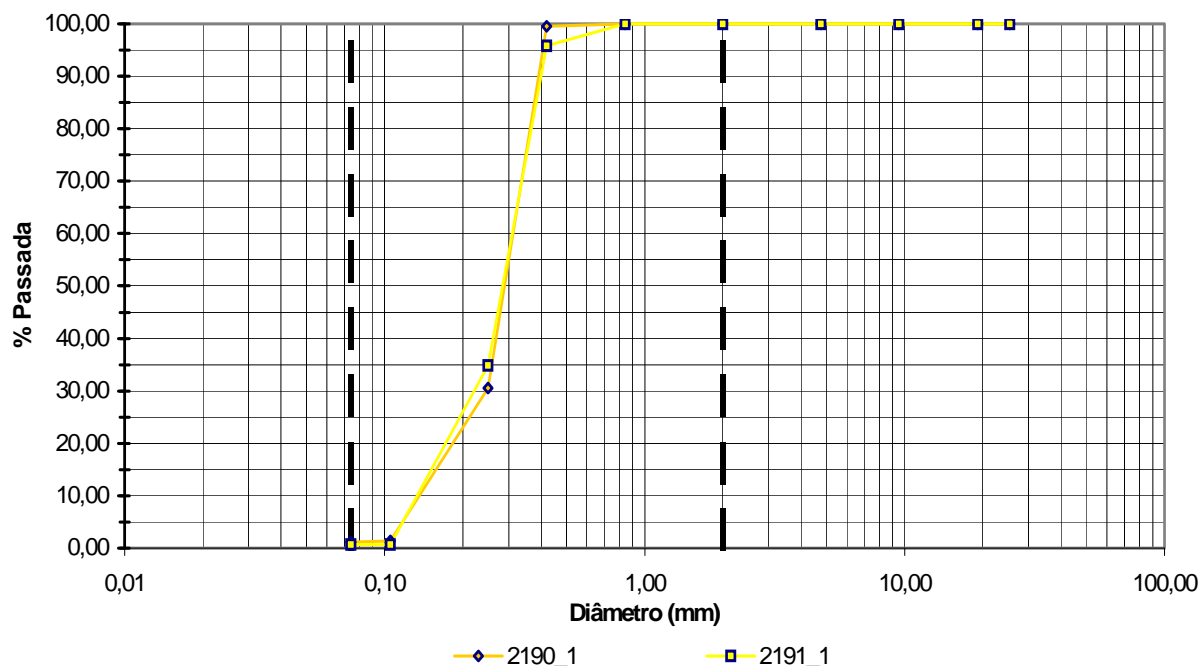


Figura VI.8 - Curvas granulométricas (peneiração húmida) das duas amostras de solos eólicos colhidas nos Depósitos arenosos eólicos e costeiros.

Os valores estatísticos para a percentagem de finos e de areia nas onze amostras da BD incluídas nesta unidade geotécnica foram os seguintes:

	Areia (%)	Finos (%)
Mínimo	87	1
Máximo	99	12
Média	97	2
Desvio Padrão	4	3

De acordo com a Classificação Unificada e como seria de esperar, 82% dos solos ensaiados inserem-se nos tipos SP, areias mal graduadas (Fig. VI.9). No que respeita à classificação AASHTO, predominam os solos A-3 (91%), com índices de grupo igual a zero. Os solos revelaram-se não plásticos.

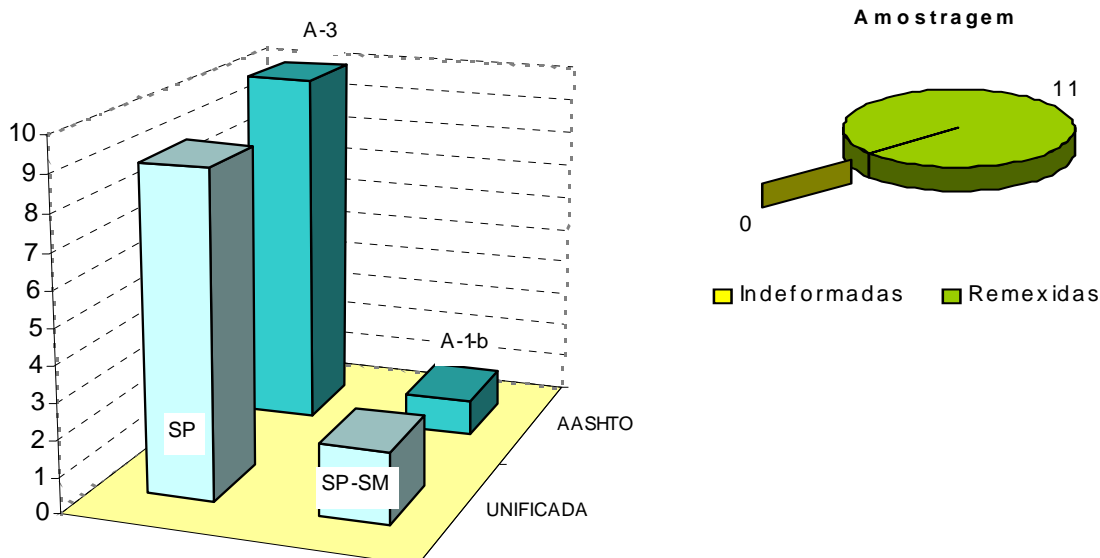


Figura VI.9 - Distribuição da classificação geotécnica dos Depósitos arenosos eólicos e costeiros para as onze amostras de solos contempladas no SIGEO-ALMADA.

Características Físicas

O peso volúmico seco obtido para uma amostra de areias eólicas foi de 20 kN.m^{-3} , tendo o teor em água natural, determinado em nove amostras da BD, oscilado entre valores de 2% e 22%, com um valor médio de 7% e um desvio padrão elevado, de 6%.

No campo das *Observações* da tabela LAB_SOLOS, incluem-se dois valores de ensaios para determinação do equivalente de areia (EA) em solos desta unidade geotécnica (**2043_1** e **2044_1**); ambos possuem valores muito elevados (respectivamente, 93 e 68%). Desconhece-se o teor em matéria orgânica daquelas amostras.

Características Mecânicas

Em cento e oitenta registos de resultados de ensaios SPT nos depósitos arenosos, apenas três (7%) deram nega na primeira fase, num total de quarenta e cinco negas (25%); o menor valor obtido foi de duas pancadas (**1034_1** e **1034_2** aos 1,55-2 m e 3,2-3,65 m, respectivamente). A média global foi de 36 pancadas para um desvio padrão de 20 pancadas. A Figura VI.10 mostra a distribuição dos valores obtidos em função dos segmentos de profundidade previamente definidos, onde se nota um significativo acréscimo na compacidade à medida que a profundidade aumenta.

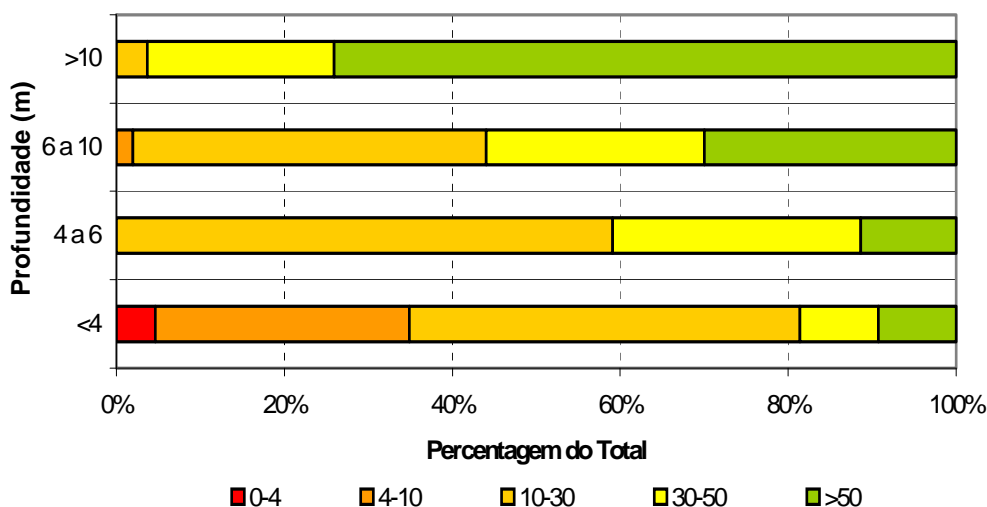


Figura VI.10 - Distribuição dos valores de ensaios SPT nos Depósitos arenosos eólicos e costeiros, em função da profundidade.

A BD contempla apenas três amostras com alguns finos (entre 5% e 12%), obtidas ao longo da Vala da Enxurrada, que foram submetidas a ensaios de **compactação pesada** (CENORPLAN, 1992). Obteve-se em todas o mesmo peso volúmico seco máximo, igual a 17 kN.m^{-3} , e os valores para os teores em água óptimos oscilaram entre 12% e 17%, com um valor médio de 14%.

A capacidade de suporte destes solos para fins rodoviários foi compilada também de relatórios, registrando-se dois valores de ensaios de **CBR**, de 11% e 13%, para um grau de compactação de 95% e teores em água iguais ao óptimo.

Os materiais que integram esta unidade são francamente escaváveis com equipamentos mecânicos; contudo a fraca ou até nula cimentação que exibem poderá levantar problemas de estabilidade em taludes de escavações, situação agravada perante a interferência eventual do nível freático (Fig.VI.11).



Figura VI.11 - Aspecto do decorrer das obras de fecho da vala da Alameda Atlântica, na Costa de Caparica, onde se pode observar o dispositivo montado para rebaixamento do nível de água nos Depósitos arenosos eólicos e costeiros.

Condições Hidrogeológicas

Das vinte e quatro sondagens que intersectaram este complexo desde a superfície do terreno, apenas metade detectaram o nível freático durante a furação, oscilando entre o mínimo de 1,0 m (**1399**) e máximo de 10,5 m profundidade (**1077**); o valor médio rondou a profundidade de 4,1 m com um desvio padrão de 2,9 m. Apenas em 5 registos (42%) se verificaram pequenas variações no nível da água durante a furação e destes apenas dois casos foram de artesianismo relacionados com o substrato pliocénico (**1083**) ou miocénico (**1016**).

Depósitos de aluvião

Localização e Constituição

Sob esta designação agrupam-se um conjunto de depósitos dispersos pelo concelho e que corresponde genericamente ao enchimento do leito de linhas de água ou da zona do estuário do Tejo. O conjunto dos depósitos aluvionares assentam directamente sobre os terrenos miocénicos, na zona norte e nascente, e sobre os solos grosseiros pliocénicos na maior parte da restante área do concelho.

De uma maneira geral, as aluviões apresentam uma composição essencialmente arenosa, com predomínio da fracção média a fina; contudo, verificam-se algumas ocorrências de material de constituição exclusivamente argilo-siltosa a silto-argilosa, em especial nas linhas de água que sulcam o miocénico. As linhas de água mais importantes apresentam ainda preenchimentos lodosos cuja relevância, em termos de espessura, tem tendência a aumentar com a proximidade do leito do rio Tejo. Tendo em consideração os dados disponíveis no SIGEO-ALMADA, os depósitos de aluvião identificados no concelho foram divididos em três tipos, que se apresentam adiante: I - aluviões predominantemente constituídas por solos finos, II - aluviões predominantemente constituídas por solos grossos e III - aluviões com lodo, sejam os lodos arenosos ou não.

O SIGEO-ALMADA inclui quarenta dados pontuais que interceptaram esta unidade desde a superfície e que se dividem por dois furos de captação (**3026** e **3013**), vinte e nove sondagens geotécnicas e, ainda, nove pontos de observação directa dos terrenos. Esta informação foi complementada pela de outros dados pontuais que intersectaram este complexo em profundidade, nomeadamente sob depósitos de aterro. A caracterização geotécnica desta unidade baseou-se ainda em informação relativa a um total de vinte e três amostras de solo, das quais apenas três (13%) indeformadas (Fig. VI.12).

Espessura

As espessuras máximas médias dos depósitos nas linhas de água menos importantes não ultrapassam os 3-4 m; outras linhas de água apresentam um preenchimento que pode atingir ou até ultrapassar a vintena de metros, como é o caso da Vala do Caramujo e das Valas da Sobreda e de Vale Figueira quando confluem na Vala de Corroios, a jusante do limite entre os concelhos de Almada e Seixal. A Vala da Caneira, afluente da margem direita da Vala da Enxurrada, apresenta uma espessura da ordem de 5,0 m (CENOR, 1992), a cerca de 35 m a nascente da sondagem **1074**.

As baixas aluvionares com desenvolvimento mais significativo e para as quais se dispõe de elementos sobre algumas características geotécnicas serão referenciadas adiante.

Terra Vegetal

Estas unidades não apresentam, em regra, apenas um horizonte superficial enriquecido em matéria orgânica, uma vez que esta aparece dispersa no seu seio; assim, não se apresenta nenhuma espessura média.

Características Mecânicas

Estes depósitos são escaváveis pelos meios mecânicos correntes; exigem geralmente entivação de valas e podem surgir problemas com nível freático elevado, ainda que sazonalmente.

Condições Hidrogeológicas

Apenas vinte e três sondagens detectaram o nível freático nestes depósitos, que oscilou entre 1,4 m (**1221**) e um máximo de 9 m (**1140** e **1141**) de profundidade, com um valor médio de 3,9 m e um desvio padrão de 2,3 m. Em quatro das sondagens verificou-se artesianismo até estabilização do nível. Junto ao Tejo, os efeitos de maré são muito significativos durante a furação.

Constituem aquíferos livres; em regra predomina o escoamento superficial ou, no caso de cursos efémeros, a circulação de água processa-se no interior dos terrenos.

Aluvião tipo I: Aluvião predominantemente fina

Localização e Constituição

No seu conjunto, estes depósitos afloram essencialmente na metade norte do concelho e a sua caracterização geotécnica baseia-se em cerca de uma quinzena de dados pontuais incluídos no SIGEO-ALMADA, que a intersectaram desde a superfície, e que se distribuem por doze sondagens geotécnicas e três locais onde foram observadas directamente; existem ainda algumas sondagens que as detectaram sob outros terrenos, nomeadamente aterros. A BD contempla ainda elementos referentes a ensaios de identificação de catorze amostras seleccionadas da bibliografia, das quais duas (14%) indeformadas (Fig. VI.12).

Identificação

Foram os seguintes os valores estatísticos para a percentagem de finos e de areia, nas catorze amostras atribuídas a esta unidade geotécnica na BD:

	Areia (%)	Finos (%)
Mínimo	4	59
Máximo	41	95
Média	20	79
Desvio Padrão	10	10

A percentagem de silte e de argila avaliada em três amostras oscilou entre os valores de, respectivamente, 48% a 55% e 7% a 25%.

A amostragem (Fig. VI.12) é constituída predominantemente por solos do tipo ML (cerca de 50%), na sua maioria siltes com areia ou siltes arenosos; sucedem-lhe os solos CL, argilas magras (29%). Em relação à classificação AASHTO, houve uma distribuição maioritária pelo grupo A-4 (71%), com os índices de grupo a variarem de 5 a 8 em função da respectiva percentagem de finos.

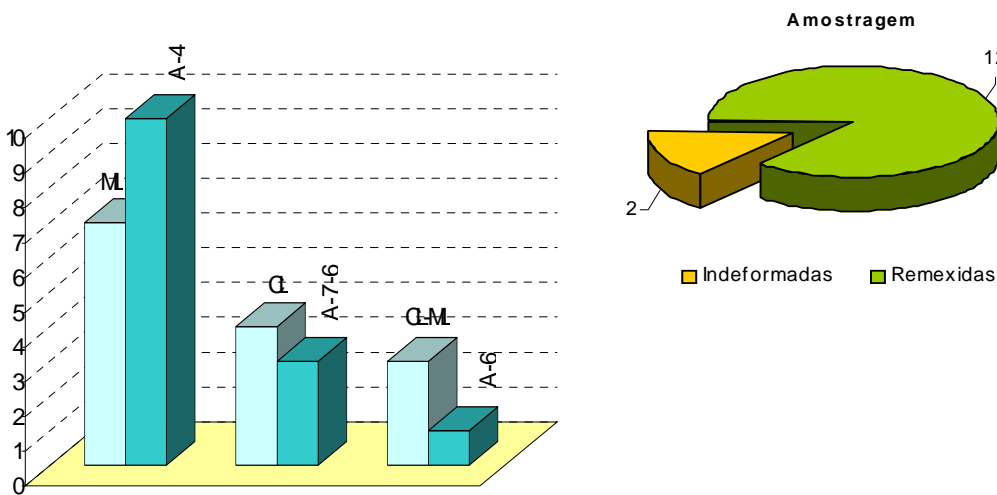


Figura VI.12 - Distribuição da classificação geotécnica das Aluviões tipo I: aluviões predominantemente finas, para as catorze amostras de solos da BD.

A avaliação da plasticidade de catorze amostras (Fig. VI.13) permitiu definir que elas se apresentam, em igual proporção (36%), não plásticas ou têm limites de liquidez inferiores a 35%, e as restantes (28%) apresentam limites de liquidez entre 35% e 50%.

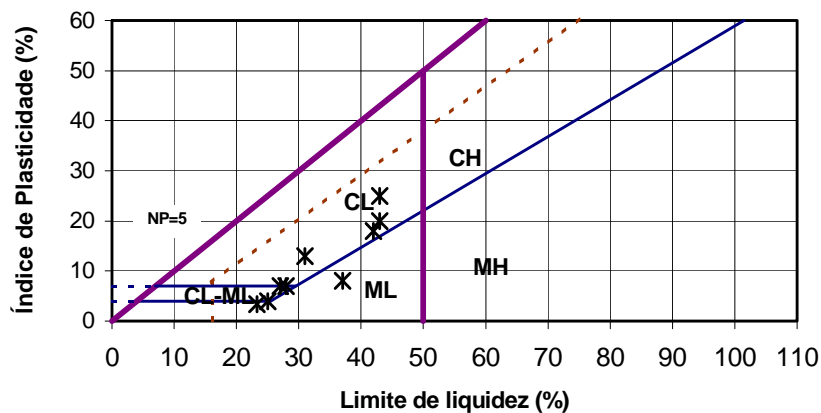


Figura VI.13 - Plasticidade das catorze amostras existentes no SIGEO-ALMADA para as Aluviões tipo I: aluviões predominantemente finas.

Características Físicas

Os valores do teor em água natural avaliado em três amostras oscilaram entre 17% e 24%, com um valor médio de 20%.

Da análise do comportamento da fracção argilosa de duas amostras (**1092_12** e **2051_1**), verificou-se que se situam junto ao limite entre as argilas inactivas e normais, em função dos valores obtidos para o Índice de Actividade de Skempton ($0,61 \leq I_a \leq 0,79$).

Características Mecânicas

Em cento e catorze registos do ensaio SPT, apenas se verificou uma nega (**1026_5** aos 7.5-7.94 m); o menor valor obtido foi de duas pancadas (**1126_1** aos 1.5-1.95 m). A média global foi de 12 pancadas para um desvio padrão de 8 pancadas. A Figura VI.14 mostra a distribuição dos valores obtidos em função dos horizontes de profundidade adoptados.

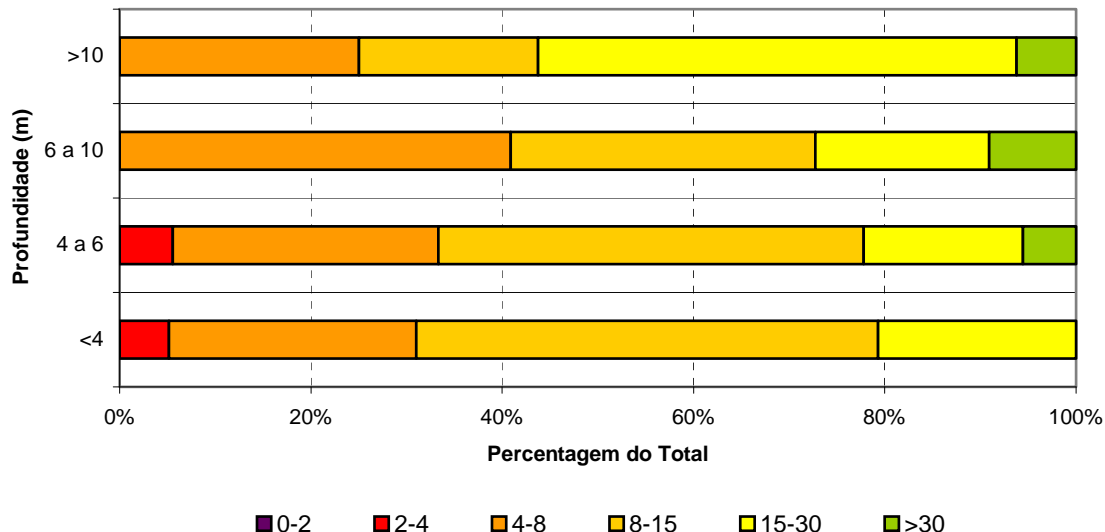


Figura VI.14 - Distribuição dos valores de ensaios SPT em Aluviões tipo I: aluviões predominantemente finas, em função da profundidade.

Aspectos não incluídos na BD

Na **Vala do Caramujo**, uma amostra indeformada colhida entre os 2,5 e 2,8 m de profundidade numa sondagem para o estudo geotécnico do viaduto ferroviário sobre o IC 20 (PROFABRIL, 1993), apresentou cerca de 78% de finos e, num ensaio de corte directo não consolidado, não drenado, obteve-se um ângulo de atrito de 38° e coesão desprezável (5 kPa).

Aluvião tipo II: Aluvião predominantemente grossa

Localização e Constituição

Distribuem-se por todo o concelho, em especial nos dois terços a sul. Embora constituídas por solos predominantemente grosseiros, podem ainda ocorrer passagens lodosas, admitindo-se contudo que sejam pouco significativas na constituição da aluvião.

A sua caracterização baseia-se em cerca de uma dezena de elementos relativos a sondagens e poços que interessaram estes depósitos desde a superfície e nove amostras de solos (Fig. VI.16), sendo apenas uma indeformada (11%), obtida no presente trabalho.

Identificação

O estudo estatístico dos valores para a percentagem de finos e de areia nas nove amostras da BD atribuídas a esta unidade geotécnica permitem a obtenção dos seguintes valores:

	Areia (%)	Finos (%)
Mínimo	55	14
Máximo	71	45
Média	62	25
Desvio Padrão	7	15

A BD inclui duas amostras de aluvião deste tipo cuja granulometria, por peneiração por via húmida, foi determinada no âmbito do presente trabalho (Fig. VI.15).

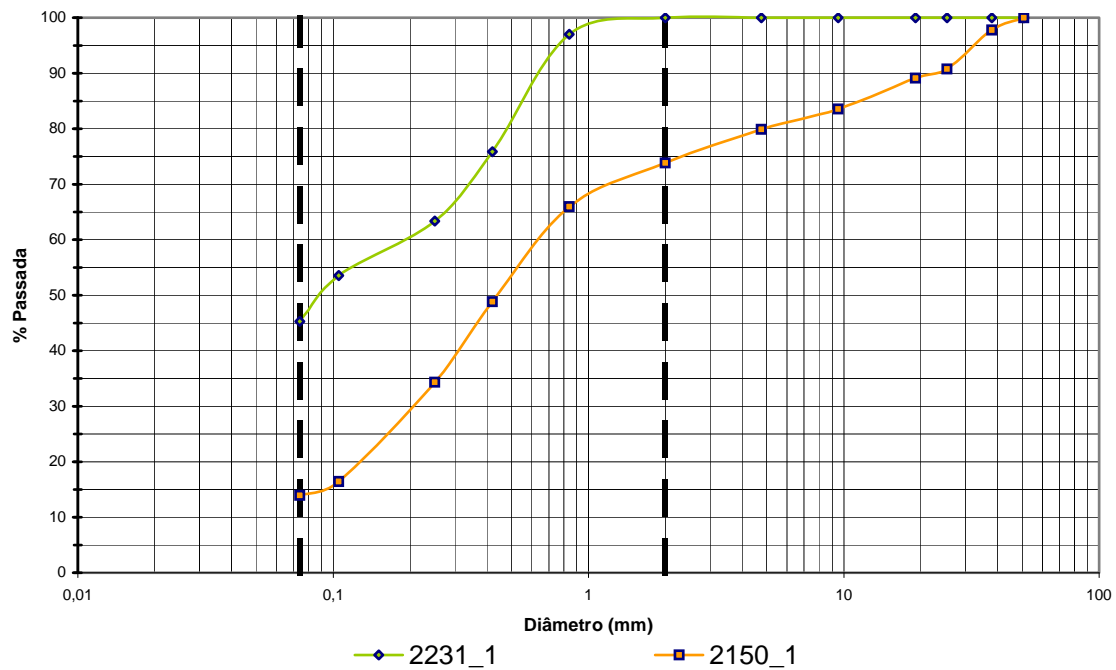


Figura VI.15 - Curvas granulométricas (peneiração húmida) das duas amostras recolhidas nas Aluviões tipo II: aluviões predominantemente grossas.

A Figura VI.16 apresenta a distribuição da classificação geotécnica das amostras existentes na BD, verificando-se predomínio (67%) dos solos do tipo SM, areias siltosas, a que correspondem solos do subgrupo A-1-b, com índice de grupo zero.

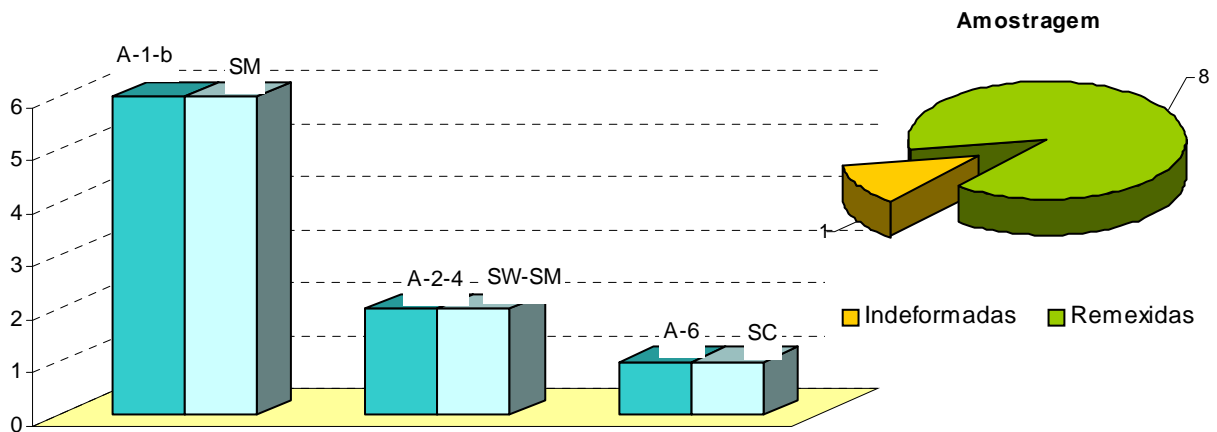


Figura VI.16 - Distribuição da classificação geotécnica dos solos das Aluviões tipo II: Aluviões predominantemente grossas para as nove amostras de solos contempladas na BD.

Os limites de consistência existentes na BD revelam que 89% (oito) das amostras são não plásticas e apenas a amostra indeformada ensaiada no âmbito do presente trabalho (2231_1) apresentou alguma plasticidade, embora baixa - limite de liquidez de 30% e índice de plasticidade de 16%.

Características Físicas

O peso volúmico seco obtido na amostra atrás referida (2231_1) foi de 17 kN.m^{-3} . Os teores em água natural obtidos em cinco amostras variaram entre 4% e 16%, com valor médio de 9% e desvio padrão de 5%.

Características Mecânicas

Em setenta registos da BD, verificaram-se apenas duas negas (1179_7 aos 15,5-15,73 m e 1024_7 aos 9,0-9,37 m) e o menor valor obtido para N foi de uma pancada (1093_4 aos 4,0-4,45 m). A média geral foi de 22 pancadas, para um desvio padrão de 17 pancadas. A distribuição dos resultados obtidos em função da profundidade encontra-se na Figura VI.17.

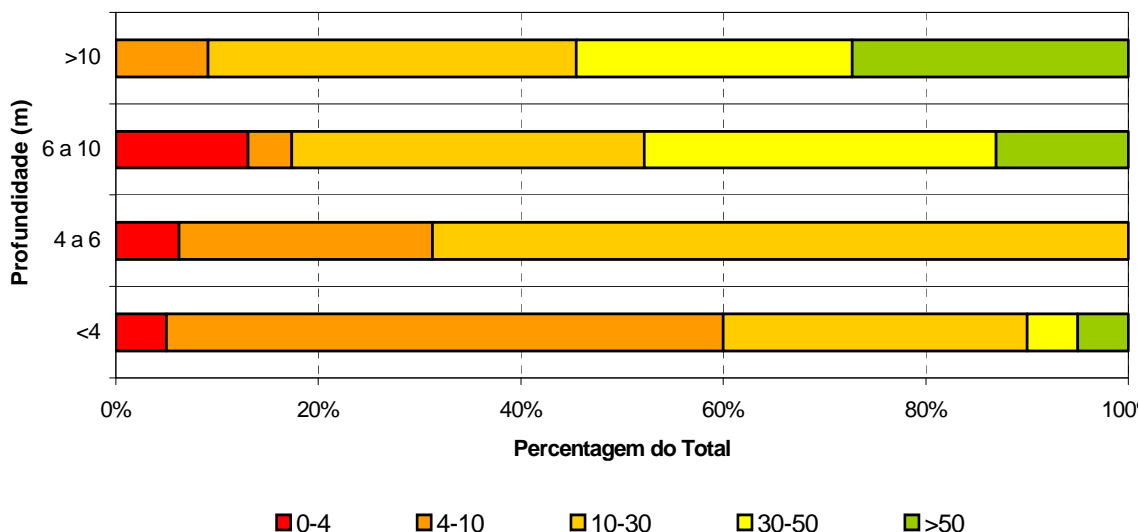


Figura VI.17 - Distribuição dos valores de ensaios SPT em Aluviões tipo II: aluviões predominantemente grossas, em função da profundidade.

No âmbito do presente trabalho realizou-se um ensaio de **corte directo** não consolidado, não drenado, incluído na BD e os valores obtidos foram de 5 kPa para a coesão e $37,8^\circ$ para o ângulo de atrito (Fig. VI.18).

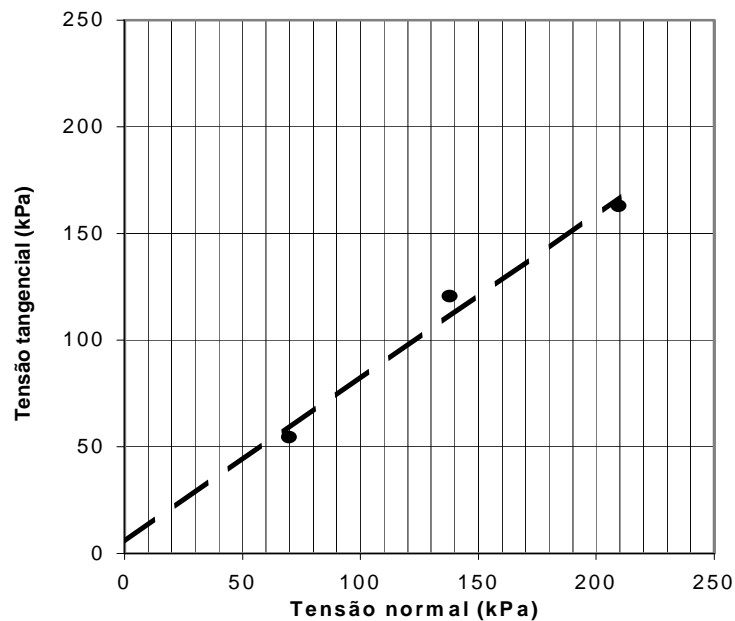


Figura VI.18 - Recta de Coulomb do ensaio de corte directo não consolidado, não drenado, sobre amostra de Aluvião tipo II: aluvião predominantemente grossa (areia siltosa, 2231_1).

Aspectos não incluídos na BD

Duas amostras indeformadas de aluvião da **Vala da Sobreda**, já no concelho do Seixal, revelaram tratar-se de aluvião arenosa, não plástica com 3 a 18% de finos e percentagem de fracção areia entre 70 e 80%; os solos foram classificados como SW ou SM e dos grupos A-1-b (0) e A-2-4 (0). Ensaio de corte directos não drenados, não consolidados, revelaram ângulos de atrito entre 40° e 45° e coesão baixa (inferior a 30 kPa). A profundidade máxima determinada no eixo da vala foi de 16,5 a 19,0 m (PROFABRIL, 1993).

De acordo com sondagens efectuadas na **Vala de Corroios** para o eixo ferroviário (*op. cit.*, 1993), a aluvião chega a atingir cerca de 26 m de profundidade no eixo da vala actual, a algumas dezenas de metros a nascente do limite entre os concelhos de Almada e Seixal; na sua base surge uma cascalheira métrica. Ensaio de uma amostra indeformada revelaram cerca de 37% de finos e 61% de fracção arenosa, também não plástica; o solo foi classificado como A-4 (0); um ensaio de corte directo não consolidado, não drenado, revelou um ângulo de atrito de 29° e coesão desprezável (2 kPa).

Aluvião tipo III: aluvião com lodo

Localização e Constituição

Constituem os depósitos mais recentes do Quaternário, detectados essencialmente junto ao leito do Tejo. Não se encontram no SIGEO-ALMADA quaisquer resultados de ensaios de laboratório de amostras destes terrenos, embora existam sondagens que os atravessaram. Na faixa ribeirinha do Tejo, estes depósitos assentam noutros de areia grossa.

Amostras recolhidas ou ensaios *in situ* realizados nas zonas já imersas permitem caracterizar os depósitos de fácies lodosa.

Espessura

Junto à margem a sua espessura é muito reduzida, às vezes inferior a 1,0 m; de um modo geral e como seria de esperar, a espessura de lodo aumenta no sentido da terra para o rio. Noutras zonas do concelho onde se detectaram materiais classificados como lodosos nos registos de sondagens, foi possível determinar que a sua espessura pode atingir a dezena de metros (1024).

Identificação e Características Físicas

Estes materiais têm um teor em água natural elevado (estado plástico a fluido), grande plasticidade; e podem exibir alguma percentagem de areia. A composição média destes materiais ao longo da faixa Mutela-Cacilhas é definida por O'Donnell (*in* CUF, 1963) como 85% finos, 10% partículas calcárias (conchas) e 5% areia; teor em água natural entre 51% e 70%, índice de vazios elevado, oscilando entre 1,35 e 2,3, e peso volúmico de 15,3 a 17,3 kN.m⁻³. Algumas sondagens efectuadas ao longo do cais mais setentrional do Alfeite detectaram ainda lodos arenosos ou areias lodosas subjacentes aos anteriormente descritos e que se distinguem deles também por apresentarem uma maior percentagem de areia (10% a 60%), teores em água naturais mais baixos e, inversamente, pesos volúmcicos mais elevados (*op. cit.*).

Características Mecânicas

A BD inclui cinquenta e três registos de ensaios SPT em aluviões lodosas, cujos valores oscilam entre zero pancadas com uma correspondente penetração de 0,95 m (1246_3 aos 7,5-8,45 m) e um valor máximo de 28 pancadas após correcção para a perda de

energia por emprego de corda e roldana (1221_5 aos 8,5-8,95 m). O valor médio rondou as 9 pancadas, com um desvio padrão elevado (6 pancadas). A Figura VI.19 mostra a distribuição dos valores obtidos em função dos horizontes de profundidade definidos.

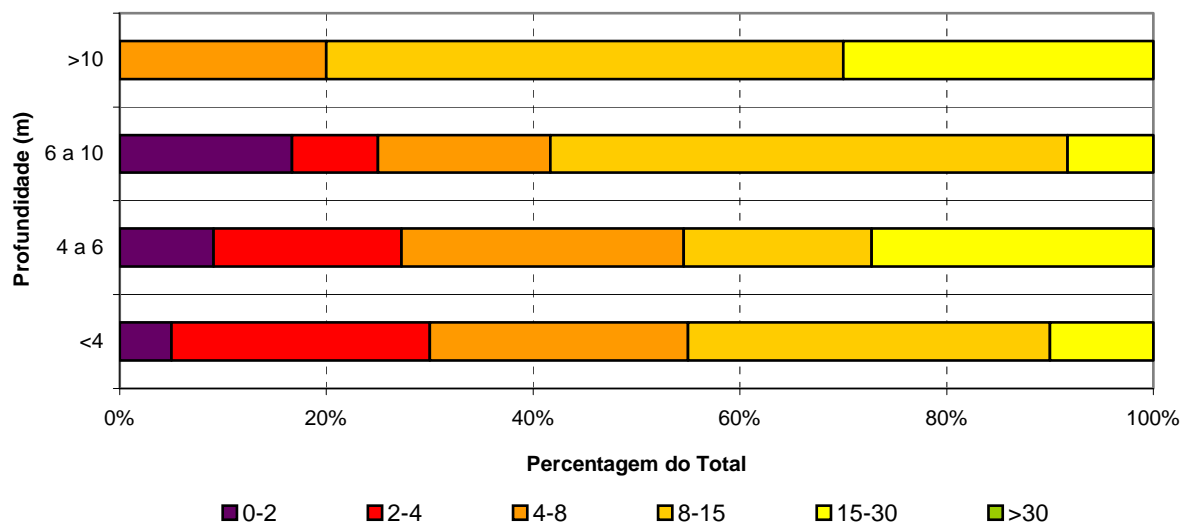


Figura VI.19 - Distribuição dos valores de ensaios SPT em Aluviões tipo III: aluviões com lodos, em função da profundidade.

2.2.2 Terrenos do Substrato

Complexo de depósitos grosseiros de seixos e areias argilosas

Localização e Constituição

Sob esta designação incluem-se solos da base do Quaternário que correspondem a cascalheiras areno-argilosas ou areias argilosas com ou sem seixos e calhaus. Os elementos mais grosseiros são quartzíticos ou de quartzo e são geralmente alongados e arredondados a subarredondados, atingindo frequentemente a dimensão máxima de 12-13 cm. O grau de cimentação é variável, tendo inviabilizado a colheita de maior número de amostras do tipo seixo, como se referiu em V.1.3, o que se reflectiu na estatística apresentada para a distribuição das classificações geotécnicas das amostras.

A informação do SIGEO-ALMADA sobre este complexo consta apenas de nove dados pontuais que o intersectaram desde a superfície, dos quais três são sondagens

geotécnicas (1007, 1008 e 1009) e as restantes são pontos de observação directa do terreno. Neste acervo de dados incluem-se ainda cinco amostras de solos, remexidas, que foram submetidas a ensaios de laboratório, no âmbito do presente trabalho.

Espessura

A espessura destes depósitos é muito variável em toda a zona, rondando o mínimo de um metro e podendo atingir 4-5 m na Arriba Fóssil, a sul da Fonte da Telha.

Identificação

Os valores estatísticos para a percentagem de finos e de areia nas cinco amostras atribuídas a esta unidade geotécnica foram os seguintes:

	Areia (%)	Finos (%)
<i>Mínimo</i>	20	0
<i>Máximo</i>	98	27
<i>Média</i>	64	14
<i>Desvio Padrão</i>	28	10

A análise das curvas granulométricas (Fig. VI.20) das amostras originárias de depósitos incluídos neste complexo dá uma ideia da diversidade granulométrica dos materiais.

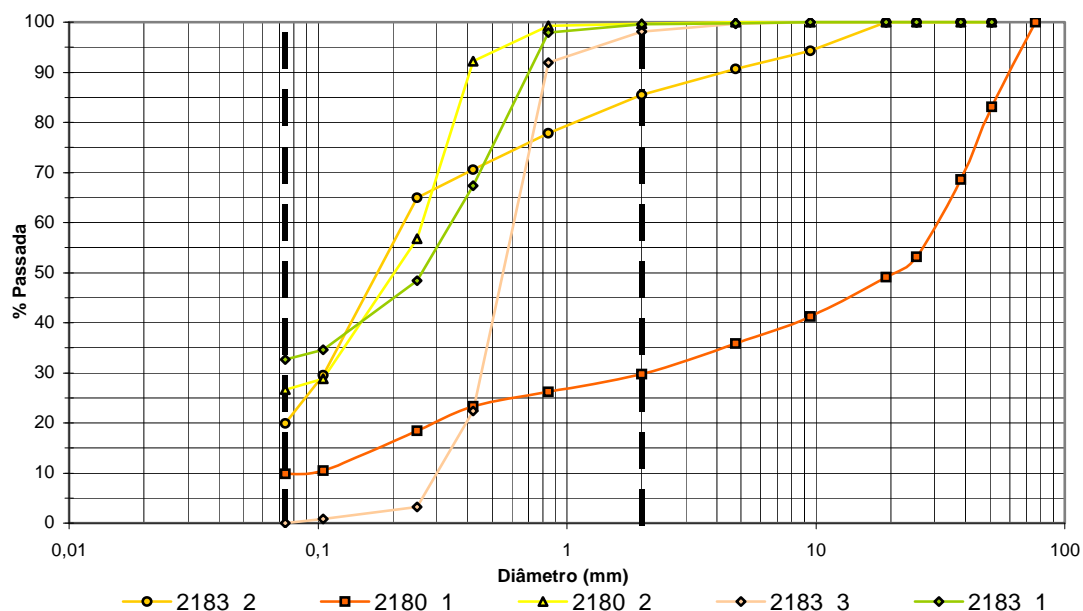


Figura VI.20 - Curvas granulométricas (peneiração húmida) das amostras recolhidas no Complexo de depósitos grosseiros de seixos e de areias argilosas.

De acordo com a classificação unificada (Fig. VI.21), a maioria das amostras inseridas neste complexo (40%) pertencem ao tipo SM, areias siltosas; sucedem-lhes os restantes tipos encontrados com igual proporção de ocorrência. Na classificação para fins rodoviários da AASHTO, sobressaem os solos do subgrupo A-2-4 (40%) e as restantes amostras repartem-se igualmente (20% de ocorrências cada) pelos restantes subgrupos detectados. Os índices de grupo são todos nulos. Estas classificações mostram também a variabilidade dos materiais ensaiados.

Apenas um dos solos (**2183_1**) exibiu plasticidade, e mesmo assim baixa (LL=33% e IP=16%), os restantes solos são todos não plásticos.

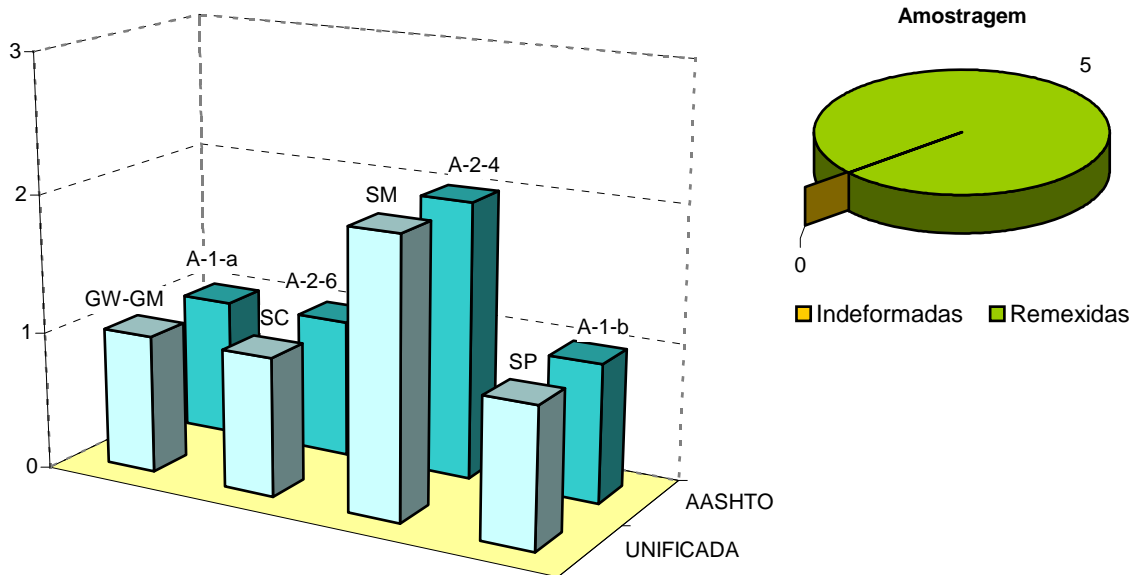


Figura VI.21 - Distribuição da classificação geotécnica dos solos do Complexo de depósitos grosseiros de seixos e de areias argilosas, para as cinco amostras remexidas do SIGEO-ALMADA.

Características Físicas

O peso volúmico seco obtido para duas amostras desta unidade foi de 16 e 20 kN.m⁻³; o teor em água natural para todas as cinco amostras ensaiadas oscilou entre 1% e 9%, com um valor médio de 5% e um desvio padrão de 3%.

Características Mecânicas

Os ensaios SPT fornecem muito frequentemente “negas” devido à dimensão de alguns elementos mais grosseiros.

Em regra são materiais escaváveis, se bem que possam exibir certa cimentação que dificulta, localmente, a sua escavação.

Condições Hidrogeológicas

As três sondagens que interessaram esta unidade não detectaram o nível de água durante a furação.

Complexo de areias com seixos e finos

Localização e Constituição

Este complexo litogenético corresponde à unidade que ocupa maior extensão na área em referência. É constituído fundamentalmente por materiais arenosos a areno-siltosos, de granulometria muito heterogénea. No seu seio distinguem-se passagens (em regra lenticulares) de composição silto-arenosa, argilosa ou cascalhenta.

O complexo foi interceptado por duzentos e dez dados pontuais, tendo sido observado directamente em cento e seis pontos, atravessada desde a superfície por oitenta e sete sondagens geotécnicas e ainda detectada em dezassete furos hidrogeológicos. A sua caracterização geotécnica baseou-se ainda em informação relativa a um total de cento e setenta e uma amostras de solo (Fig. VI.26), das quais apenas dez (6%) indeformadas, demonstrando a dificuldade na colheita destas amostras. Toda a informação atrás enunciada integra o SIGEO-ALMADA; 64% dos ensaios de solos (cento e dez amostras) foram efectuados durante a presente investigação.

A distribuição das litologias descritas em quatrocentos e sete registos da BD em terrenos caracterizados com ensaios SPT, corresponde a uma maioria de solos grosseiros (85%), onde se incluem descrições essencialmente de solos arenosos, às vezes com misturas de finos, seixos e/ou calhaus e alguns arenitos (4% do total); verificou-se ainda a ocorrência de cinco camadas (1% do total) de cascalheiras. Os restantes 15% correspondem a solos finos, dos quais mais de metade são descritos como siltes (63%).

Espessura

Admite-se que, no conjunto, este complexo ultrapasse a centena de metros de espessura, em especial na área Marisol-Aroeira.

Terra Vegetal

A extensa área ocupada por esta unidade geotécnica faz com que seja aquela para a qual se tenha um maior número de registos e, simultaneamente, a maior variabilidade: encontraram-se valores para a espessura de terra vegetal oscilando entre 0,1 e 2,0 m, o que originou um valor médio de 0,4 m e um desvio padrão muito elevado (0,5 m). Considerando apenas os registos proporcionados pela observação directa destes terrenos, o valor médio obtido é de 0,3 m e o desvio padrão é de 0,1 m.

Identificação

O estudo estatístico dos valores da distribuição granulométrica para a percentagem de finos e das fracções de areias ou de seixos em todas as amostras da BD atribuídas a esta unidade geotécnica permitiu a obtenção dos seguintes valores:

	Seixo (%)	Areia (%)	Finos (%)
Mínimo	0	0	0
Máximo	87	100	100
Média	12	60	26
Desvio Padrão	17	27	26

O conjunto de curvas granulométricas obtidas no decurso do presente trabalho (cento e dez) revela também uma grande heterogeneidade, pelo que se optou por apresentá-lo subdividido em diversas figuras, primeiro em função da percentagem de finos: com pelos menos 50% (Fig.VI.22) e inferiores a 50% (Figs.VI.23 a VI.25); este segundo grupo (noventa e oito amostras), correspondente a solos constituídos maioritariamente por fracção grossa, foi em seguida separado em três subgrupos: os que possuíam menos do que 5% de finos (Fig.VI.23), de 5 a 15% de finos (Fig.VI.24) e com mais de 15% de finos (Fig.VI.25).

A percentagem de silte e de argila foi avaliada em dez amostras seleccionadas do conjunto colhido durante a investigação. O silte oscilou entre os valores de 11% e 84 %, para um valor médio de 57% e um desvio padrão 25%. A percentagem da fracção argila variou de 4% a 15%, com um valor médio de 10% e um desvio padrão de 4%.

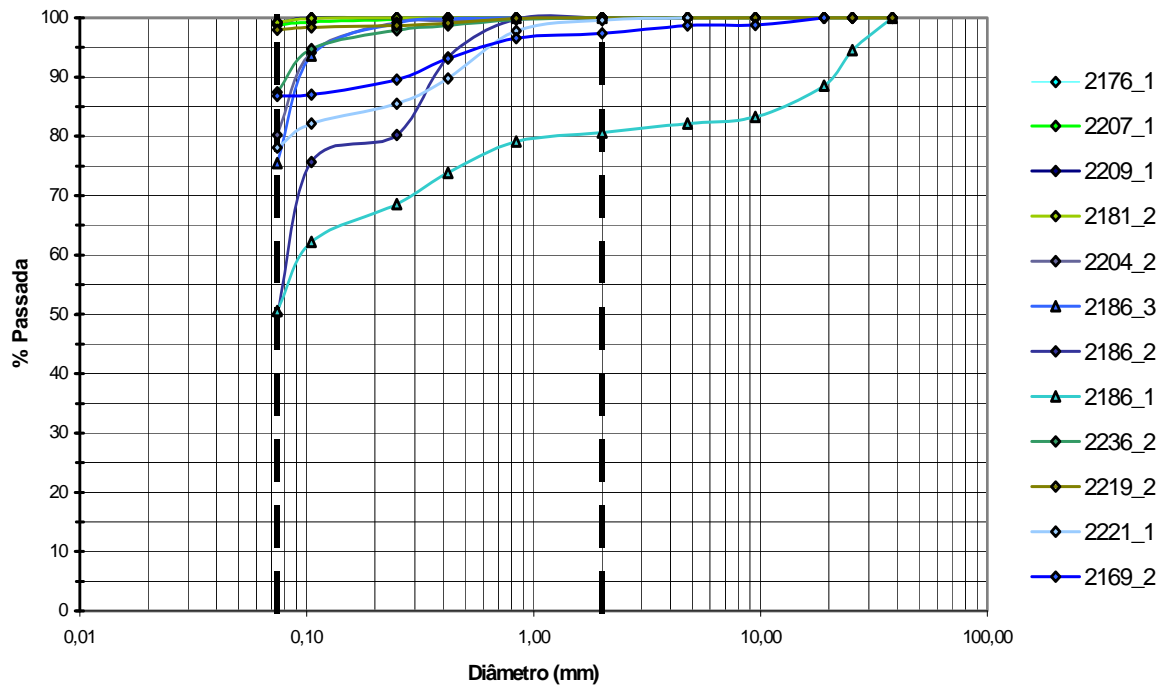
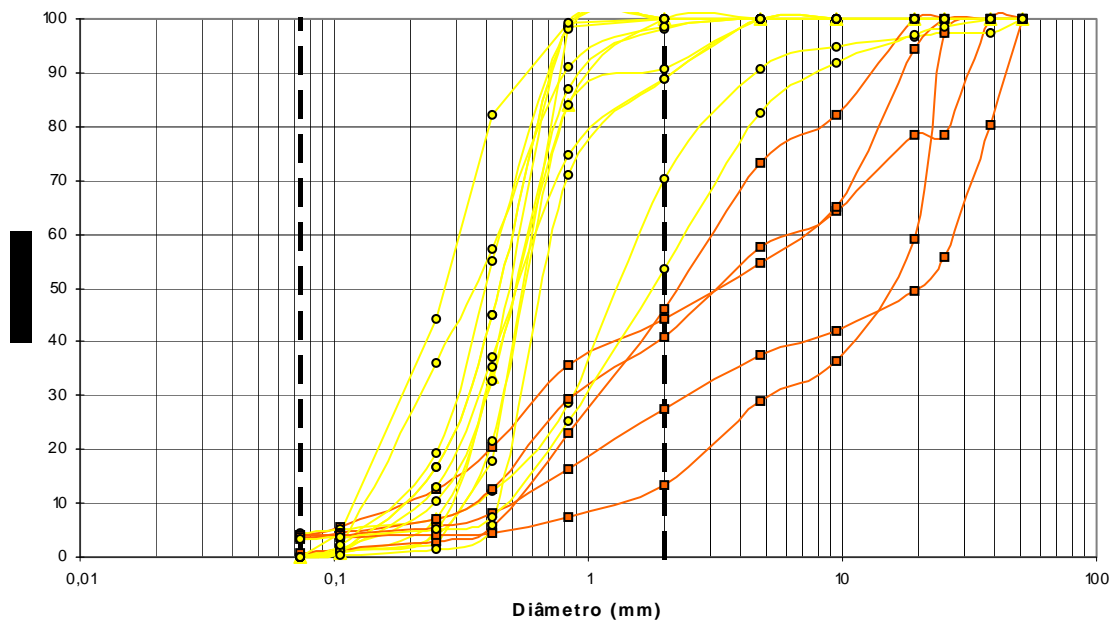
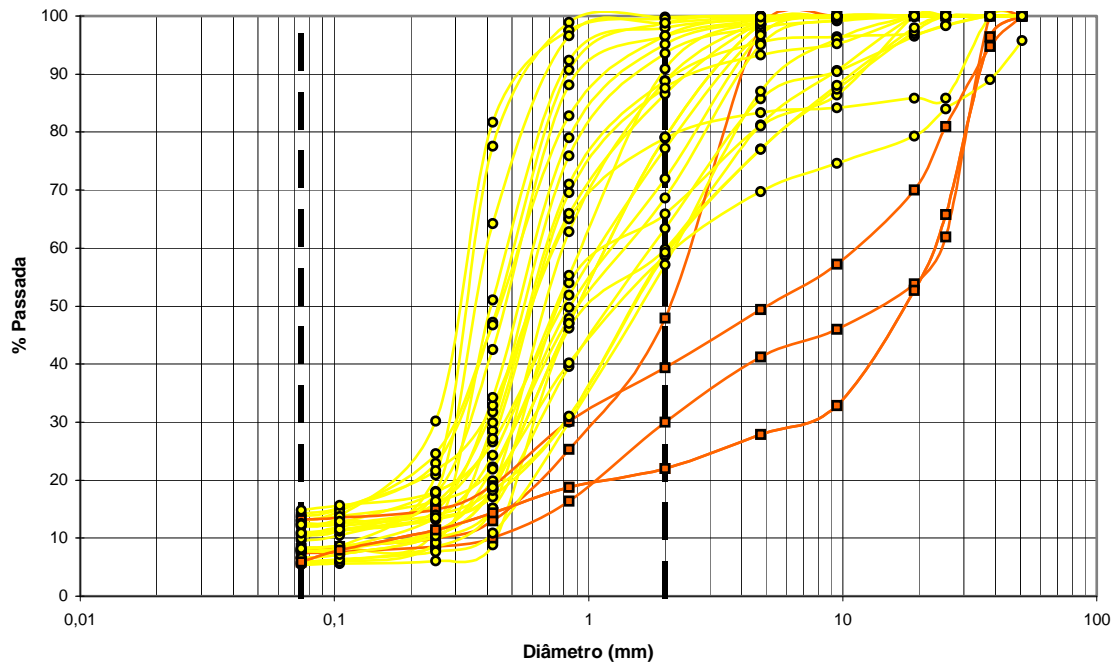


Figura VI.22 - Curvas granulométricas (peneiração húmida) de doze solos finos (percentagem passada ao peneiro n.º 200 da ASTM é pelo menos de 50%), do Complexo de areias com seixos e finos.



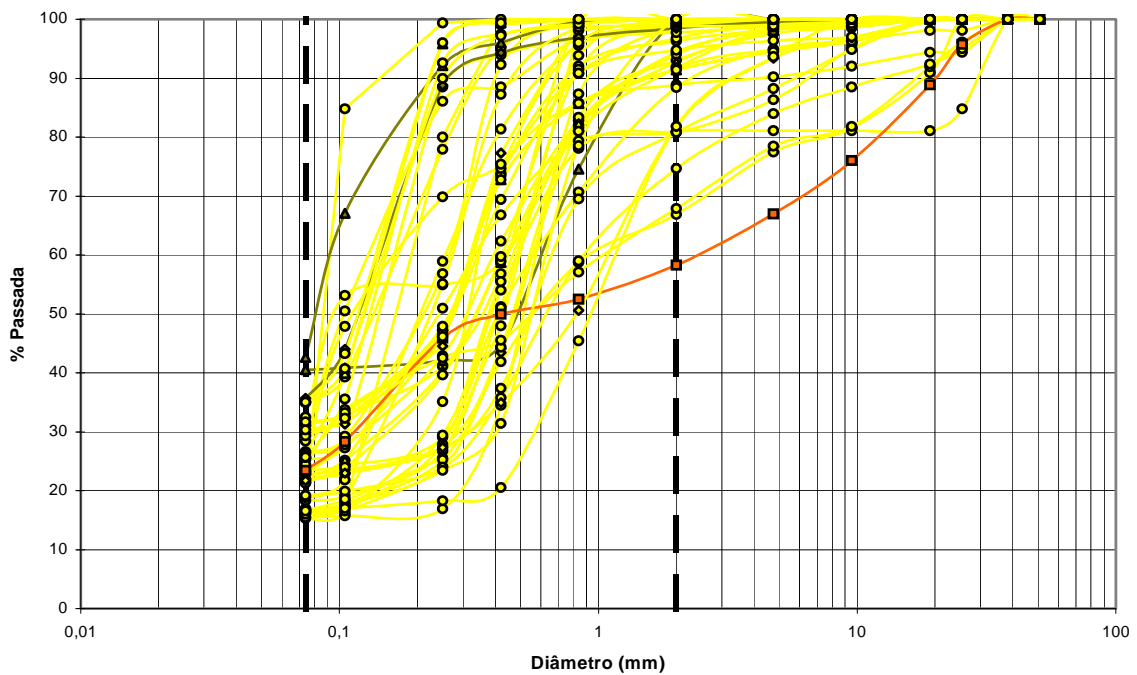
As amostras apresentadas a laranja são mais ricas na fracção seixo do que em areia; amostras arenosas estão a amarelo.

Figura VI.23 - Curvas granulométricas (peneiração húmida) de solos grossos, com menos de 5% de finos, do Complexo de areias com seixos e finos.



As amostras apresentadas a laranja são mais ricas na fracção seixo do que em areia; amostras arenosas estão a amarelo.

Figura VI.24 - Curvas granulométricas (peneiração húmida) de solos grossos, com 5% a 15% de finos, do Complexo de areias com seixos e finos.



As amostras apresentadas a laranja são mais ricas na fracção seixo do que em areia; amostras arenosas estão a amarelo; a verde areias com mais de 35% de finos.

Figura VI.25 - Curvas granulométricas (peneiração húmida) de solos grossos, com mais de 15% de finos, do Complexo de areias com seixos e finos.

A distribuição das classificações geotécnicas das amostras de solos deste complexo revelou a sua diversidade, na classificação unificada, verifica-se predomínio dos solos SM, areias siltosas (29%), e SC, areias argilosas (20%); seguidos ainda por cerca de 11% de solos do tipo SP-SM, areias mal graduadas siltosas (Fig.VI.26). Na classificação AASHTO, verifica-se igual preponderância (26%) dos subgrupos A-1-b e A-2-4, ambos com índices de grupo nulos.

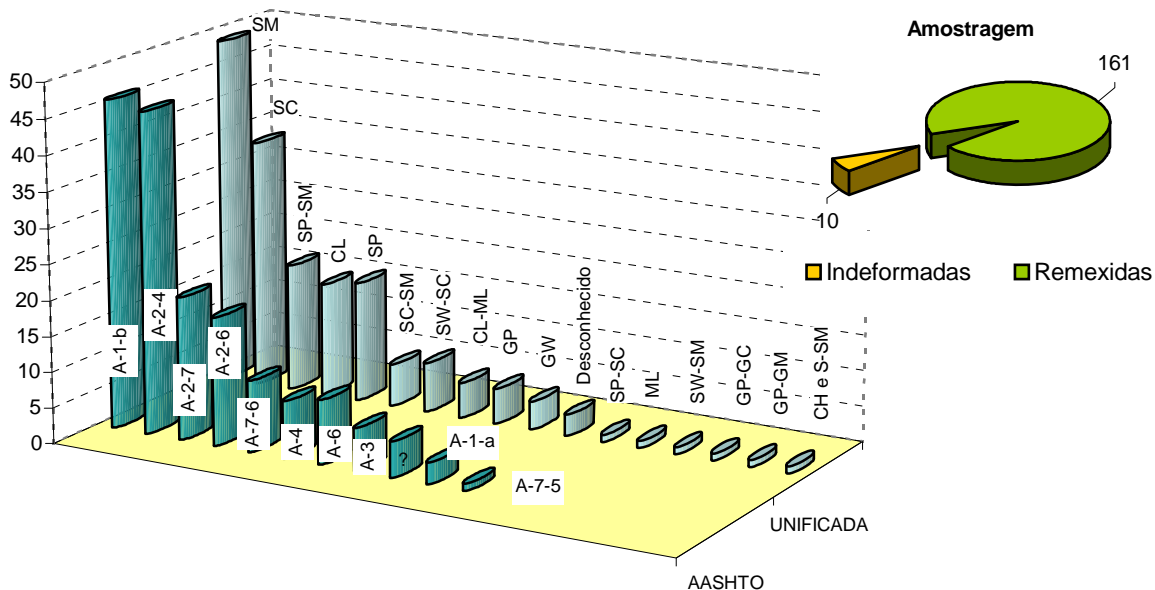


Figura VI.26 – Distribuição da classificação geotécnica dos solos do Complexo de areias com seixos e finos para as cento e setenta e uma amostras da BD.

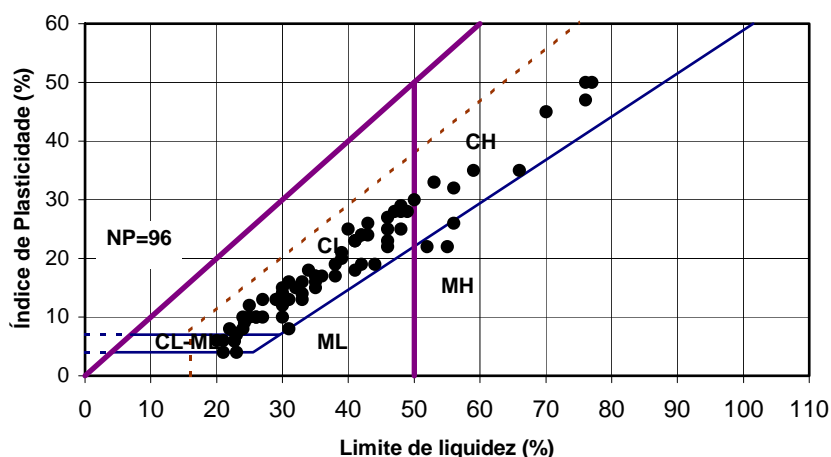


Figura VI.27 - Plasticidade das amostras contempladas no SIGEO-ALMADA para o Complexo de areias com seixos e finos.

A Figura VI.27 ilustra bem as diferentes plasticidades que se podem encontrar nos solos deste complexo. A maioria dos solos são não plásticos (53%), sucedem-lhes em importância os de plasticidade baixa (20% tem $LL < 30\%$) a média (17% possui $30\% \leq LL < 50\%$); e uma minoria de solos tem plasticidade elevada (5% tem $50\% \leq LL < 70\%$) a muito elevada (2% possui $70\% \leq LL < 90\%$).

Características Físicas

Os valores estatísticos para o peso volúmico seco (γ_d) e o teor em água natural (w_n) obtidos sobre, respectivamente, meia centena e centena e meia de amostras desta unidade, foram os seguintes:

	γ_d (kN.m^{-3})	w_n (%)
Mínimo	15	0
Máximo	22	23
Média	18	7
Desvio Padrão	1	6

A Figura VI.28 apresenta a distribuição dos Índices de Actividade de Skempton (I_a) obtidos para doze amostras de solos da BD, o que permite verificar que 42% das amostras se situam no domínio das argilas muito activas, logo seguidas por 33% nas activas, enquanto que as restantes 25% exibem actividade normal.

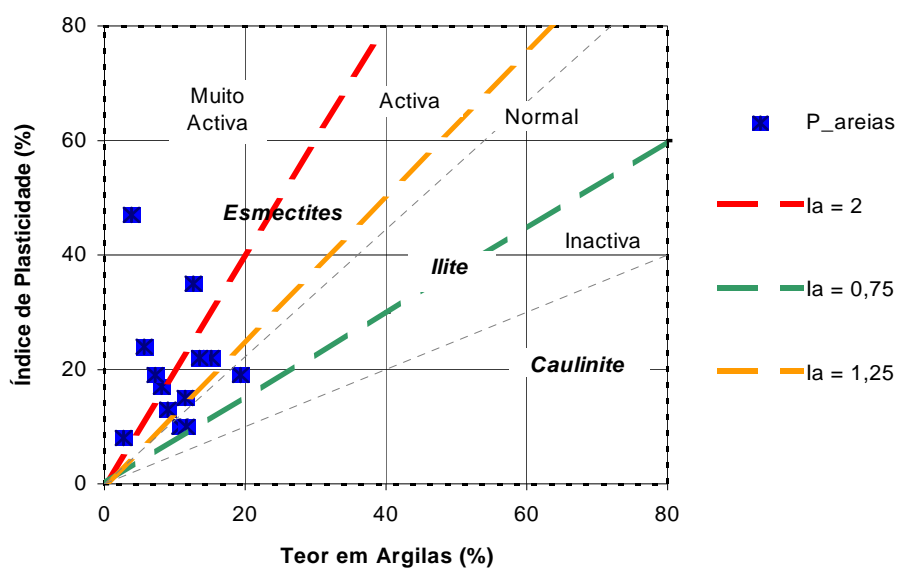


Figura VI.28 - Actividade da fracção de argila de acordo com o Índice de Actividade (I_a) de Skempton.

O estudo da fracção argilosa por DRX em nove amostras seleccionadas na presente investigação, revelou a presença de quatro tipo de pares de associações mineralógicas, revelando a diferente origem dos materiais argilosos desta unidade:

- Duas amostras (22%) revelaram igual predomínio de **caulinites e ilites** (75-80%) associadas a **esmectites** (20-25%);
- Noutras duas amostras (22%) as **ilites** eram dominantes (50%) e associavam-se a **caulinites e esmectites** em proporções idênticas (20-30% cada uma);
- Nos restantes cinco casos (56%), apenas foi encontrada a associação de **caulinites e ilites**, podendo distinguir-se três situações: dois casos em que a proporção encontrada era idêntica (50% cada); outros dois em que as **caulinites** eram largamente dominantes (85%) e, finalmente, uma ocorrência de ligeiro predomínio das **ilites** (60%).

Determinações laboratoriais da permeabilidade sobre amostras indeformadas das assentadas inferiores dos terrenos em referência, mais grosseiras e siltosas, forneceram valores médios da ordem de $1.3 \times 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$ (PEREIRA, 1995).

Características Mecânicas

Os seiscentos e quinze registos de ensaios SPT incluídos no SIGEO-ALMADA oscilam entre um valor N mínimo de 5 pancadas (por exemplo, **1005_1** ou **1053_1** aos 1.5-1.95m, entre outros) e cerca de trezentas e quinze (51%) negas, das quais 6% na primeira fase do ensaio; tais valores serão devidos, por um lado à presença de alguns elementos mais grosseiros de maior calibre, por outro a alguma cimentação que estes terrenos às vezes tendem a exhibir. O valor médio de N obtido é 48 pancadas, para um desvio padrão de 16 pancadas. A distribuição dos resultados obtidos em função da profundidade encontra-se na Figura VI.29.

De uma maneira geral, o aumento de calibre dos elementos da fracção grosseira traduz-se numa melhoria das propriedades mecânicas; o mesmo se verifica, em regra, com a idade geológica, isto é, os níveis inferiores deste complexo para além de serem globalmente constituídos por elementos de maior calibre e mais ricos em fracção grossa, também se apresentam mais cimentados e, assim, apresentam uma maior resistência à penetração; podem, inclusive, permitir a furação à rotação nalguns locais.

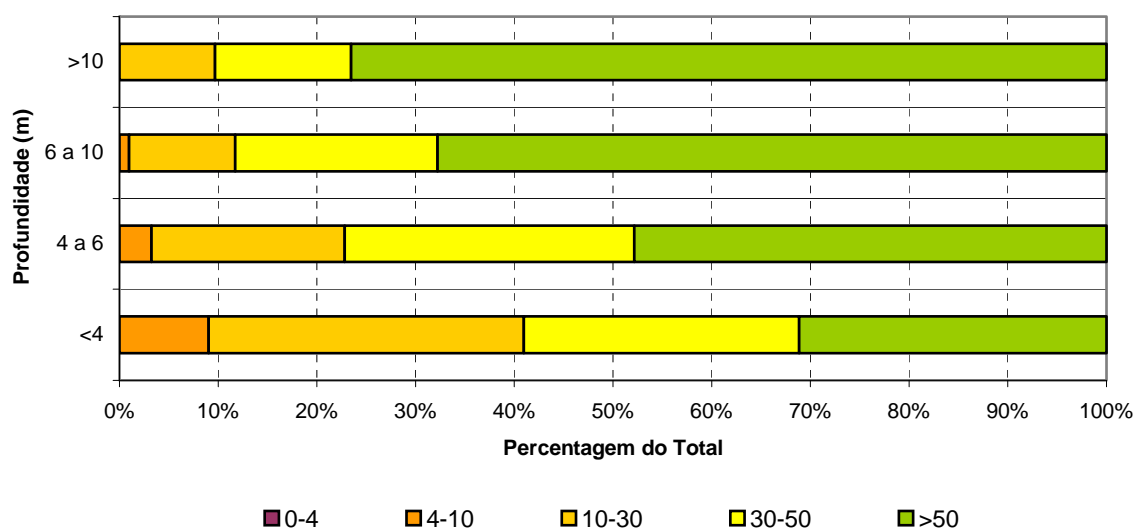


Figura VI.29 - Distribuição dos valores de ensaios SPT no Complexo de areias com seixos e finos, em função da profundidade.

No âmbito deste trabalho realizou-se apenas um ensaio de corte directo não consolidado, não drenado (**2207_1**), devido à dificuldade em obter amostras indeformadas de solos finos. Os resultados (Fig.VI.30) proporcionaram valor de coesão nula e de ângulo de atrito de $25,8^\circ$. Na totalidade dos ensaios de corte directo existentes na BD referentes a esta unidade (nove), regista-se que a coesão oscila entre 0 e 20 kPa e o ângulo de atrito varia entre 26° e 45° ; os valores médios encontrados foram de, respectivamente, 3 kPa e 36° , a que correspondem desvios padrão de 7 kPa e 6° .

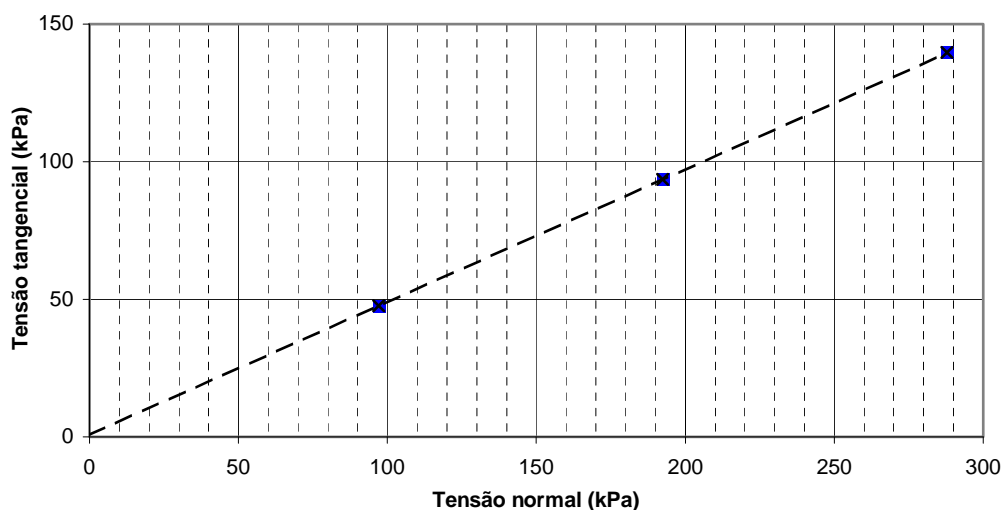


Figura VI.30 - Resultado de um ensaio de corte directo (UU) na amostra **2207_1**.

Com base nos resultados obtidos em vinte ensaios de **compactação pesada** da BD, obteve-se a seguinte gama de valores estatísticos para o peso volúmico seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) e o respectivo teor óptimo em água ($w_{\acute{o}pt}$):

	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	$w_{\acute{o}pt}$ (%)
Mínimo	18	6
Máximo	22	16
Média	20	9
Desvio Padrão	1	2

Na BD constam vinte e cinco valores de ensaios de **CBR**, dos quais treze para um grau de compactação de 95% e para teores em água iguais ao óptimo, que oscilaram entre 5% e 37%, com um valor médio de 22% e um desvio padrão de 11%.

Os terrenos deste complexo são, geralmente, escaváveis pelos métodos mecânicos correntes; eventuais intercalações de materiais grosseiros com fraca cimentação podem gerar situações de instabilidade nos taludes.

Condições Hidrogeológicas

Apenas 41% das oitenta e sete sondagens incluídas na base de dados e que intersectaram este complexo desde a superfície, detectaram a presença do nível da água durante a furação. Este oscilou entre subsuperficial (1,0 m) (**1226** e **1227**) e os 15,5 m de profundidade (**1051**); para um valor médio de 5,3 m e um desvio padrão de 4,2 m. Não se encontrou qualquer registo que indicasse eventuais variações da posição do nível freático durante a furação.

Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos

Localização e Constituição

Os terrenos miocénicos que integram este complexo distribuem-se segundo uma faixa de orientação Este - Oeste, ao longo do limite setentrional do concelho, junto ao Tejo e conformam, ainda, a plataforma do topo dos taludes da margem sul do Tejo até próximo da vala da Enxurrada; para poente e sul desta depressão, emergem acima dos depósitos de vertente e constituem a base do extremo mais setentrional da Arriba Fóssil, desaparecendo junto à intersecção desta arriba com o IC 20.

A caracterização desta unidade baseou-se em informação contida na BD relativa a quarenta e nove dados pontuais divididos por vinte e seis sondagens de furação e vinte e três trincheiras, poços ou valas, onde se obtiveram amostras que foram ensaiadas em laboratório visando a sua caracterização geotécnica. Colheram-se, na totalidade, vinte e sete amostras de solo (56% das quais obtidas no presente estudo), das quais nove (40%) indeformadas (Fig. VI.32) e, ainda, cerca de cinquenta e um provetes de rochas calcareníticas que foram submetidos a ensaios de compressão uniaxial.

A análise de cento e quarenta e quatro registos do SIGEO-ALMADA contendo a descrição de camadas interceptadas por prospecção mecânica, permitiu verificar que 30% correspondem a solos arenosos e 20% a rochas calcareníticas (calcários e arenitos); os restantes 50% correspondem a solos finos, dos quais 60% são siltes.

Espessura

A espessura deste complexo varia desde cerca de uma dúzia de metros sob o Cristo Rei, junto ao Tejo, até pouco mais de duas dezenas de metros para os terrenos que constituem a plataforma superior dos taludes da margem sul do Tejo.

Terra Vegetal

A análise da espessura média de terra vegetal obtida em sete registos pontuais do SIGEO-ALMADA, permitiu obter um valor de 0,75 m com um desvio padrão de 0,35 m. Este valor médio elevado prende-se certamente com as actividades agrícolas a que esta unidade foi submetida nalgumas áreas do concelho.

Identificação

As curvas granulométricas que se incluem nos ensaios realizados no decorrer do trabalho são apresentadas na Fig.VI.31.

Todas as amostras deste complexo geotécnico incluídas na BD permitiram avaliar os seguintes valores limites e médios para as fracções de areia e de finos:

	Areia (%)	Finos (%)
Mínimo	0	0
Máximo	100	73
Média	59	29
Desvio Padrão	33	24

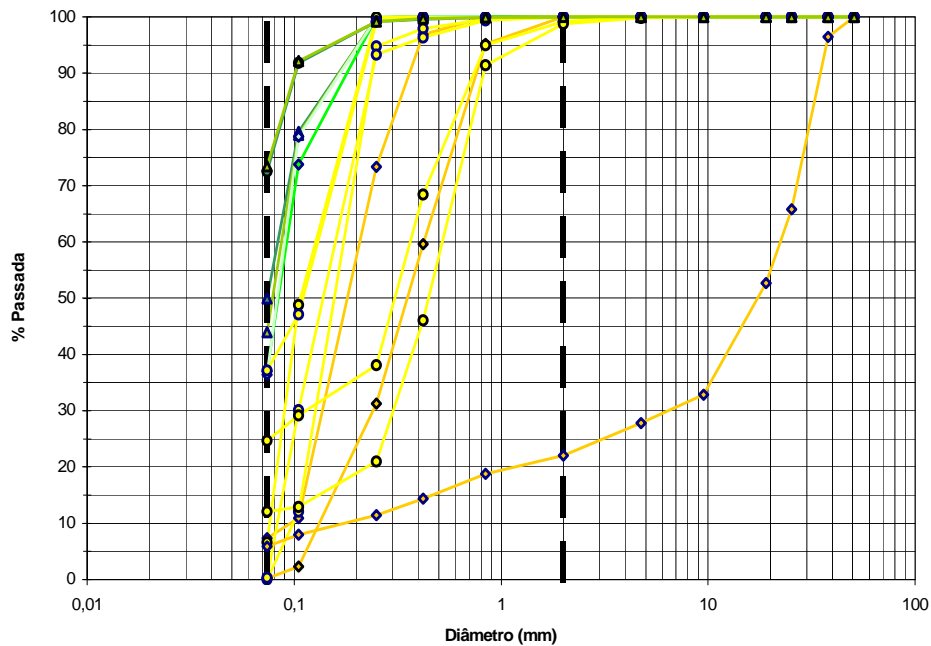


Figura VI.31 - Curvas granulométricas (peneiração húmida) de quinze solos do Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos.

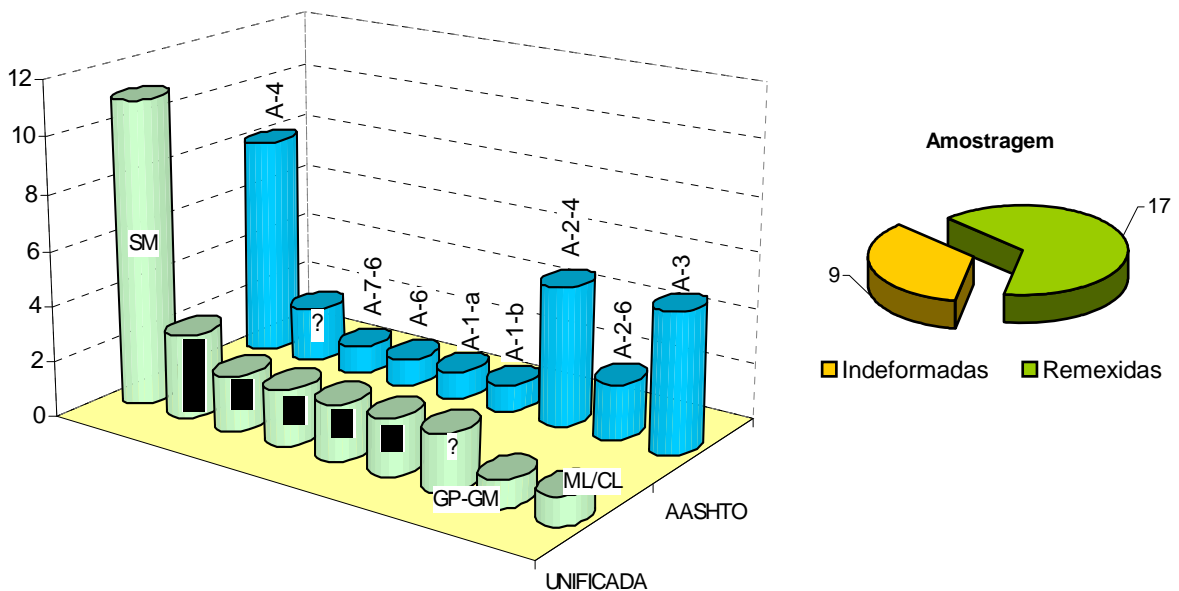


Figura VI.32 – Distribuição da classificação geotécnica dos solos do Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos, para as vinte e seis amostras da base de dados.

A análise dos dados referentes à classificação geotécnica das amostras em referência (Fig. VI.32), revela que os solos são predominantemente (42%) do tipo SM, areia siltosa; e

secundariamente (12%) SP-SM, areia mal graduada com silte. Em relação à classificação AASHTO, os solos distribuem-se preponderantemente pelos grupos A-4 (31%), com índices de grupo entre 0 e 8, e A-2-4 ou A-3 (19% cada), com índices 0.

O estudo dos limites de consistência (Fig. VI.33) para vinte e cinco das vinte e seis amostras do SIGEO-ALMADA, revelou que apenas 28% (sete) possuem plasticidade e, destas, somente duas têm plasticidade média ($30\% < LL < 50\%$) e uma elevada ($50\% < LL < 70\%$). A maioria dos finos é, pois, não plástico e, secundariamente, de plasticidade baixa a média.

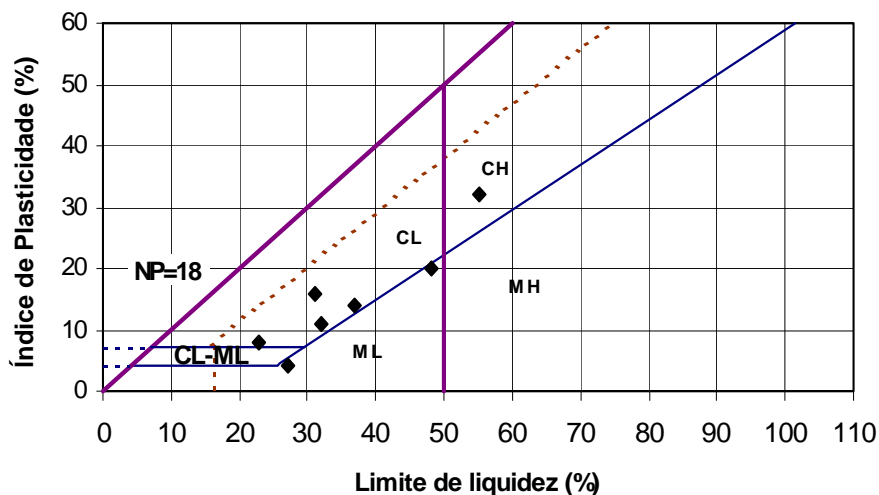


Figura VI.33 - Plasticidade de vinte e cinco das vinte e seis amostras incluídas na BD para o Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos.

Características Físicas

O peso volúmico seco obtido para nove amostras desta unidade varia entre 16 e 20 kN.m^{-3} ; o valor médio é de 18 kN.m^{-3} e o desvio padrão de 1 kN.m^{-3} . O teor em água natural para dezanove amostras oscila entre 1% e 26%, com um valor médio de 9% e um desvio padrão elevado, de 8%.

Características Mecânicas

A BD inclui duzentos e seis registos de ensaios SPT em terrenos desta unidade geotécnica, oscilando os valores de N entre um mínimo de 7 pancadas (**1376_7** aos 9-9,45 m) e valores de nega, tendo-se contabilizado, no total dos ensaios, noventa negas (44%) das quais dezoito (20%) na primeira fase do ensaio; num ensaio realizado em

bancada carbonatada ocorreu a menor penetração, de valor nulo (**1375_8** aos 11 m). O valor médio rondou as 45 pancadas, com um desvio padrão de 18 pancadas. A Figura VI.34 mostra a distribuição dos valores obtidos em função da profundidade.

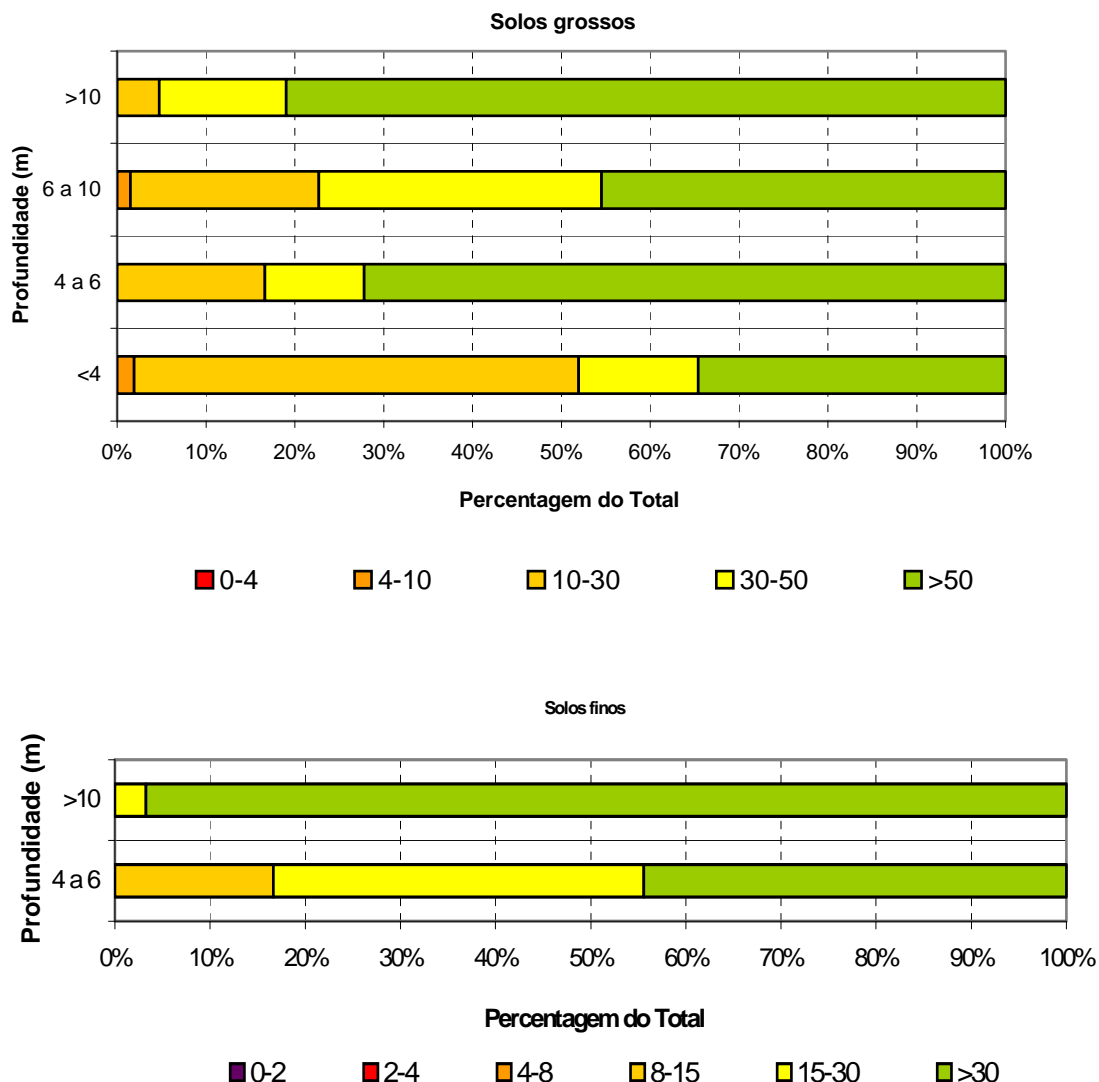


Figura VI.34 - Distribuição dos valores de ensaios SPT no Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos, com a profundidade.

Realizaram-se, no âmbito deste trabalho, três ensaios de **corte directo**, consolidados (Fig. VI.35), dos quais dois foram drenados (**2212_1** e **2234_1**, sendo este último reversível) e um não drenado (**2212_2**). O provete utilizado no último ensaio teve que ser remoldado para as condições de teor em água e peso volúmico naturais, por a amostra indeformada original se ter fissurado durante a obtenção de provetes para ensaio. Os valores de coesão de pico obtidos nos ensaios lentos foram de 36 e 95 kPa e de 28,8° e 32,7° para o ângulo de atrito; no ensaio residual, a coesão e o ângulo de atrito desceram

para 58 kPa e 12°, respectivamente. O ensaio do provete remoldado não exibiu coesão e o ângulo de atrito foi de 39°, em termos de tensões totais.

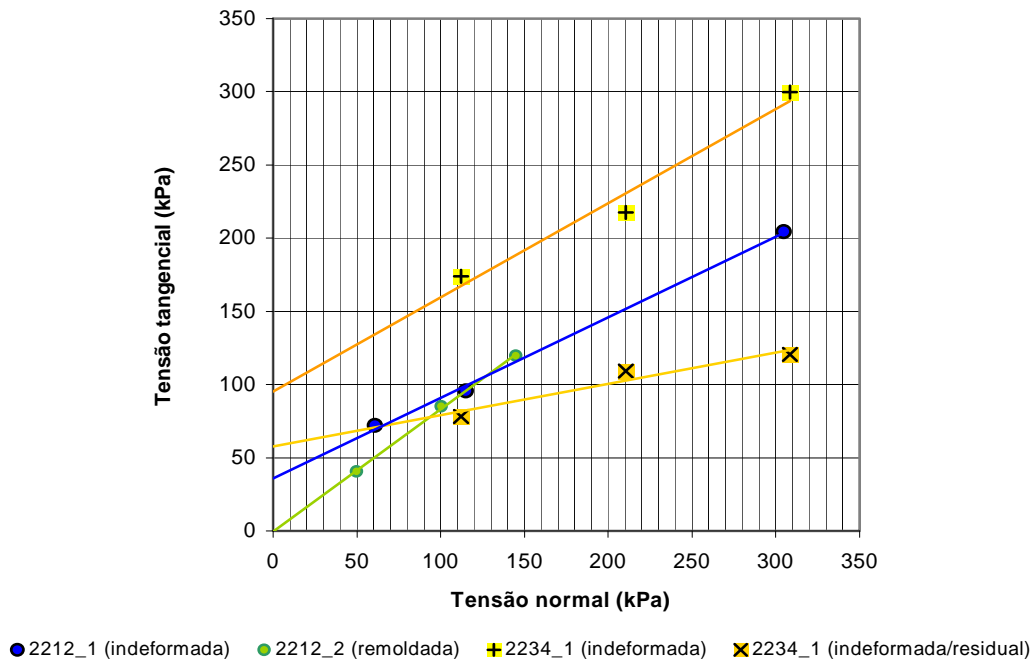


Figura VI.35 - Síntese de três ensaios de corte directo consolidados, dois drenados (2212_1 e 2234_1, sendo este também reversível) e outro não drenado (2212_2), sobre amostras do Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos.

Na totalidade dos sete ensaios de corte directo contidos na BD para esta unidade, a coesão e o ângulo de atrito apresentaram os seguintes valores médios e limite:

	Tensões efectivas ($n = 3$)		Tensões totais ($n = 4$)	
	c' (kPa)	Φ' (°)	c (kPa)	Φ (°)
Mínimo	0	29	0	24
Máximo	36	36	95	39
Média	24	34	32	32
Desvio Padrão	-	-	-	-

$n =$ número total de ensaios a que se reportam os dados

Na presente investigação, os resultados obtidos em dois ensaios edométricos sobre amostras indeformadas de solos desta unidade (Fig. VI.36), que correspondem a 40% do total de dados disponíveis sobre a **compressibilidade** da unidade geotécnica em referência, vieram confirmar estar-se em presença de solos sobreconsolidados. Os valores estatísticos obtidos para os parâmetros de deformação incluídos no SIGEO-

-ALMADA para a fase de compressão e de expansão de cinco ensaios edométricos, foram os seguintes:

	ei	ef	Cc (cm ² .s ⁻¹)	Cv (cm ² .s ⁻¹)	σ _{po} (kPa)	Ce (cm ² .s ⁻¹)
Mínimo	0,562	0,438	0,056	0,0013	34	0,009
Máximo	0,707	0,662	0,132	0,0027	92	0,046
Média	0,620	0,541	0,095	0,0019	70	0,029
Desvio Padrão	0,051	0,088	0,032	0,0005	23	0,014

ei= índice de vazios inicial; ef= índice de vazios final; Cc= índice de compressibilidade em cm².s⁻¹; Cv = coeficiente de consolidação em cm².s⁻¹; σ_{po} = tensão de pré-consolidação (kPa); Ce = índice de expansibilidade/recompressibilidade em cm².s⁻¹.

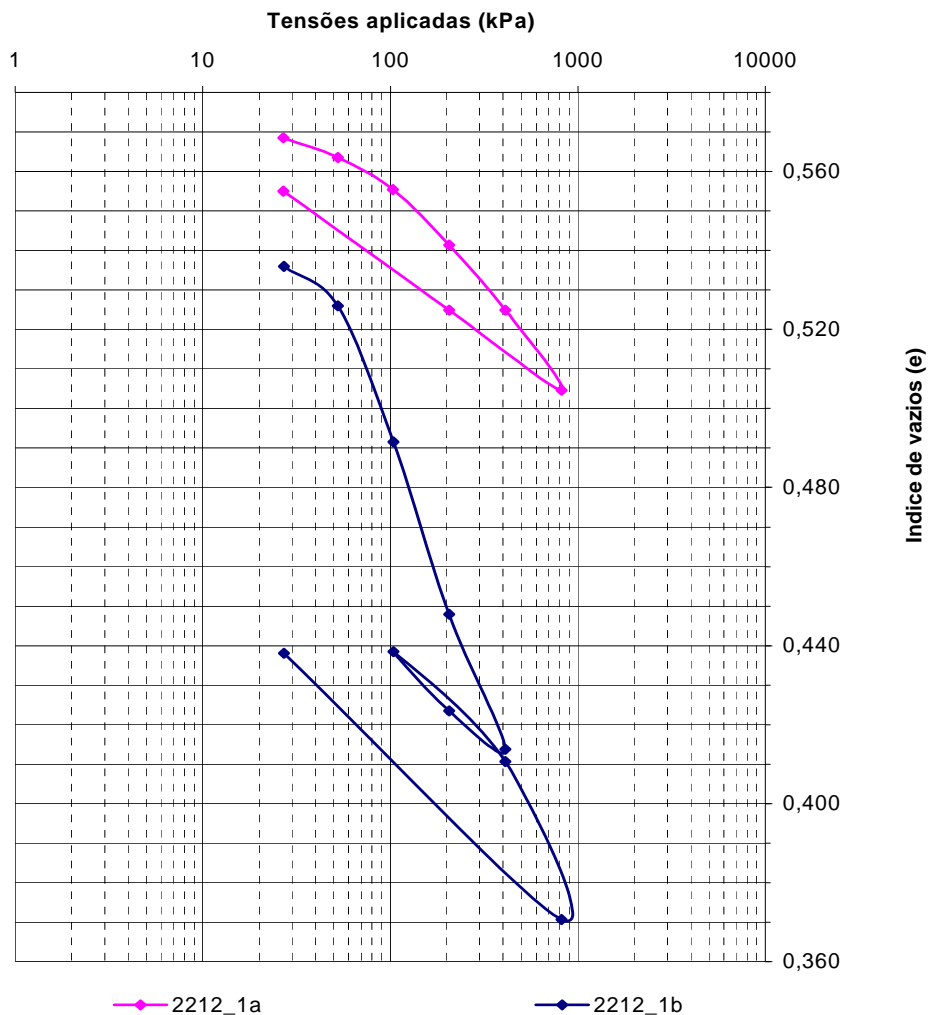


Figura VI.36 – Curvas de compressibilidade para dois ensaios edométricos realizados em amostras indeformadas de solos finos do Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos.

Com base nos resultados obtidos em dois ensaios de **compactação pesada**, compilados para o SIGEO-ALMADA, obtiveram-se os valores de 17 e 19 kN.m^{-3} para o peso volúmico seco máximo a que corresponderam teores óptimos em água de 10 e 13%.

Foram incluídos na BD também dois resultados de ensaios de **CBR** para um grau de compactação de 95% e teores em água iguais ao óptimo, com valores de 24 e 27%.

A caracterização geotécnica das rochas deste complexo, de baixa a muito baixa resistência, baseia-se num conjunto de ensaios sobre provetes obtidos no desenrolar do presente trabalho e que incluiu a determinação da resistência à compressão uniaxial (**S**), da porosidade (**n**) e do peso volúmico aparente (γ). Os resultados encontram-se sintetizados no Quadro VI.3.

Quadro VI.3 - Valores estatísticos de algumas propriedades físicas e mecânicas das rochas do Complexo de areias, siltes argilosos e calcarenitos espessos.

	S (MPa)	n (%)	γ (kN.m^{-3})
<i>Mínimo</i>	4	13	21
<i>Máximo</i>	14	24	23
<i>Média</i>	8	20	22
<i>Desvio Padrão</i>	4	5	1

Os materiais terrosos deste complexo são escaváveis e as rochas de baixa a muito baixa resistência que incluem são ripáveis; contudo, poderá ter que recorrer-se a desmonte a explosivo em caso de eventuais intercalações rochosas de média resistência, dependendo da espessura de material envolvido.

Condições Hidrogeológicas

Das vinte e seis sondagens que interessaram esta unidade desde a superfície, apenas nove (35%) apresentaram registos do nível da água durante a furação, que oscilou entre a profundidade mínima de 4,7 m (**1095**) e máxima de 12 m (**1375**); o valor médio obtido foi de 6,4m com um desvio padrão de 2,1 m. Apenas dois (33%) registos (**1065** e **1150**) detectaram variação na posição do nível: num caso, ele ascendeu para metade da

profundidade (1065, de 11 m para 5,5 m) e noutra afastou-se mais da superfície (1150, oscilou de 4,1 m para 6,8 m).

Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados

Localização e Constituição

Este complexo de terrenos miocénicos aflora no reverso da costeira dos taludes da margem sul do Tejo, segundo uma disposição NE-SW entre a Margueira e o nó da A 2 com o IC 20; daqui em diante, surge segundo uma faixa E-W, envolvente ao IC 20; na zona de Brielas ocorre a culminar a Arriba Fóssil e prolonga-se depois para sul, descendo lentamente até desaparecer pouco antes da Descida das Vacas. Foi ainda detectado nas margens da Ribeira da Foz do Rego e de alguns afluentes, bem como a sul da Fonte da Telha, onde o seu topo surge de onde em onde, em pequenos afloramentos que emergem dos depósitos de vertente, junto à base da Arriba Fóssil.

O SIGEO-ALMADA inclui cento e vinte e sete dados pontuais repartidos por oitenta e nove sondagens de furação, trinta e seis trincheiras, poços ou valas, e ainda dois furos hidrogeológicos (3002 e 3011). A caracterização geotécnica desta unidade baseou-se em informação relativa a um total de cento e vinte e três amostras de solo (Fig. VI.38), das quais quinze (12%) indeformadas, e ainda de cerca de setenta e três provetes de solos rijos ou de rochas que foram submetidos a ensaios de compressão uniaxial. No decurso do presente trabalho foram expressamente realizados 18% (22 amostras) dos ensaios de solos e 77% (56 provetes) dos ensaios de rochas.

A análise de duzentos e noventa e nove registos referentes a camadas interessadas pelos ensaios SPT, revelaram que 68% correspondem à descrição de solos finos, sendo 54% destes designados como siltes/areolas; 23% do total como areias e arenitos e os restantes 9% como rochas brandas carbonatadas (calcários, cascões e margas calcárias).

Espessura

A espessura deste complexo é elevada admitindo-se que, no seu conjunto, possa ultrapassar as cinco dezenas de metros.

Terra Vegetal

A consulta de sete registos da BD permitiu avaliar uma espessura média de terra vegetal de 0,75 m, com um desvio padrão de 0,35 m. O valor mínimo registado foi de 0,5 m.

Identificação

O estudo estatístico dos valores de percentagem de finos e de areia para o conjunto das cento e vinte e três amostras da BD atribuídas a esta unidade levou à obtenção dos seguintes valores:

	Areia (%)	Finos (%)
Mínimo	0	5
Máximo	76	100
Média	20	79
Desvio Padrão	22	24

O conjunto de curvas granulométricas (vinte e duas) obtidas no decorrer deste trabalho para a unidade geotécnica em referência revelou alguma heterogeneidade na constituição dos terrenos que a integram (Fig.VI.37).

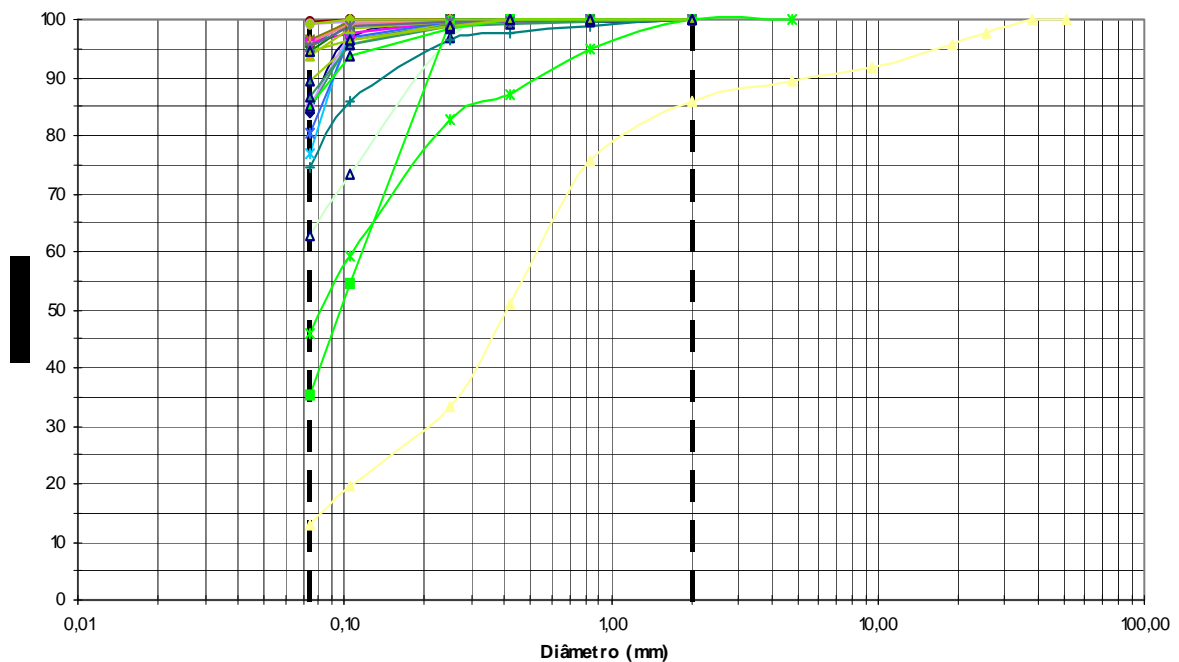


Figura VI.37 - Curvas granulométricas (peneiração húmida) das amostras recolhidas no Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados.

A percentagem de silte e de argila foi determinada em quatro amostras, duas das quais no âmbito do presente estudo. O silte oscilou entre 50% e 80%, para um valor médio de 72% e um desvio padrão de 13%. A percentagem de argila variou de 9% a 27%, com um valor médio de 16% e um desvio padrão de 7%.

A distribuição das classificações geotécnicas das amostras de solo revelou que, na BD e em função da Classificação Unificada, existe um predomínio do tipo ML (53%), essencialmente siltes com areia ou arenosos; verificou-se que na Classificação AASHTO, há também preponderância de um grupo, A-4 (61% das ocorrências), com índices de grupo que variam entre 0 e 8 (Fig. VI.38).

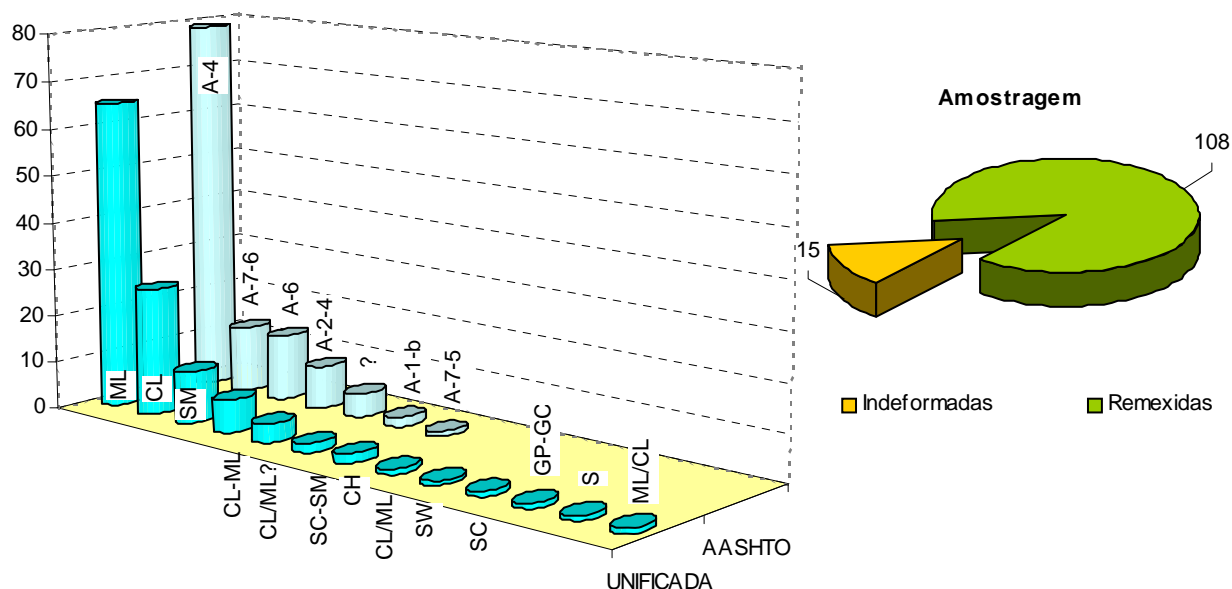


Figura VI.38 – Distribuição da classificação geotécnica dos solos do Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados, para as cento e vinte e três amostras da base de dados.

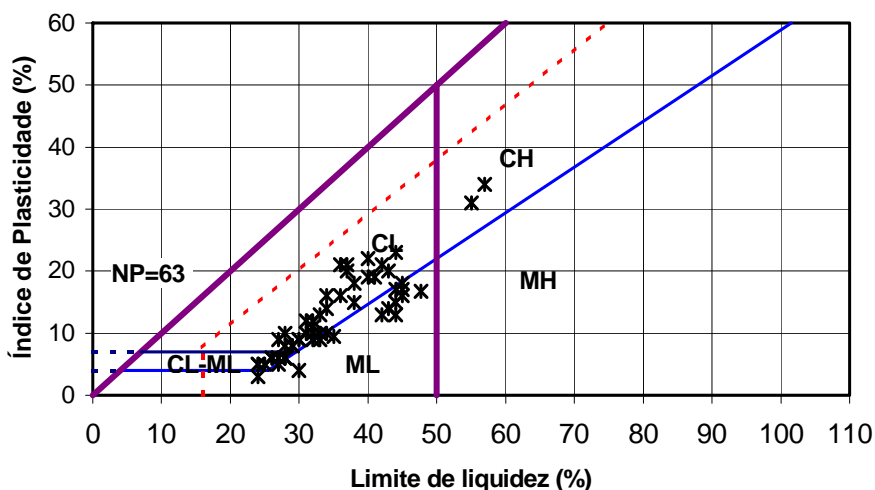


Figura VI.39 - Plasticidade de cento e dezoito amostras das cento e vinte e três incluídas no SIGEO-ALMADA para o Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados.

A maioria dos solos é não plástica (53%); 31% das amostras (Fig. VI.39) possuem limite de liquidez entre 30% e 50% (plasticidade/compressibilidade médias) e 14% tem

LL < 30% (plasticidade/compressibilidade baixas). Registaram-se apenas dois casos (2%) de solos com limites de liquidez entre 50% e 70% (plasticidade elevada).

Características Físicas

Os valores estatísticos para o peso volúmico seco (γ_d) e o teor em água natural (w_n) obtidos sobre, respectivamente, dezanove e trinta e duas amostras desta unidade, foram os seguintes:

	γ_d (kN.m ⁻³)	w_n (%)
Mínimo	15	1
Máximo	20	30
Média	18	16
Desvio Padrão	1	8

Das seis amostras desta unidade na BD que permitem caracterizar a actividade das argilas (Figura VI.40), incluem-se três (50%) na categoria das argilas normais, classificando-se cada uma das restantes no domínio das argilas inactivas, activas e muito activas.

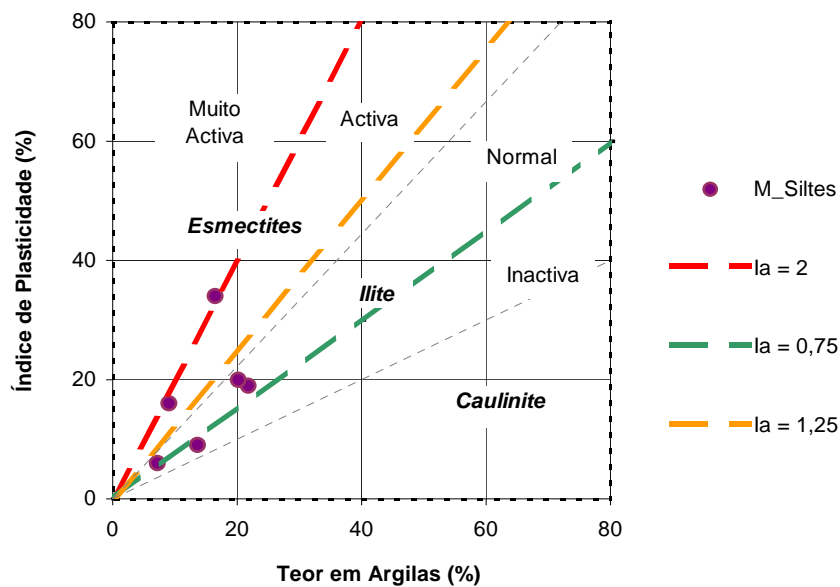


Figura VI.40 - Actividade da fracção argila de acordo com o Índice de Actividade (I_a) de Skempton.

Análises de DRX em quatro amostras para determinar a composição da fracção argilosa indicaram que esta corresponde predominantemente à associação **ilites e esmectites**, sendo a **caulinite** acessória, com valores entre 10 e 15%. Estes resultados corroboram a distribuição que se pode observar na Figura VI.40.

Características Mecânicas

Em quatrocentos e vinte e cinco registos de **ensaios SPT** da BD, verificaram-se cento e setenta e seis (41%) negas, das quais 16% na primeira fase do ensaio (penetração nula para **1160_3** aos 3m, num arenito calco-margoso). O menor valor obtido para N foi de 3 pancadas (**1162_1** aos 1-1,45m), sendo a média geral de 44 pancadas, para um desvio padrão de 17 pancadas. A distribuição dos resultados obtidos em função da profundidade encontra-se na Figura VI.41.

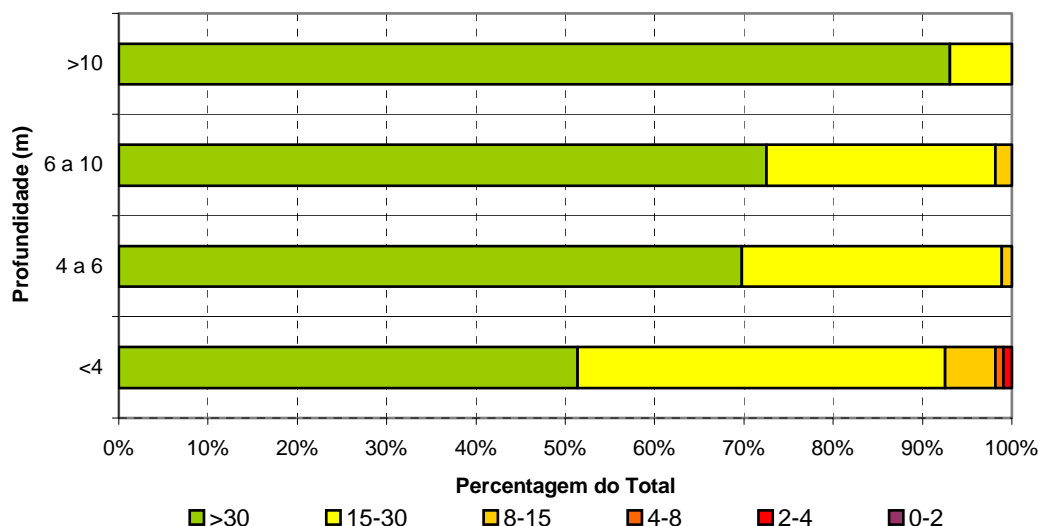


Figura VI.41 - Distribuição dos valores de ensaios SPT no Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados, em função da profundidade.

Realizaram-se, no âmbito deste trabalho, quatro ensaios de **corte directo** consolidados, três drenados e um não drenado (**2258_1**), conforme metodologia apresentada no capítulo precedente. Os resultados apresentam-se na Figura VI.42. Nos ensaios drenados, os valores de coesão e ângulo de atrito obtidos estão compreendidos, respectivamente, entre 21,9 kPa e 41,8 kPa e 25,3° a 30,8°. O valor de coesão mais elevado registou-se no ensaio não drenado (54,7 kPa), para um ângulo de atrito de 30,6°.

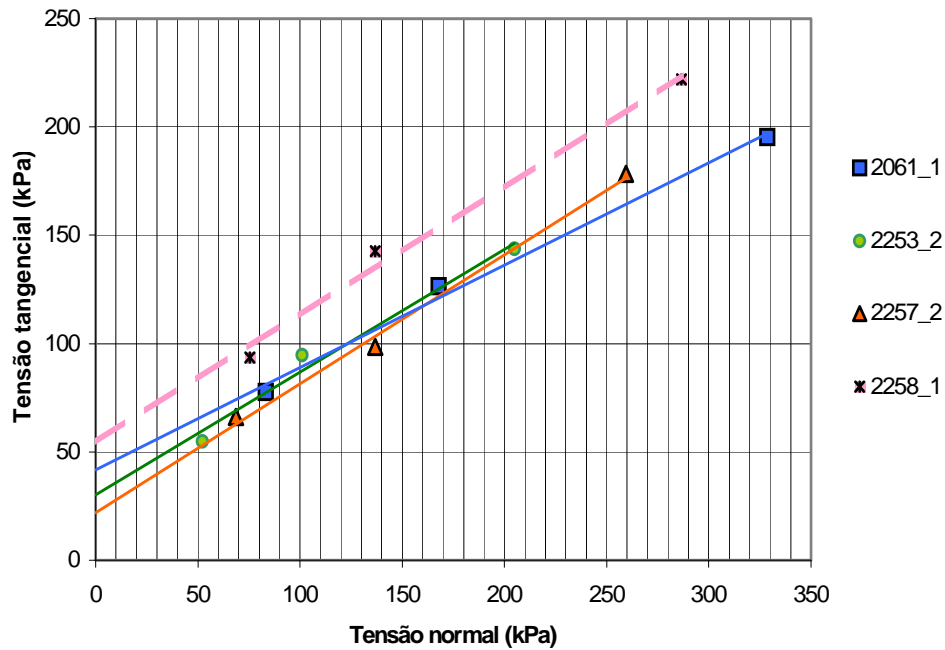


Figura VI.42 - Síntese de quatro ensaios de corte directo, consolidados, sobre amostras do Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados.

O único ensaio não drenado corresponde à amostra **2258_1**.

Na totalidade dos dezassete ensaios de corte directo incluídos na BD para esta unidade, a coesão e o ângulo de atrito apresentaram os seguintes valores estatísticos:

	Tensões efectivas ($n = 13$)		Tensões totais ($n = 4$)	
	c' (kPa)	Φ' (°)	c (kPa)	Φ (°)
Mínimo	0	19	10	28
Máximo	93	44	59	45
Média	25	30	37	35
Desvio Padrão	23	6	-	-

Os resultados obtidos, durante o presente trabalho, em três **ensaios edométricos** sobre amostras indeformadas de solos desta unidade (Fig. VI.43), que correspondem a 75% do total de ensaios disponíveis na BD, vieram confirmar estar-se em presença de solos sobreconsolidados. Os valores estatísticos obtidos para o conjunto de quatro resultados de ensaios incluídos no SIGEO-ALMADA apresentam-se no Quadro VI.4.

Quadro VI.4 – Resultados de quatro ensaios de compressibilidade (valores estatísticos) da BD obtidos em solos do Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados.

	e_i	e_f	C_c ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	C_v ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	σ_{p_0} (kPa)	C_e ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
Mínimo	0,443	0,434	0,045	0,0007	56	0,010
Máximo	0,792	0,751	0,199	0,0051	177	0,081
Média	0,610	0,558	0,095	0,0024	108	0,028

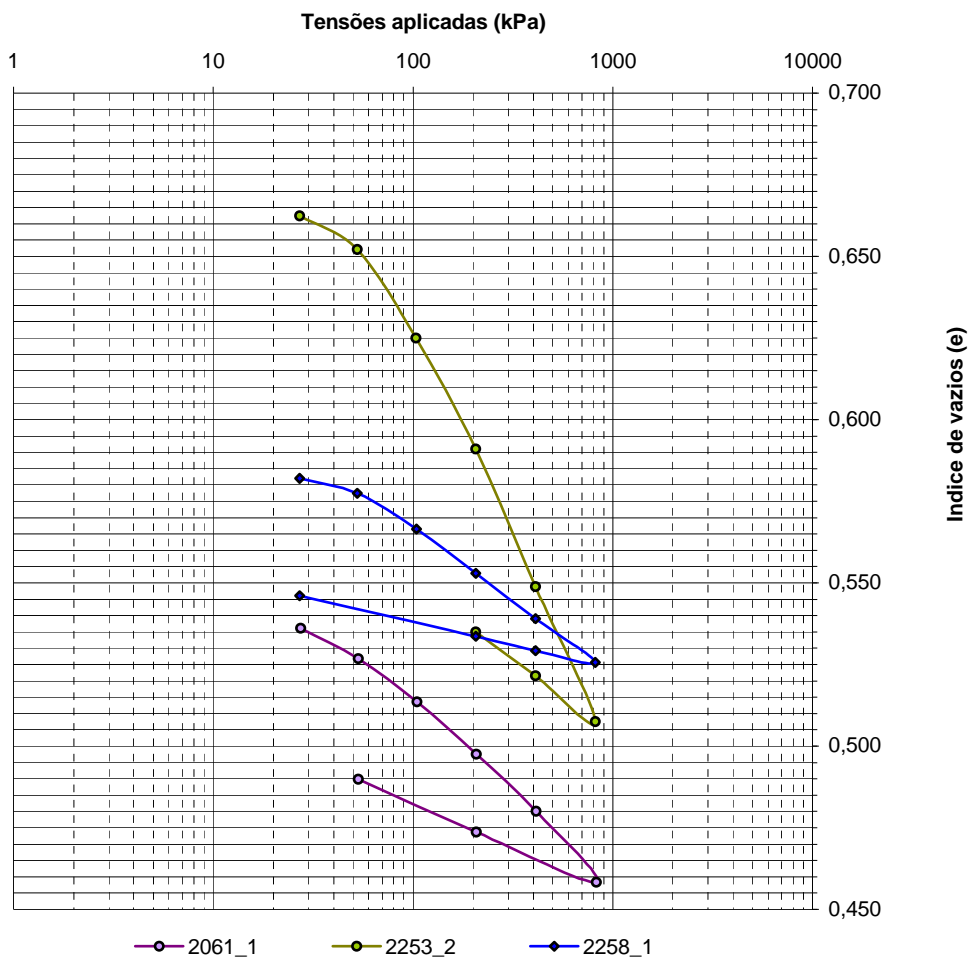


Figura VI.43 – Curvas de compressibilidade obtidas nos três ensaios edométricos realizados em amostras indeformadas de solos finos do Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados.

Com base nos resultados obtidos em vinte e oito ensaios de **compactação pesada**, obteve-se a seguinte gama de valores estatísticos:

	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kN.m ⁻³)	$W_{\acute{o}pt}$ (%)
Mínimo	16	11
Máximo	19	17
Média	18	15
Desvio Padrão	1	2

Da BD constam duas dezenas de resultados de ensaios de **CBR**, dos quais treze se referem a um grau de compactação de 95% e teores em água iguais ao óptimo. Os resultados destes últimos ensaios oscilaram entre 1% e 31% para o CBR, com um valor médio de 16% e um desvio padrão de 11%.

A caracterização geotécnica das rochas de baixa a muito baixa resistência incluídas neste complexo baseia-se nos valores de resistência à compressão uniaxial (**S**), porosidade (**n**) e peso volúmico aparente (γ) incluídos no SIGEO-ALMADA, cujos valores estatísticos se encontram sintetizados no Quadro VI.5.

Quadro VI.5 – Valores estatísticos de algumas propriedades físicas das rochas incluídas no Complexo de siltes e siltes argilosos a arenosos, às vezes carbonatados.

	S (MPa)	n (%)	γ (kN.m ⁻³)
Mínimo	0,2	30	16
Máximo	10,6	39	19
Média	4,0	35	18
Desvio Padrão	3,2	4	1

A globalidade dos materiais que integram este complexo são escaváveis; contudo, poderão ocorrer alguns níveis carbonatados ripáveis.

Condições Hidrogeológicas

Apenas trinta e duas (43%) sondagens que intersectaram esta unidade detectaram o nível da água durante a furação, que oscilou entre um mínimo de 1m (**1070**) e um máximo de

12m de profundidade (**1303**); o valor médio obtido foi de 6,1m com um desvio padrão de 2,6m. Em cerca de 38% daqueles registos verificou-se artesianismo.

Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos

Localização e Constituição

Os materiais miocénicos incluídos nesta unidade ocorrem essencialmente nos taludes da margem sul do Tejo, estendendo-se desde a Mutela e Cacilhas, seguindo daqui até à Trafaria, alternando com outra unidade anteriormente descrita – o Complexo de areias, siltes e calcarenitos espessos. A poente do *campus* da FCT/UNL, surgem também ao longo das encostas dos vales afluentes da Vala da Enxurrada; desta Vala para poente ocorrem junto à base da Arriba Fóssil, na Raposeira, e mais a sul a culminar a arriba, entre as Quintas do Tecelão e da Corvina. Daqui para sul, vão descendo gradualmente em altitude, conformando a base dos taludes do IC 20 quando este intersecta a arriba; mais a sul, ainda é possível observá-los na Boca do Grilo, passando então a estar encobertos pelos depósitos de vertente até junto do Boqueirão da Junça.

Este complexo é o que apresenta mais informação geotécnica pontual em profundidade no SIGEO-ALMADA. Assim, foi reconhecido a partir da superfície do terreno em cento e trinta locais. Um, corresponde a um furo hidrogeológico (**3001**), setenta a sondagens de furação, tendo ainda sido observado directamente em pelo menos cinquenta e nove poços, valas ou trincheiras.

A caracterização geotécnica baseou-se em informação correspondente a um total de cento e vinte e seis amostras de solo (Fig. VI.45), 40% das quais indeformadas, e ainda em cento e seis provetes de solo rijo/rocha calcarenítica que foram submetidos a ensaios de compressão uniaxial. Toda a informação atrás enunciada integra a BD, nela se incluindo catorze amostras (11%) de solos e vinte e dois provetes (35%) de rochas que foram obtidos durante o presente trabalho.

Espessura

Como se referiu anteriormente, a espessura exposta deste conjunto de materiais será máxima na zona sob o Cristo Rei (rondando as cinco dezenas de metros) e mínima na Arriba Fóssil, junto ao IC 20 (uma dúzia de metros).

Terra Vegetal

Trinta e três dos registos de dados pontuais da BD deste Complexo descrevem um horizonte superficial de terra vegetal, com espessura média de 0,80 m para um desvio padrão de 0,38 m; o valor mínimo obtido foi de 0,2 m e o máximo de 1,5 m; considerando apenas os registos que proporcionaram a observação directa dos terrenos, o valor médio baixa para 0,30 m e o desvio padrão para 0,1 m.

Identificação

As amostras desta unidade que foram submetidas a ensaios de granulometria por peneiração húmida, das quais catorze correspondem a dados agora obtidos (Fig.VI.44), permitiram avaliar os seguintes valores estatísticos para as fracções de areia e de finos:

	Areia (%)	Finos (%)
<i>Mínimo</i>	0	6
<i>Máximo</i>	68	100
<i>Média</i>	8	84
<i>Desvio Padrão</i>	15	21

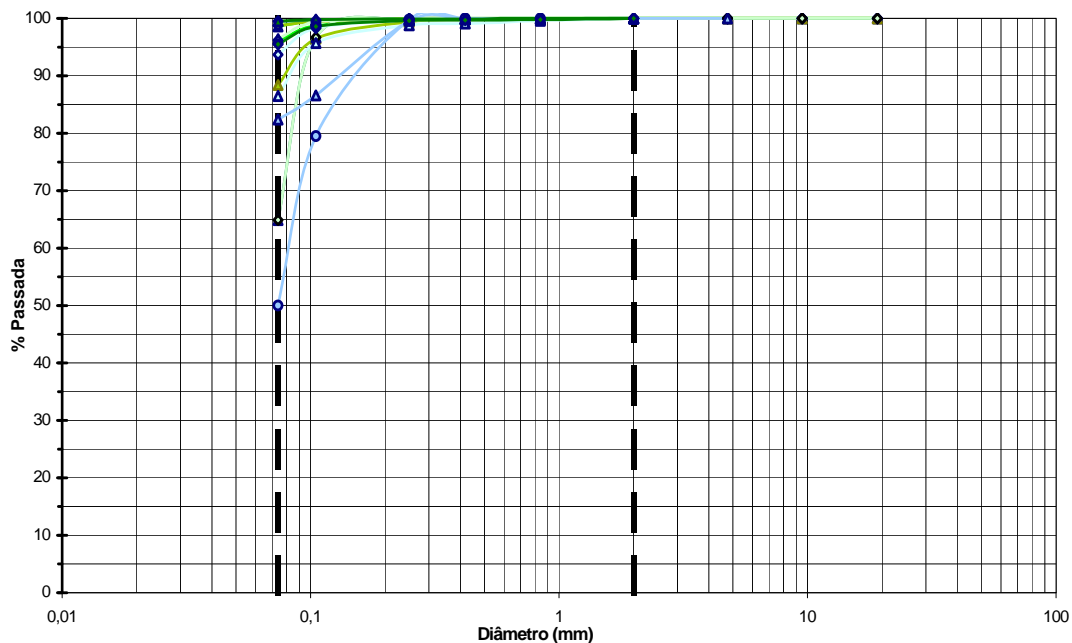


Figura VI.44 - Curvas granulométricas (peneiração húmida) das catorze amostras do Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos.

A análise da percentagem de silte e de argila, disponível na BD para onze amostras, disponibilizou os seguintes valores estatísticos:

	Silte (%)	Argila (%)
Mínimo	45	7
Máximo	92	31
Média	82	12
Desvio Padrão	13	7

Os solos deste complexo contidos no SIGEO-ALMADA (Fig.VI.45) são predominantemente de tipo CL (cerca de 55%), na sua maioria argilas magras, que nalguns casos (23%) apresentam pelo menos 15% de fracção areia (argilas magras com areia); apenas num caso aquele valor ultrapassou os 30% (argila magra arenosa). Em relação à Classificação AASHTO, nota-se uma distribuição predominante, quase equivalente, pelos grupos A-6 e A-4, respectivamente 35% e 31% das amostras, com índices de grupo de 5 a 13 e 0 a 8, respectivamente, seguidos pelo subgrupo A-7-6 (17%), com índices de grupo de 12 a 16.

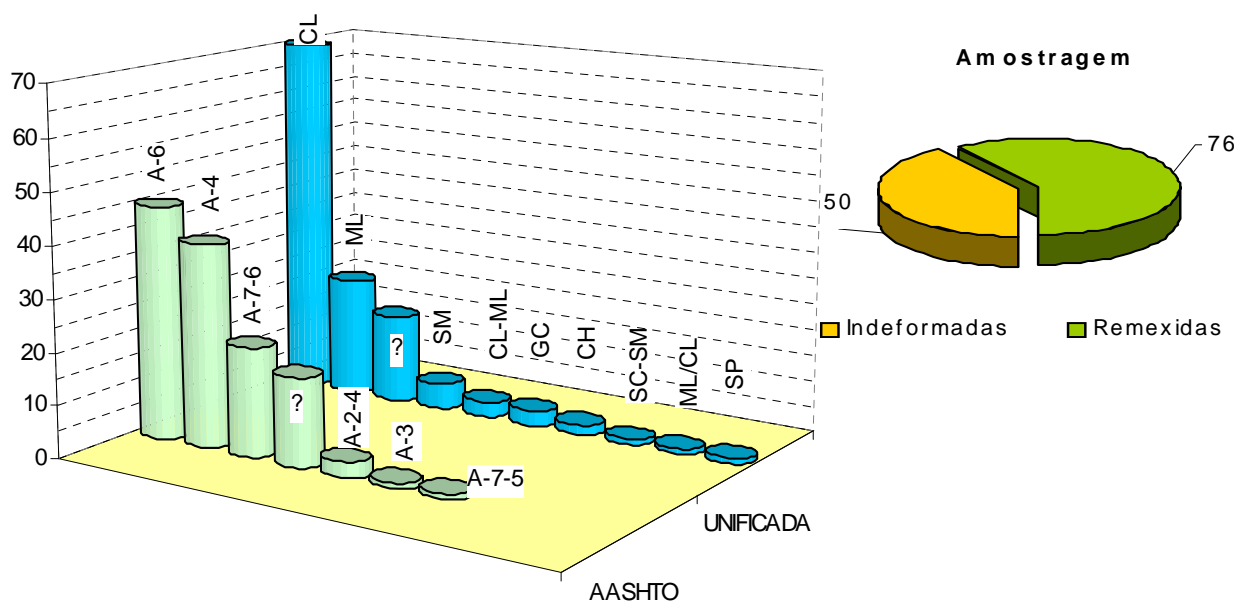


Figura VI.45 – Distribuição da classificação geotécnica dos solos do Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos, para as cento e vinte e seis amostras da BD.

A maioria dos solos exibe plasticidade (83%), repartindo-se do seguinte modo: 37% têm limite de liquidez inferior a 30%, 39% das amostras exibem $30\% \leq LL < 50\%$; e apenas 7% têm limites de liquidez entre 50% e 70% (Fig. VI.46); os índices de plasticidade são predominantemente médios a baixos.

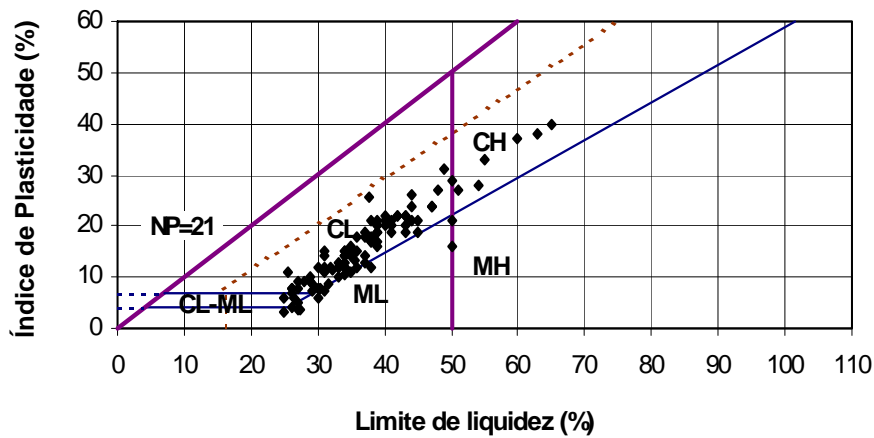


Figura VI.46 - Plasticidade das amostras contempladas no SIGEO-ALMADA para o Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitosossilíferos.

Características Físicas

Os valores estatísticos para o peso volúmico seco (γ_d) e o teor em água natural (w_n) obtidos sobre cerca de três dezenas de amostras desta unidade, foram os seguintes:

	γ_d (kN.m^{-3})	w_n (%)
Mínimo	15	3
Máximo	19	29
Média	17	22
Desvio Padrão	1	5

As dezasseis amostras em que se determinou o índice de actividade de Skempton (Fig.VI.47) revelaram um leque de actividade muito amplo, variando as argilas entre inactivas (dois casos - 13%) e muito activas (dois casos - 13%). A maioria das amostras mostrou tratar-se de argilas activas (nove casos - 56%) e as restantes indicaram actividade normal (três amostras - 18%).

O estudo da fracção coloidal por DRX em seis amostras, revelou que a associação **esmeclites e ilites** é largamente predominante com valores médios de 39 e 42%, respectivamente; a **caulinite** associa-se-lhes numa percentagem mínima de 12%. Esta distribuição é confirmada pela análise da Figura VI.47.

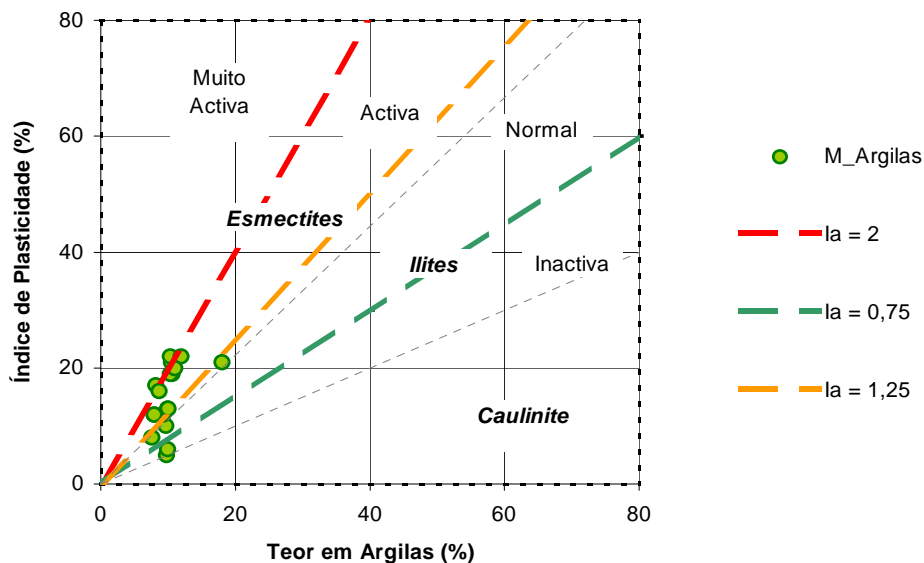


Figura VI.47 - Actividade da fracção de argila de acordo com o Índice de Actividade (Ia) de Skempton.

Características Mecânicas

Os quinhentos e noventa e quatro registos de ensaios SPT incluídos no SIGEO-ALMADA oscilam entre dois valores N mínimos de 4 pancadas (1143_1 e 1143_3 aos 1,0-1,45 m e 4,0-4,45 m, respectivamente) e cerca de duzentas e dez (35%) negas, das quais 20% na primeira fase do ensaio; tais valores são devidos, geralmente, à presença de leitos carbonatados, ainda que decimétricos. O valor médio de N obtido é 38 pancadas com um desvio padrão elevado, de 20 pancadas. A distribuição dos resultados obtidos em função da profundidade encontra-se na Figura VI.48.

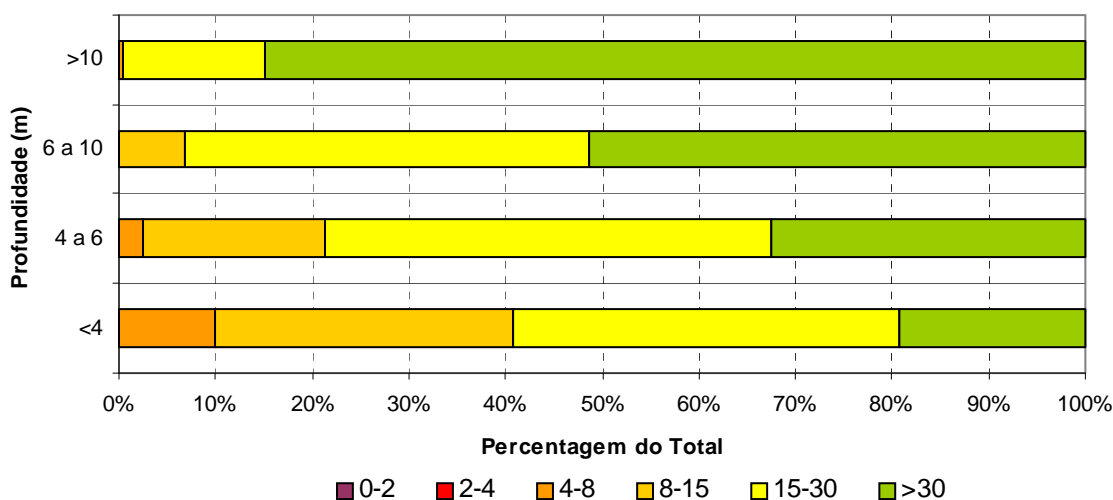


Figura VI.48 - Distribuição dos valores de ensaios SPT no Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos, em função da profundidade.

Realizaram-se, no âmbito deste trabalho, seis ensaios de **corte directo** consolidados, quatro lentos (em argilas) e dois rápidos (em siltes: **2229_1** e **2245_1**). Os resultados apresentam-se na Figura VI.49. Nos ensaios lentos, os valores de coesão e ângulo de atrito obtidos estão compreendidos, respectivamente, entre 22 kPa e 106 kPa e 20° a 34,3°. O valor de coesão mais elevado registou-se num dos ensaios rápidos (212,5 kPa), para um ângulo de atrito de 38,6°; este ensaio (**2229_1**) corresponde ao único de corte directo em que se utilizou uma tensão de consolidação máxima de cerca de 410 kPa, devido à amostra ter sido colhida na zona de fundação do Almada Forum, ainda na fase inicial de construção. No outro ensaio rápido, a coesão foi desprezável ($c=4,9$ kPa) e o ângulo de atrito de 35,5°.

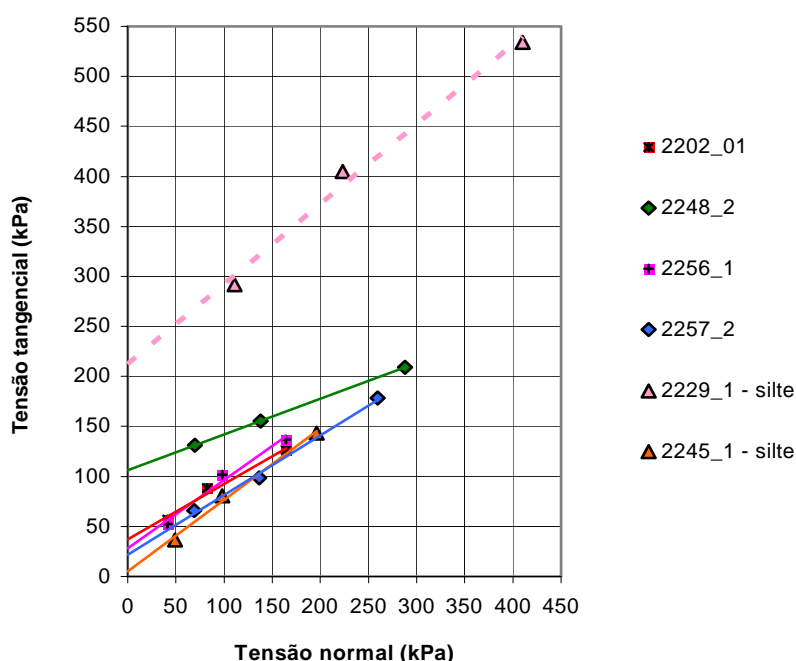


Figura VI.49 - Síntese dos resultados de seis ensaios de corte directo, consolidados, sobre amostras do Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos.

Na totalidade dos vinte e oito ensaios de **corte directo** incluídos na BD para esta unidade, a coesão e o ângulo de atrito apresentam os seguintes valores estatísticos:

	<i>Ensaio não consolidados</i>		<i>Ensaio consolidados</i>			
	Tensões totais ($n=4$)		Tensões efectivas ($n=13$)		Tensões totais ($n=11$)	
	c (kPa)	Φ (°)	c' (kPa)	Φ' (°)	c (kPa)	Φ (°)
Minimo	5	17	20	20	4	17
Máximo	69	35	106	37	213	39
Média	26	25	53	26	30	31
Desvio Padrão	-	-	27	5	58	4

Os resultados obtidos em sete ensaios **edométricos** sobre amostras indeformadas de solos desta unidade (Fig. VI.50), que correspondem a 35% do total de dados disponíveis sobre compressibilidade da unidade geotécnica em referência e constituem dados obtidos para este trabalho, vieram confirmar estar-se em presença de solos sobreconsolidados.

Os valores estatísticos obtidos nos vinte ensaios de compressibilidade incluídos no SIGEO-ALMADA foram os seguintes:

	ei	ef	Cc (cm ² .s ⁻¹)	Cv (cm ² .s ⁻¹)	σ _{po} (kPa)	Ce (cm ² .s ⁻¹)
Mínimo	0,443	0,434	0,045	0,0007	56	0,010
Máximo	0,792	0,751	0,199	0,0051	177	0,081
Média	0,610	0,558	0,095	0,0024	108	0,028
Desvio Padrão	0,104	0,100	0,054	0,0013	39	0,017

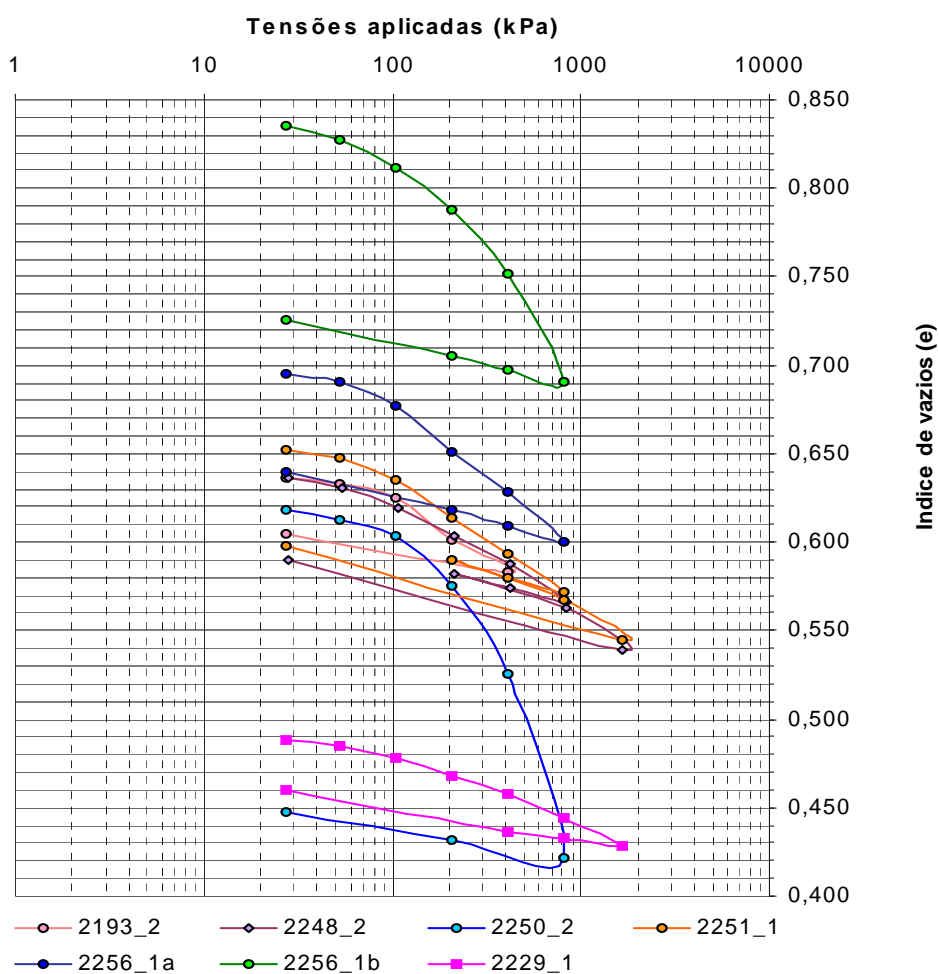


Figura VI.50 - Curvas de compressibilidade obtidas nos sete ensaios edométricos realizados em amostras indeformadas do Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos.

A caracterização geotécnica dos solos rijos incluídos neste complexo, conta ainda com noventa e um provetes submetidos a ensaios de **compressão uniaxial**, incluindo sete agora realizados, e que revelam valores de resistência entre 0,1 e 5 MPa, com um valor médio de 1 MPa e um desvio padrão elevado, também de 1 MPa.

A caracterização geotécnica das rochas carbonatadas que ocorrem intercaladas nalgumas zonas deste Complexo, baseia-se em 15 provetes submetidos a ensaios de caracterização física e mecânica, seis deles originais deste trabalho, e que revelaram os seguintes valores estatísticos para a resistência à compressão uniaxial (**S**) e peso volúmico (γ):

	S (MPa)	γ (kN.m ⁻³)
Mínimo	2	18
Máximo	30	21
Média	12	20
Desvio Padrão	6	1

Os resultados destes ensaios permitem, assim, caracterizar os solos ensaiados como rijos e as rochas, de acordo com os critérios da ISRM, como sendo, em regra, de resistência baixa a muito baixa, esporadicamente média.

Os terrenos deste complexo são geralmente escaváveis; contudo, na zona entre Olho de Boi e Ginjal (Cacilhas), uma bancada calcarenítica muito espessa pode revelar-se ripável ou exigir eventualmente desmonte a explosivo (dependendo do tipo de obra envolvida).

Condições Hidrogeológicas

Da análise da profundidade do nível de água em cento e noventa e nove registos de dados pontuais, resulta que apenas quarenta e dois o intersectaram a profundidades que variaram entre 2,5 m e 19 m; o valor médio foi de 8,4m e o desvio padrão de 3,9 m. Os valores de profundidade mais elevados registaram-se em sondagens efectuadas na zona do Bairro do Fundo de Fomento de Habitação, nas freguesias do Pragal (**1374**) e Caparica (**1381**); inversamente, o nível menos profundo ocorreu numa sondagem efectuada junto à Vala da Enxurrada (**1075**). Apenas em doze casos os registos apresentam a profundidade inicial e final do nível de água no decurso da furação, tendo-se identificado, em todos eles, artesianismo, ainda que às vezes ligeiro.

Este complexo inclui terrenos que se podem considerar de permeabilidade baixa atendendo à condutividade hidráulica ($K = 2 \times 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$) obtida em ensaios tipo Lefranc efectuados na zona onde hoje se ergue o “Almada Forum” (CEL, 1998).

3. CARTAS DE SUSCEPTIBILIDADE AOS MOVIMENTOS DE TERRENOS E DE EROSÃO POTENCIAL

3.1 Metodologia Adoptada

A reclassificação da informação contida no SIGEO-ALMADA, relativa aos declives dos terrenos e à litologia, para avaliar a susceptibilidade à ocorrência de movimentos de terrenos e à erosão potencial teve em consideração diversos pressupostos que se referem, sucintamente, em seguida. Essa reclassificação levou à produção de novos registos e à derivação de nova informação (tabelas), na base de dados **Derivada**, descrita no Anexo III, que resultou da manipulação da informação relativa aos declives dos terrenos e à litologia.

A sobreposição de cartas de factores para obtenção de cartas derivadas como aquelas de que agora se trata, implica que seja desenvolvida uma classificação que considere, na análise a desenvolver, **um pequeno número de classes** significativas para cada factor. Quando se procede à sobreposição sequencial de todos os factores, são definidos domínios homogéneos cujo número, dimensão e natureza dependem do critério utilizado nos factores iniciais da análise.

Na análise condicional para a obtenção de uma carta de susceptibilidade aos movimentos de terrenos e outra de erosão potencial, foram definidas apenas duas variáveis – litologia e declives - que foram objecto de uma distribuição por classes consideradas significativas para o fim pretendido. A elaboração das cartas iniciou-se pela atribuição de valores numéricos proporcionais à aceitabilidade do factor em causa. As intersecções que têm pontuação máxima são caracterizadas pelo nível de factores mais desejáveis e níveis intermédios são atribuídos de acordo com o nível/grau de aceitação. O peso atribuído é então somado ou multiplicado para cada intersecção obtida em área. Deste modo, os valores mais elevados reflectem sítios potencialmente melhores do ponto de vista geotécnico e, inversamente, valores baixos revelam áreas com maiores restrições geotécnicas. Em ambos os casos, adoptou-se um número idêntico de classes descritivas para os dois factores avaliados, de modo que o nível de informação e de detalhe na expressão desses factores e o seu peso na análise fossem semelhantes.

A sobreposição das diferentes classes consideradas na análise da susceptibilidade aos movimentos de terrenos e da erosão potencial gerou cartas, cujo número total de classes possível (doze em ambos os casos) é o produto de cada nível de *input* inicial. Previamente ao cruzamento de informação, retiraram-se da análise as áreas com informação considerada deficiente e a laguna existente na zona da Trafaria.

No final da sobreposição das cartas de factores (declives e litologia), definiram-se áreas mínimas significativas a delimitar na carta derivada. Optou-se por individualizar apenas áreas mínimas de 2500m²; áreas inferiores eram incluídas numa classe vizinha com área considerada significativa e de susceptibilidade/erodibilidade potencial superior, isto é, de pior comportamento, à da classe em análise. A definição das classes de susceptibilidade/erodibilidade adoptadas, classificadas como baixa ou nula (a verde), moderada (a laranja) e elevada (a vermelho), foram definidas após confronto com as respectivas cartas de inventário apresentadas em V.6.

As Figuras VI.51 e VI.52 apresentam, respectivamente, a carta de susceptibilidade aos movimentos de terrenos e de erosão potencial obtidas para o concelho de Almada, na escala 1:50 000. No Anexo IV, ambas as cartas derivadas estão representadas numa única e numa escala maior (1:25000).

3.2 Susceptibilidade aos Movimentos de Terrenos

Os movimentos de terrenos constituem o perigo geológico mais importante no concelho em estudo, quer pela sua frequência, quer pelos danos que já provocaram em áreas de elevada vulnerabilidade quanto a pessoas e bens. A litologia com maior índice de susceptibilidade é a das argilas miocénicas, em especial as que conformam relevos que se encontram ainda em plena evolução geomorfológica. Nos degraus intermédios dos taludes que delimitam a frente norte do concelho, as formações miocénicas argilosas ou siltosas, apresentam-se mais descomprimidas e, portanto, são sede de alguns movimentos de terrenos.

A ponderação para os factores declives e litologia levou à definição de, respectivamente, três e quatro classes, como se indica em seguida:

Classe de declive	Ponderação	Significado
< 15%	5	Estabilidade boa a muito boa
15 – 30%	3	Estabilidade moderada
> 30%	1	Estabilidade reduzida

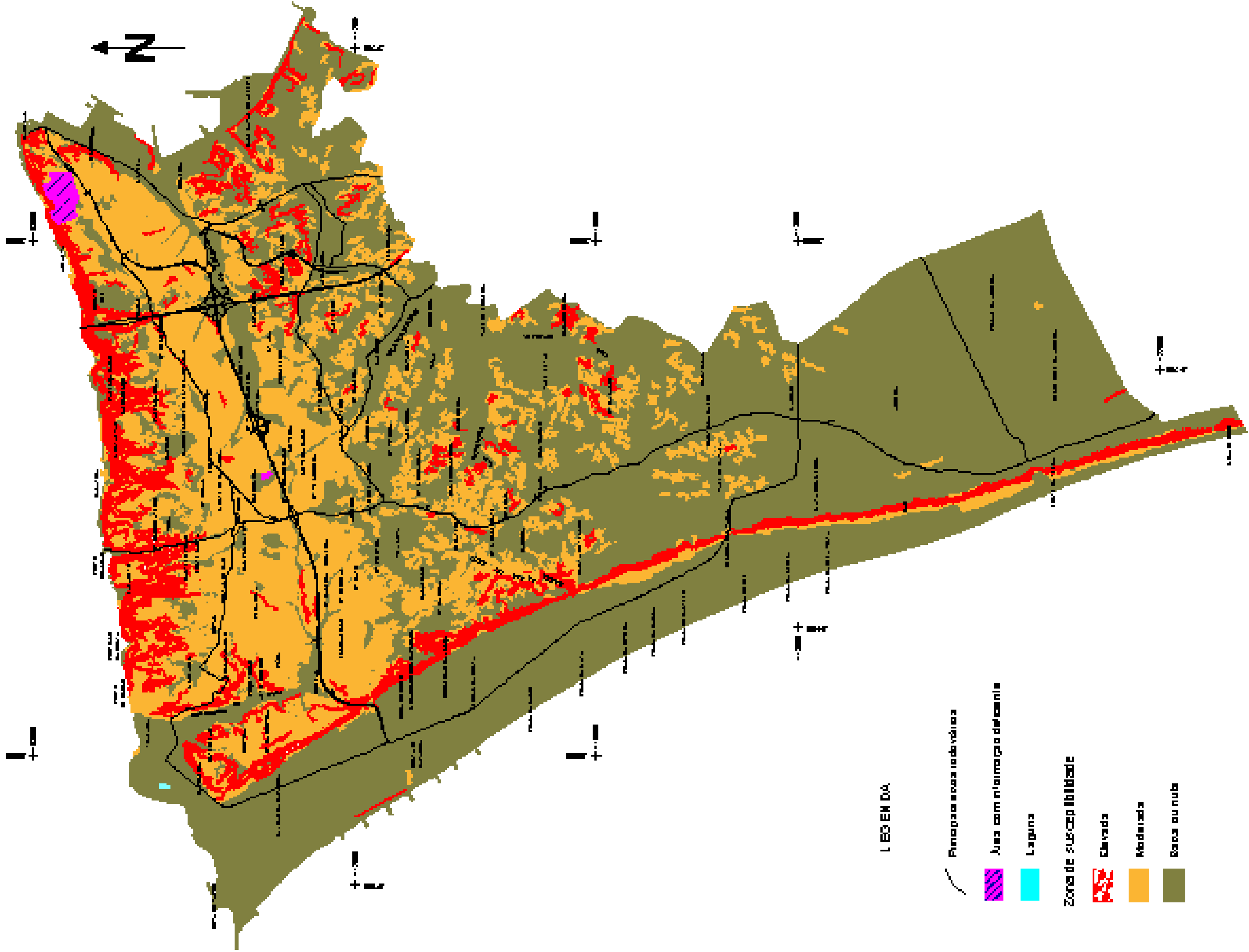
Litologia	Ponderação	Significado
Depósitos de vertente; Siltes e siltes argilosos a arenosos; Argilas e siltes	1	Elevada susceptibilidade
Aterros não controlados	2	Elevada susceptibilidade
Aterros controlados	5	Baixa susceptibilidade
Cascalheiras e areias argilosas; Areias e arenitos com mistura de finos/seixos; Areias, siltes argilosos e bancadas carbonatadas espessas	3	Susceptibilidade intermédia
Aluviões, areias de duna e praia, aterros não controlados predominantemente de enrocamento	Retirados da análise (<i>considerados com valor nulo na BD</i>)	

O zonamento obtido para o caso da susceptibilidade aos movimentos de terrenos foi o seguinte:

- **zonas de susceptibilidade elevada** - foram todas aquelas cujo valor do factor de ponderação da litologia era 1, independentemente do declive, ou de litologias classificadas com factor 2 ou 3 mas declive superior a 30% (factor 1); correspondem aos taludes miocénicos da margem sul do Tejo, e respectivos depósitos de vertente, e aos mio-pliocénicos da Arriba Fóssil e, ainda, a alguns trechos do vale da Ribeira do Foz do Rego, cujos declives são superiores a 30%;
- **zonas de susceptibilidade moderada** - coincidem com áreas que envolvem algumas das litologias anteriormente descritas, isto é, nas litologias ponderadas com factor 2 ou 3, mas com declives entre 15% e 30% (factor 3) ou de declive inferior a 15% (factor 5) em litologia ponderada com factor 2; acrescidas de litologias ponderadas como de susceptibilidade baixa (factor 5) mas declive superior a 30% (factor 1); é o caso das áreas correspondentes a alguns depósitos de vertente da região, às arribas do Alfeite, às zonas do reverso dos taludes da margem sul do Tejo que drenam para a Vala do Caramujo ou, ainda, que integram a bacia de drenagem da Vala da Enxurrada e seus afluentes.
- **zonas de susceptibilidade baixa ou nula** – abrangem a maior parte da área do concelho, apenas não incluindo os elementos descritos anteriormente; correspondem a todas as litologias classificadas com factor 5 e declive superior a 15% (factores 3 e 5), bem como a litologias ponderadas como 3, mas declive inferior a 15% (factor 5).

3.3 Erosão Potencial

Na área do concelho de Almada, identificou-se erosão marinha e continental. A par do mar os agentes climáticos são aí, os principais agentes erosivos, com predomínio da erosão hídrica sobre a eólica, nas formas de erosão continentais. De facto, a capacidade



LEOBEN DÓ

- Principales áreas rodeadas
- Áreas con información deficiente
- Laguna
- Zona de susceptibilidad
 - Clavada
 - Moderada
 - Baja o nula

erosiva da precipitação é um agente importante que não entrou na análise agora efectuada, partindo-se do princípio simplificador que ela se distribui com igual intensidade por todo o concelho de Almada, tanto mais que a pequena dimensão territorial e a reduzida cobertura de postos udométricos na área em estudo (num total de cinco, dos quais apenas um no concelho – no *campus* da FCT, mas com leituras descontínuas), leva a considerar que a influência da precipitação teria, para a escala em análise (1:10 000), um peso sensivelmente idêntico em toda a zona.

A interferência da erosão na região deve-se a diversos factores, de entre os quais se destacam os seguintes:

- o declive do terreno e relevo, uma vez que serão mais facilmente erodíveis as áreas de taludes mais inclinados do que as de inclinação mais suave;
- o coberto vegetal, que actua como protecção quer evitando a erosão por impacto e o arregueiramento nos solos em zonas de declive mais suave, quer ajudando a fixar o terreno entre raízes, evitando o seu deslocamento e promovendo a infiltração; a cobertura vegetal do concelho apresenta-se empobrecida, pelo que os terrenos se encontram frequentemente desprotegidos contra a erosão;
- a litologia, uma vez que serão mais erodíveis os solos (areias, siltes, argilas, etc.) do que as rochas, ainda que brandas (calcários, arenitos, etc.).

Litologia e declive definem a potencial erodibilidade do terreno, daí a designação utilizada para a cartografia, erosão potencial. Uma vez que o homem actua essencialmente sobre o coberto vegetal (através do tipo de culturas e/ou remoção de vegetação) e sobre a escorrência superficial ao impermeabilizar o solo e reduzir a infiltração, a erosão potencial definida depende também, portanto, da actividade antrópica, pois esta tanto a pode acelerar como minimizar, em consequência de decisões individuais ou colectivas.

A hierarquização das litologias tendo por base a resistência à erosão, possibilita uma qualificação ponderada da erodibilidade dos terrenos. As diferentes litologias foram ordenadas essencialmente em função do grau de consistência. Unidades de consistência semelhante foram objecto de distinção atendendo aos respectivos teores em silte – unidades mais ricas em silte ou areia fina foram consideradas mais erodíveis. Os valores definidos seguiram uma ordem crescente, segundo a maior resistência relativa à erosão, tendo em consideração que todos os terrenos são potencialmente erodíveis; contudo, como determinados terrenos sofrem maior arraste do que outros, litologias distintas podem ter um valor ponderado idêntico.

Para avaliação da erodibilidade, reclassificaram-se as oito classes de declives por generalização para apenas três com diferente influência na velocidade de escoamento da água e definiram-se quatro classes para as litologias. As classes adoptadas e respectivas ponderações foram as seguintes:

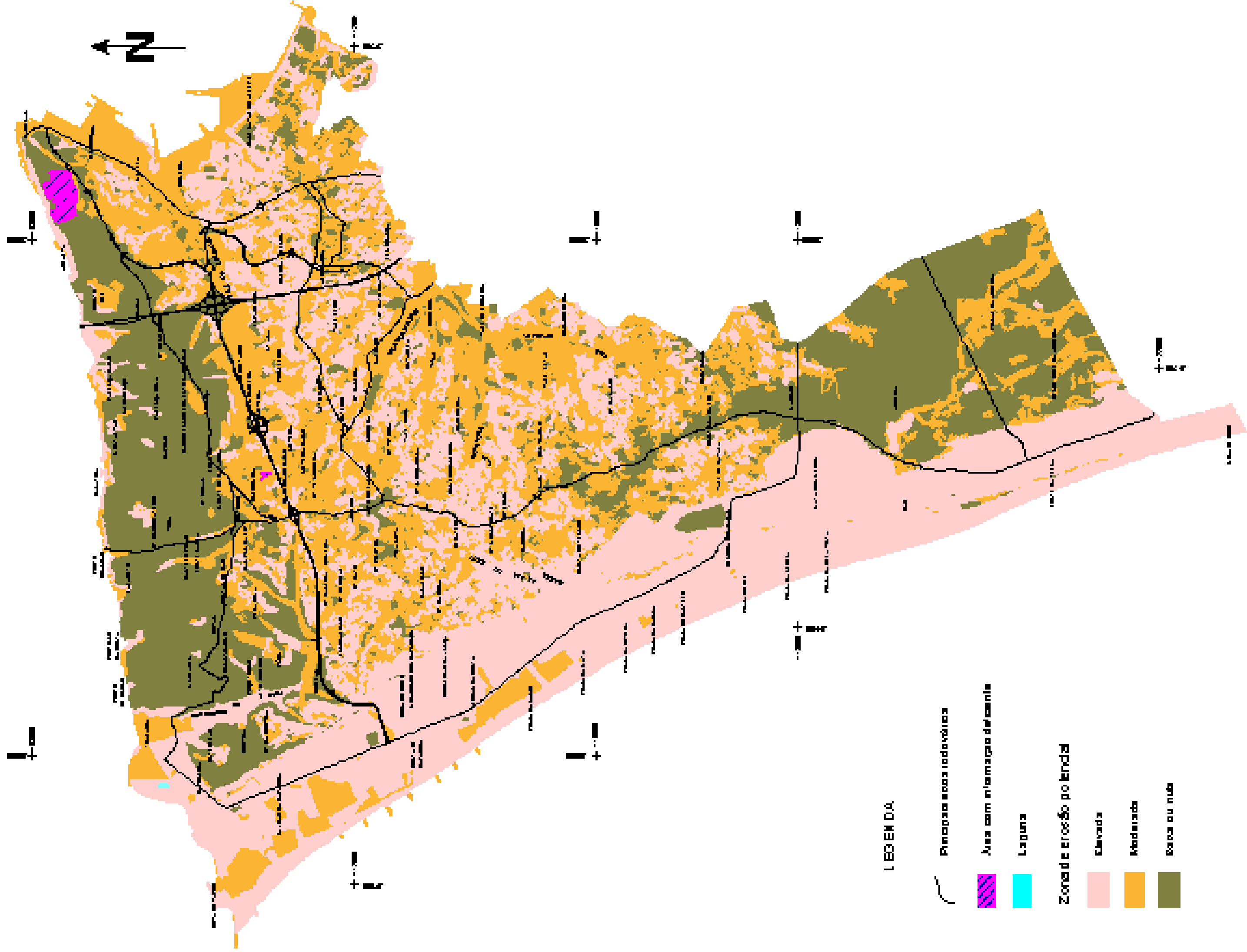
Classe de declive	Ponderação	Significado
< 5%	5	Estabilidade boa a muito boa
5 – 15%	3	Estabilidade moderada
> 15%	1	Estabilidade reduzida

Litologia	Ponderação	Observações
Areias de duna e praia	1	Erosão marinha/eólica predominantes
Aluviões	2	
Aterros não controlados	2	
Aterros controlados	4	
Depósitos de vertente; Areias e arenitos com mistura de finos/seixos; Siltes e siltes argilosos a arenosos	3	Resistência à erosão é tanto menor quanto menor for o valor padrão atribuído
Cascalheiras e areias argilosas; Areias, siltes argilosos e bancadas carbonatadas espessas; Argilas e siltes fossilíferos	4	

Como é óbvio há um factor subjectivo na análise, uma vez que a reclassificação é efectuada empiricamente, ou seja, a transformação dos dois tipos de dados descritivos utilizados (litologia e classes de declives) em dados ordenados é realizada em função da sua importância relativa (qualitativamente avaliada) no processo em referência; para além disso, a susceptibilidade à erosão dos terrenos não foi quantificada através de ensaios específicos para o efeito, mas apenas derivada com base na litologia e nos declives.

Outra falha na metodologia será, sem dúvida, não se conhecer a taxa de erosão do solo, mas somente as zonas onde efectivamente se identificou que a erosão predomina sobre a sedimentação. Deste modo, a carta apresentada permite avaliar unicamente como, face às condições climáticas, reagiria determinada zona em consequência da alteração do uso do solo (ex.º, ao proceder a uma desmatagem) ou da eventual necessidade de implantação de coberto vegetal em áreas concretas.

A carta de erosão potencial (Fig VI.52) reflecte apenas a divisão do território em três níveis de erodibilidade - baixo ou nulo, moderado e elevado. A confrontação entre a sobreposição da informação reclassificada e da carta de inventariação de fenómenos de erosão no concelho (Fig. V.18), permitiu verificar que a litologia correspondia ao principal



factor a considerar para definir as diferentes zonas quanto à potencial erodibilidade, tendo-se definido as seguintes correlações:

- **zonas de erosão potencial elevada** - aquelas que correspondem a litologias com resistência à erosão reduzida (factor igual a 1), independentemente do valor do declive, bem como as litologias com resistência ponderada com o factor 2, mas cujo declive seja superior a 15% (factor igual a 1);
- **zonas de erosão potencial moderada** - aquelas que correspondem a litologias com resistência à erosão ponderada com 2 ou 3, mas cujo declive seja inferior a 15% (factor igual a 3 ou 5);
- **zonas de erosão potencial baixa ou nula** - as restantes, isto é, zonas correspondentes a litologias com resistência à erosão ponderada com o factor 4, independentemente do declive (factor igual a 1, 3 ou 5), bem como outras litologias ponderadas com factores 2 ou 3, mas cujo declive seja inferior a 5% (factor 5).

4. CARTA DE APTIDÃO À CONSTRUÇÃO

A fim de avaliar a aptidão/restricção à ocupação do ponto de vista geológico e geotécnico, pode-se recorrer a métodos directos ou indirectos; os primeiros consistem numa cartografia de unidades geotécnicas em que se identificam restrições/aptidões presentes ou passadas e se efectua uma previsão com base em experiência comparada tendo em vista a futura ocupação de outros locais. No segundo caso, utilizam-se métodos heurísticos ou estatísticos; naqueles, os factores a analisar são ponderados e pesados de acordo com a sua importância prevista ou assumida quanto à ocupação do terreno; nos métodos estatísticos ou probabilísticos, o papel de cada factor é determinado com base nas relações observadas com a distribuição de eventos presentes/passados. Neste trabalho utilizou-se um método directo.

A tomada de decisões sobre o uso do solo deve ter em atenção, entre outras, as características geotécnicas do terreno. Assim, torna-se importante que os condicionamentos geotécnicos sejam identificados, atendendo nomeadamente à sua tipologia e localização espacial.

No presente caso, efectuou-se uma análise e interpretação das condições dos terrenos; contudo, e em especial devido à escala de trabalho adoptada e à dimensão da área envolvida, não se consideraram estudos para usos específicos do solo.

O declive é um elemento importante que afecta a aptidão do meio geológico para diversos usos, designadamente os urbanos. Os declives da área em estudo foram reclassificados de modo a criar classes de características mais adequadas a esta finalidade. A

reclassificação dos declives para avaliar a aptidão para a construção foi efectuada por generalização das classes da BD em apenas três, de acordo com os seguintes significados:

Classes de declive	Ponderação	Significado
< 8%	5	Zonas de declive suave a nulo, adequadas à maior parte de desenvolvimento urbano; a drenagem é deficiente e correspondem a potenciais zonas de recarga de aquíferos.
8 – 15%	3	Zonas de declive moderado, adequadas à maior parte de desenvolvimento urbano e agrícola; o escoamento é moderado e a infiltração intermédia.
> 15%	1	Zonas de declive acentuado a escarpado, tolerado pela maior parte de desenvolvimento urbano, se bem que haja perigos de movimentos de terrenos em zonas de escavação; drenagem elevada, recarga baixa a nula.

A REN e a RAN definidas no PDM ora em vigor foram excluídas da análise. Os outros três factores considerados nesta análise de aptidão foram as unidades geotécnicas (Quadro VI.6), a susceptibilidade aos movimentos de terrenos e a erosão potencial, tratadas nos subcapítulos anteriores.

As planícies aluviais não possuem características adequadas para a construção devido, quer às suas características mecânicas (em regra, resistência baixa e compressibilidade elevada), quer às variações de composição verticais e laterais e problemas relativos à presença de níveis freáticos sazonalmente subsuperficiais.

As areias dunares e costeiras são áreas de elevada sensibilidade ambiental, não sendo por isso adequadas para actividades construtivas. Acresce ainda que grande parte destes terrenos está actualmente classificada como REN e estão parcialmente incluídos na Área de Paisagem Protegida da Arriba Fóssil.

Nos materiais do substrato, no caso dos depósitos grosseiros plio-quadernários, as condições para construção são geralmente adequadas, mas deve considerar-se a existência de bolsadas de materiais finos, mais plásticos, bem como de níveis de água suspensos. Acresce ainda que a variação lateral na cimentação destes materiais pode gerar graves problemas de estabilidade em taludes de escavação sempre que aquela se tornar praticamente inexistente.

Os complexos de materiais miocénicos revelam um comportamento diferenciado, quer devido ao teor em finos/plasticidade, quer à eventual intercalação de bancadas rochosas, às vezes muito espessas, de resistência média. Quando os materiais são predominantemente argilosos, exigem geralmente uma caracterização geotécnica especial, sendo as fundações indirectas a solução a adoptar na maioria dos casos. Os materiais rochosos que ocorrem intercalados nestes complexos podem suscitar problemas de ripabilidade, em especial na unidade designada por Complexo de areias e siltes com calcarenitos e na parte superior do Complexo de argilas e siltes cinzentos fossilíferos, no trecho Ginjal (Cacilhas) - Olho de Boi.

Quadro VI.6 – Aptidão para a construção das unidades geotécnicas no concelho de Almada.

Unidade Geotécnica	Escavabilidade	Factor	Reutilização (empréstimo para aterros)	Factor	Aptidão para Fundações	Factor
Aterro tipo I: Aterro controlado	Escavável	5	Geralmente adequado para reutilização.	5	Geralmente condições razoáveis para fundações directas, dependendo da espessura do material compactado.	3
Aterro tipo II: Aterro não controlado	Escavável; taludes de escavação necessitam, na maioria dos casos, de entivação devido à fraca cimentação dos materiais que os integram.	2	Geralmente inadequado para reutilização devido ao elevado teor em matéria orgânica.	1	Condições de fundação inadequadas; em caso de possança reduzida, pode proceder-se à sua remoção / atravessamento para fundação no substrato.	1
Depósitos de vertente	Escavável; a natureza dos depósitos requer que, na maioria dos casos, sejam adoptadas medidas para garantir a estabilidade dos taludes de escavação.	2	Geralmente inadequado para reutilização devido à percentagem de matéria orgânica e restos de raízes que apresentam distribuídos erráticamente; para além disso, podem apresentar elevada heterogeneidade granulométrica (podem conter blocos de rocha).	1	Condições de fundação inadequadas; em caso de possança reduzida, pode proceder-se à sua remoção / atravessamento para fundação no substrato.	1
Depósitos arenosos eólicos e costeiros	Escavável; exigem geralmente entivação de valas e podem surgir problemas com o nível freático elevado, ainda que sazonalmente.	1	Geralmente inadequado para reutilização devido ao teor em matéria orgânica numa espessura pelo menos métrica, bem como à sua granulometria equigranular.	1	Geralmente condições de fundação inadequadas; condições locais particulares podem exigir ensoleiramentos ou estacas.	1
Aluviões	Escavável; exigem geralmente entivação de valas e podem surgir problemas com o nível freático elevado, ainda que sazonalmente.	1	Geralmente inadequado para reutilização devido ao elevado teor em matéria orgânica e/ou compressibilidade exagerada.	1	Geralmente condições de fundação inadequadas; possibilidade de assentamentos diferenciais ou perigo de roturas localizadas; necessário fundar no substrato.	1
Depósitos grosseiros e areias argilosas	Escavável; podem exibir localmente cimentação elevada que dificulte a sua escavação.	4	Geralmente adequado para reutilização; podem ser utilizados no coroamento de aterros desde que se efectue a rejeição de eventuais materiais mais plásticos.	5	Geralmente condições razoáveis para fundações directas, dependendo da presença de níveis (estratos ou lentículas) com água ou argilosos.	3
Complexo de areias com seixos e finos	Escavável; eventuais intercalações de materiais grosseiros com fraca cimentação podem gerar situações de taludes instáveis.	3	Geralmente adequado para reutilização em aterros, inclusive no coroamento desde que se efectue a rejeição de eventuais materiais mais plásticos.	5	Geralmente condições razoáveis para fundações directas, dependendo da presença de níveis (estratos ou lentículas) com água ou argilosos.	3
Complexo de areias, siltes e calcarenitos espessos	Solo rijo escavável. Rochas brandas ripáveis; rochas de baixa e média resistência poderão eventualmente exigir explosivo, dependendo da espessura e tipo de obra envolvido.	3	Geralmente adequado para reutilização em aterros, se bem que possa conter passagens de materiais mais plásticos e/ou espessos.	4	Geralmente condições razoáveis para fundações directas, mas dependentes de variações locais na natureza e espessura de zonas mais alteradas e/ou fissuradas. Os níveis mais finos têm tendência a deteriorar-se quando expostos aos agentes atmosféricos ou se molhados.	3
Complexo de siltes e siltes argilosos, às vezes carbonatados	Globalmente escavável, podendo ocorrer alguns níveis carbonatados ripáveis.	4	Geralmente adequado para reutilização no corpo de aterro, desde que as condições de compactação sejam devidamente controladas; podem eventualmente conter materiais rochosos.	4	Geralmente condições razoáveis para fundações directas, mas dependentes de variações locais na natureza e espessura de zonas mais alteradas e/ou fissuradas. Os níveis mais finos têm tendência a deteriorar-se quando expostos aos agentes atmosféricos ou se molhados.	3
Complexo de argilas e siltes cinzentos com alguns leitos fossilíferos	Escavável genericamente; entre Olho de Boi e Ginjal (Cacilhas), uma bancada calcarenítica muito espessa pode revelar-se ripável ou exigir eventualmente desmonte a explosivo (dependendo do tipo de obra envolvido).	4	Geralmente adequado para reutilização no corpo de aterro, desde que as condições de compactação sejam devidamente controladas; podem eventualmente conter materiais rochosos.	3	Condições de fundação muito variáveis em função da natureza e espessura de zonas mais alteradas e fissuradas; pode frequentemente ter que recorrer-se a estacas para atingir níveis mais profundos, menos alterados; materiais têm tendência a deteriorar-se quando expostos ou molhados, pelo que pode ser necessário protegê-los para períodos longos de exposição em tempo húmido.	2

Na carta final definiram-se três zonas, a saber:

- **zonas** sem restrição à ocupação, isto é, **de aptidão elevada** (a verde) - constituem cerca de 21% do concelho e são áreas com potencial baixo ou nulo para a ocorrência de qualquer um dos perigos geológicos avaliados; a construção de estruturas necessita de investigações geotécnicas, em regra ligeiras, para confirmar a sua aptidão e o tipo de fundações a adoptar.
- **zonas** com algumas restrições à ocupação, isto é, **de aptidão moderada** (a amarelo) - correspondem a áreas com pelo menos um tipo de perigo geológico moderado; nestas zonas (cerca de 32% do concelho) é necessário proceder a estudos geotécnicos mais desenvolvidos;
- **zonas** com elevadas restrições à ocupação, isto é, **de aptidão muito baixa** (a rosa claro) – são zonas de erosão potencial elevada, que necessitam da utilização de medidores de controlo de erosão se utilizadas para qualquer actividade económica (agrícola ou construção de estradas/estruturas) e de monitorização da estabilidade dos taludes; em taludes mais íngremes não se deve proceder à remoção da vegetação ou da terra vegetal, com risco de incrementar a sua erodibilidade; correspondem a cerca de 47% do território estudado e são áreas onde é necessário proceder à execução de estudos geotécnicos especiais, exigindo uma caracterização mecânica cuidada dos terrenos.

A Figura VI.53 representa a carta digital resultante da análise anteriormente descrita, na escala 1:50 000, encontrando-se no Anexo IV uma versão na escala 1:25 000.

A carta de aptidão à construção que se apresenta foi realizada com o objectivo de contribuir para a tomada de decisões no âmbito do planeamento, mas não deve ser utilizada para uma apreciação geotécnica detalhada no estudo de sítios. O fim último daquela carta é indicar áreas que, do ponto de vista geotécnico, apresentam restrições ou potencial para o desenvolvimento/ocupação urbana.

VII. CONCLUSÕES

Numa altura em que as tecnologias de informação estão a ser cada vez mais utilizadas na gestão dos meios urbanos, torna-se necessário que, na multi e interdisciplinaridade que aquela exige, se incluam os dados geocientíficos.

A área urbana do concelho de Almada, situada na Área Metropolitana de Lisboa, encontra-se em franca expansão praticamente em todo o seu território. A respectiva edilidade possui domínios de informação geográfica para o concelho sob a forma de bases de dados espacialmente referenciados no designado Sistema de Informação Geográfica do Município de Almada (conhecido por SIGMA), que ainda não inclui elementos sobre o meio geológico. Nalguns pontos do concelho, têm-se verificado situações de ocupação de terrenos com características geotécnicas inadequadas e, muitas vezes, interferência de construções ilegais em zonas em plena evolução geomorfológica (como é o caso da Arriba Fóssil, na Costa de Caparica), gerando situações de perigo para pessoas e bens. No PDM ora em vigor, a informação geológica e geotécnica apenas se refere à geologia e, mesmo assim, sem a ter em devida conta como condicionante da gestão do meio natural.

As características dos terrenos nas áreas de construção de um Município influenciam, directa ou indirectamente, as vidas das pessoas que habitam ou se deslocam para aquelas zonas; uma das barreiras ao uso adequado de informação das Ciências e Engenharias da Terra no planeamento e gestão urbanos deriva da sua não existência, como acontece com a cartografia geotécnica, ou daquela informação se encontrar num formato não passível de ser consultado/entendido pelos decisores.

As cartas geotécnicas apresentam, geralmente, a geologia (superficial e do substrato) de acordo com a sua aptidão para fins de engenharia, designadamente no âmbito do desenvolvimento urbano, em função da sua escavabilidade, utilização como material de construção (solos e/ou agregados), aptidão para a fundação de estruturas ou infra-estruturas, etc.. Na sua maioria, as cartas não podem ser relacionadas entre si porque os esquemas de classificação utilizados variam com o tipo de factores considerados e com os intervalos utilizados nas diferentes classes para os definir. Estes factores devem ser apenas os necessários para distinguir uma entidade, ou devem permitir efectuar julgamentos sobre a maneira como as unidades funcionam sob diversas condições. As respostas dependem de quem vai utilizar a informação e, por isso, também do modo como as questões são apresentadas.

As BD georreferenciados aqui apresentadas, recorreram a um conjunto de elementos de informação que foram considerados básicos e que devem ser disponibilizados para consulta em tais situações; para além disso, registam a informação adoptando um formato uniformizado visando facilitar a sua consulta e actualização.

O estudo geológico e geotécnico do território do concelho de Almada, viabilizou:

- a caracterização, semi-automática, de algumas feições morfológicas do terreno através da obtenção de um MDT e derivação de declives (na escala 1:5 000);
- a elaboração de uma carta litológica e tectónica, digital, na escala 1:5 000 (com a maior parte do trabalho de levantamento no campo desenvolvida no presente trabalho);
- a caracterização dos principais perigos de índole geológica, designadamente inventário de movimentos de terrenos e fenómenos de erosão continental e marinha (estes, na escala 1:5 000, tendo os movimentos de terrenos sido obtidos, essencialmente, por recolha bibliográfica);
- a disponibilização de um inventário de largas centenas de dados geológicos e geotécnicos de informação pontual arquivados na BD e de pouco mais de duas dezenas de furos de pesquisa e/ou captação de água recolhidos no presente trabalho (com uma resolução da escala 1:1 000). Estes dados incluem, ainda, cerca de centena e meia de trincheiras, poços e pontos de recolha de amostras realizados no decurso deste trabalho.

A informação cartográfica atrás mencionada foi concebida para ser arquivada numa BD georreferenciados, a que se associa informação descritiva de índole diversa, salientando-se alguns milhares de resultados de ensaios *in situ* (SPT) e em laboratório. Outros resultados se lhe juntaram também, obtidos em ensaios de laboratório realizados sobre um número alargado de amostras de solos e rochas colhidos no decurso deste estudo, a fim de complementar/avaliar os elementos do mesmo tipo obtidos em diversos relatórios. Este conjunto de dados integram o que se convencionou designar de Sistema de Informação Geo-Almada (SIGEO-ALMADA).

A área abrangida pelo estudo é algo complexa do ponto de vista geológico, na medida em que os terrenos que a constituem, com idades compreendidas entre o Miocénico e o Actual, revelam heterogeneidade vertical e lateral significativa. Trata-se de terrenos particularmente afectados por falhas, muitas das quais ficaram ainda por traçar e cuja localização se mostrou difícil atendendo à escala de trabalho utilizada. O trabalho ora apresentado permite identificar, automaticamente, limites geológicos que são de importância hidrogeológica ou geotécnica (caso do contacto entre terrenos miocénicos e pliocénicos).

A manipulação e análise da informação do SIGEO-ALMADA permitiram a derivação, em formato digital (resolução da escala 1:10 000), de diversa cartografia geotécnica: as cartas de unidades geotécnicas, de susceptibilidades aos movimentos de terrenos e de erosão potencial e, ainda, a partir destas, de aptidão à construção. Estas cartas geotécnicas e as de factores anteriormente apresentadas poderão ser utilizadas futuramente na tomada de

decisões a nível municipal e, dessa maneira, obter um planeamento ambiental também fundamentado nas características geotécnicas do território.

À semelhança do que se referiu nos capítulos III e IV, constata-se que não é fácil quantificar os custos dos diferentes trabalhos que levaram à criação e desenvolvimento do SIGEO-ALMADA. Em termos de tempo gasto, porém, as fases de concepção, recolha de dados existentes e seu complemento com outros novos, terão correspondido a cerca de dois terços do tempo total despendido (73 %). À fase de carregamento, validação e edição dos elementos em formato digital corresponderá eventualmente cerca de 24-25 %, e os restantes 2-3 % correspondem à fase de análise e manipulação de informação.

Os benefícios obtidos só agora se começam a vislumbrar. Para além dos resultados que se apresentam neste trabalho, os futuros utilizadores, neles incluindo os diferentes organismos de gestão municipal e, ulteriormente, os diferentes utentes da “Almada Cidade Digital” (www.smasalmada.pt/projectos/est_projectos.html), poderão vir a usufruir e actualizar a informação ora disponibilizada. De facto, ainda antes da conclusão do trabalho, já alguns dos elementos aqui apresentados (nomeadamente, as cartas hipsométrica, de declives ou de documentação e respectiva informação alfanumérica associada) foram, mais de uma vez, solicitados para consulta e/ou análise juntamente com outra informação do SIGMA. Espera-se, também, que o SIGEO-ALMADA contribua decisivamente para se diminuírem os desperdícios económicos e de tempo que resultam do desconhecimento da existência de informação sobre uma dada área evitando, assim, a redundância de informação que se tem verificado nalguns casos.

Numa fase em que o PDM de Almada se aproxima da sua primeira revisão, espera-se que esta já se realize considerando as características geotécnicas da área abrangida por este estudo possibilitando, deste modo, um Plano mais fundamentado e abrindo caminho para a gestão sustentada que o Município pretende.

É desejo da autora continuar a contribuir para o aprofundamento futuro da investigação agora levada a cabo e para a contínua difusão, quer da aplicação de SIG na Geotecnia, quer da cartografia geotécnica em Portugal, nomeadamente no âmbito do planeamento e ordenamento do território.

O aprofundamento deste estudo no âmbito de investigações futuras poderá envolver os seguintes desideratos:

- avaliação do erro associado aos limites obtidos no traçado automático de cartas derivadas/síntese;
- padronização das litologias contidas na tabela CAMADA para melhorar a interpretação 3-D da litologia/unidades geotécnicas;

- utilização de outro *software* para análise e exploração futura do MDT e da litologia/geotecnia em vistas 3-D;
- melhoria da análise da relação tridimensional entre a litologia e as características geotécnicas nos dados de sondagens;
- complemento da BD agora construída com imagens de fotografias de aspectos geológicos e geotécnicos obtidas no decurso desta investigação, através do armazenamento numa tabela MULTIMÉDIA, que fará a ligação de tais imagens às unidades geotécnicas ou aos dados pontuais que documentam;
- complemento dos elementos da BD de referência espacial com novas informações, nomeadamente as obtidas dos estudos do Metro Sul do Tejo, e eventual actualização de alguns limites traçados entre unidades;
- melhoria do conhecimento das unidades decorrentes das actividades antrópicas, por exemplo, através da história das extracções de agregados no concelho e melhoria da caracterização das variações de profundidade dos aterros lançados para a colmatação dessas cavidades.

VIII. REFERÊNCIAS

VII. Referências

Abreviaturas

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia

Bol - Boletim

Bull - Bulletin

CMA - Câmara Municipal de Almada

CNIG - Centro Nacional de Informação Geográfica

Com. - Comunicações; Communications

Comp - Computing

Eng - Engineering

Env - Environmental

Ed(s). - Edição; Editor(s)

FC-UL – Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa

Fom - Fomento

Geol - Geológicos; Geological; Geology

IAEG - International Association of Engineering Geology / International Association for Engineering Geology and the Environment (desde 1998)

IGM - Instituto Geológico e Mineiro

IJGIS - International Journal of Geographic Information Systems/Science

ITGE - Instituto Geologico y Minero de Espana / Instituto Tecnologico y GeoMinero de Espana

Int - International

ISMR - International Society for Rock Mechanics

Min - Mineiro; Mining

J - Journal

L Labo P et Ch - Liaison Laboratoire Ponts et Chaussées

MARN - Ministério do Ambiente e Recursos Naturais

PE&RS - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing

Proceed - Proceedings

Pub – Publications

SAGT – Secção Autónoma de Geotecnia

Serv – Serviços, Services

Symp - Symposia

A. CAVACO, 1981. Serviços Municipalizados de Água e Saneamento da Câmara Municipal de Almada, Análise, verificação e eventual reparação dos furos de captação do abastecimento de água a Almada. *Relatório final*, Lisboa, Outubro.

ABECASSIS F., 1987. O regime aluvionar da costa portuguesa entre Peniche e a Foz do Mira. *Ingenium* 11:4-18.

ABOLMASOV B. & SOTJKOV K., 1994. The influence of landslides on urban planning in Belgrade city. *In* R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA (eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 2329

ABOLMASOV B., JEVREMOVIC D., OBRADOVIC I. & REGOJE M., 1998. Comparative assessment of engineering geological terrain suitability for urban planning: traditional versus fuzzy approach. *In* D.P. MOORE & O. HUNGR (eds.), *Proceed. 8th Congr. IAEG*, Vancouver. Balkema, Rotterdam, 2565-2572.

ADLAM K. A. McL., CLAYTON A. R., KELK B., 1988. A "demonstrator" for the National Geosciences Data Index. *IJGIS*, 2(2): 161-170.

VII. Referências

- AGPL - Administração Geral do Porto de Lisboa, 1984. Reconhecimento geotécnico na zona da Trafaria (Terminal cerealeiro da EPAC). *Relatório não publicado*, Lisboa.
- AGUILLO ALONSO M. *et al.*, 1996. *Guia para la elaboración de estudios del Medio Físico: Contenido y metodología*. Ministerio de Medio Ambiente, Secretaria General de Medio Ambiente, 2ª reimpr., Serie monografias, 809 p.
- AKHTAR A., 1998. International seminar on Geoscience and Urban Development. *Episodes*, 21(3):190.
- ALBERT T.M., 1983. Geoscience data management. *Computers & Geosciences*, 9(1), 3-6.
- ALMEIDA F. Moitinho de & ALMEIDA I. Moitinho de, 1997. Contribuição para a actualização da carta geológica do Concelho de Lisboa. *6º Congresso Nacional de Geotecnia*, Lisboa, 107-115.
- ALMEIDA F. Moitinho de & FOLQUE J., 1960. Direcção Geral de Geologia e Minas. Serviços geológicos. Contribuição geológica ao estudo das ligações rodoviária e ferroviária entre Lisboa e a margem Sul do Tejo. *Relatório confidencial*, SGP, Lisboa, Dezembro.
- ALMEIDA F. Moitinho de & ZBYSZEWSKI G., 1955. Ministério da Economia. Direcção Geral de Geologia e Minas. Serviços geológicos. Contribuição geológica ao estudo das ligações rodoviária e ferroviária entre Lisboa e a margem Sul do Tejo. *Relatório não publicado*, Serv Geol Portugal, Lisboa, Outubro.
- ALMEIDA F. Moitinho de 1986. *Carta Geológica do Concelho de Lisboa, Escala 1:10 000*. Serv. Geol. Portugal, Lisboa.
- ALMEIDA I.M.B. Moitinho de, 1991. *Características geotécnicas dos solos de Lisboa*. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Geotecnia, Lisboa, 485 p.
- ALMEIDA J.R., 1998. Risco sísmico, gestão e projectos portuários em Setúbal e Sesimbra. Relatório Técnico nº3: Liquefacção de solos sujeitos a sismos. *Relatório não publicado*, UNL/FCT/DEC/Secção de Estruturas, Monte de Caparica.
- ALMEIDA T., 1762. *Recreação Filozofica, ou Dialogo sobre a Fozofia Natural para instrusão de pessoas curiosas, que não frequentáram as aulas*. Oficina de Miguel Rodrigues, Lisboa, VI (Tarde XXXV):400-418.
- AMARO C., 1990. Ocupação romana da Margem Sul do Estuário do Tejo: Um (Des)alinhar de Ideias. In "Ânforas Lusitanas. Tipologia, Produção, Comércio", Coimbra, Museu Iconográfico de Conímbriga, 71-85.
- ANDERSON W.H., MORRIS L.G. & SPARKS T.N., 1997. Semi-automated data capture for vectorizing geologic quadrangle maps in Kentucky. *Digital Mapping Techniques'97*, U.S. Geological Survey Open-File Report, 97-269. <http://ncgmp.usgs.gov/pubs/of97-269/anderson.html>, Last updated: 10.06.97.
- ANDRADA e SILVA J.B. de, 1817. Memória sobre a nova mina de ouro da outra banda do Tejo. Lida em 10 de Maio de 1815. *Hist. e Mem. da Acad. R. Sci. Lisboa*, V(I):140-152.
- ANDRADE C.B. Freire de, 1933. A tectónica do estuário do Tejo e dos vales ao largo da Costa da Caparica, e a sua relação com as nascentes termo-medicinais de Lisboa (considerações preliminares). *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, XIX:23-40.
- ANDRE S. A., MANEA S. & CIOCALTEU A., 1997. La systématisation, le stockage et la réutilisation des information géotechniques. Principe d'organisation d'une banque de données géotechniques. *Revue Française de Géotechnique*, 78 (1):51-61.
- ANONYME, 1977. *Recommandations pour la cartographie géotechnique appliquée aux problèmes d'aménagement et d'urbanisme*. Ministère de l'Équipement et du Logement, Direction de l'Aménagement Foncier et de l'Urbanisme, Paris, 15 p.
- ANONYMOUS, 1972. The preparation of maps and plans in terms of Engineering Geology. *Quarterly J Eng Geol*, 5:293-381.
- ANTUNES M. T., 1971. Vertebrados fósseis da região de Lisboa: seu enquadramento paleoecológico. *III Curso de Extensão Universitária de Ciências Geológicas*, Centro de Estudos de Geologia Pura e Aplicada, FC-UL, 49-72.
- ANTUNES M.T., AZEVEDO M. Teresa, ESTEVENS M., GONZÁLEZ-DELGADO J. A., LEGOINHA P., PAIS J., PIMENTEL N. & SOUSA L., 2000. *Cenozoic of Setúbal Peninsula. Field trip guide, 4th March 2000*. Centro de Estudos Geológicos, Monte de Caparica, 57 p.
- ANTUNES M.T., ELDERFIELD H., LEGOINHA P., NASCIMENTO A. & PAIS J., 1999. A Stratigraphic framework for the Miocene from the Lower Tagus Basin (Lisbon, Setúbal Peninsula, Portugal). Depositional sequences, biostratigraphy and isotopic ages. *Bol Soc Geol España*, 12(1): 3-15.

VII. Referências

- ANTUNES M.T.; LEGOINHA P.; CUNHA P. & PAIS J., 2000. Estratigrafia de alta resolução e Correlação de fácies do Aquitaniano ao Tortoniano inferior de Lisboa e da Península de Setúbal (Bacia do Baixo Tejo). *1º Congresso sobre o Cenozóico de Portugal*, Monte de Caparica.
- ANTUNES, M.T.; LEGOINHA, P.; NASCIMENTO, A. & PAIS, J., 1996. The evolution of the lower Tagus basin (Lisbon and Setúbal Peninsula, Portugal from Lower to early Middle Miocene. *Géologie de la France*, B.R.G.M., 6: 59-77
- ANTUNES M.T., MEIN P. & PAIS J., 1986. Depósitos messinianos do sul de Portugal, mamíferos (incluindo rodentia e lagomorpha) e idades K-Ar. *Ciências da Terra (UNL)*, 8:55-64.
- ANTUNES, M.T. & PAIS, J. 1989. *Paisagem Protegida da Arriba Fóssil da Costa de Caparica, Notícia explicativa da carta geológica na escala 1:5 000*. CEPUNL, 26 p.
- ANTUNES, M.T. & PAIS, J. 1993. The Neogene of Portugal. *Ciências da Terra (UNL)*, 12: 7-22.
- ANTUNES M.T., PAIS J. & LEGOINHA P., 1992. Excursion A - Neogene deposits of Lisboa and Setúbal Peninsula. *Ciências da Terra (UNL)*, Número especial II: 29-35.
- ANTUNES M.T., PAIS J., BALBINO A., MEIN P. & AGUILAR J.P., 1999. The Cristo Rei section (Lower Miocene). Distal fluvial environments in a marine series, plants, vertebrates and other evidence, age. *Ciências da Terra (UNL)*, 13: 141-155, 5 figs., 3pl.
- ARNOULD M., 1970. The International Association of Engineering Geology: History - Activity. *Bull. IAEG*, 1:22-28.
- ARNOULD M., MONOT G., DEVEUGHELE M. & SANEJOUAND R., 1978. Project de constitution d'un fichier de données géotechniques de la ville de Paris. Études préliminaires - Principes d'utilisation - Choix d'un système - Experimentation. *III Int. Congr. IAEG*, Madrid, 108 - 115.
- ARONOFF S., 1991. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications, 2nd. ed., Ottawa, 294 p.
- ARTHUR J.D. & POLLOCK W.H., 1998. Use of ArcView GIS for geologic surface modeling - preliminary results from subsurface mapping in Southwest Florida. *Digital Mapping Techniques'98 - Workshop Proceed.*, U.S. Geological Survey Open-File Report, 98-487. <http://pubs.usgs.gov/openfile/of98-487/arthur.html>, Last updated: 10.06.98.
- ATLAS DO AMBIENTE, 1999. *Atlas digital do ambiente – DGA*. URL:<http://www.iambiente.pt/cgi-bin/download>.
- AYALA-CARCEDO F.J., 1988. Introduccion a los riesgos geológicos. In F.J. AYALA-CARCEDO, J.J. Duran VALSERO & T.P. PARRA (eds.), *Riesgos geológicos*. Curso de Riesgos Geológicos, Instituto Geologico y Minero de Espana, Série: Geologia Ambiental, Madrid, 3-19.
- AYALA-CARCEDO F.J., 1990. Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y aplicación a la definición de tipos de mapas de riesgos geológicos. *Bol. Geológico y Minero*, 101(3): 456-467.
- AYALA-CARCEDO F.J., LAIN L. *et al.*, 1990. Estudio de Riesgos Naturales en la Ciudad de Alcoy. Riesgos de Avenidas. Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico (Esc. 1/5000). *ITGE*, Madrid.
- AZEVEDO M.T., 1982. *O sinclinal de Albufeira, Evolução pós-miocénica e reconstrução paleogeográfica*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Geologia, FC-UL, Lisboa, 302 p.
- AZEVEDO, M.T. & CARDOSO, J.L. 1985. Formações plio-quadernárias da Península de Setúbal. *Guia da excursão da I Reunião do Quaternário Ibérico*, G.T.P.E.Q., Setembro.
- BAILEY T. C. & GATRELL A. C., 1995. *Interactive spatial data analysis*. John Wiley & sons, New York, 413 p.
- BARROS L. & AMARO C., 1984. Fábrica de Salga de Peixe em Cacilhas. *Al-madan*, Centro de Arqueologia de Almada, 3: 33-34.
- BARROS L. & HENRIQUES F., 1996a. Almaraz – Um entreposto comercial na foz do Tejo. *Actas das 2^{as} Jornadas de Estudo sobre o Concelho de Almada*, Almada, 87-90.
- BARROS L. & HENRIQUES F., 1996b. Vestígios de um cais pré-romano em Cacilhas. *Actas das 2^{as} Jornadas de Estudo sobre o Concelho de Almada*, Almada, 101-105.
- BARROSO J.A. & BARROSO E.V., 1996. O meio físico como fator indispensável ao planeamento da expansão das cidades: O caso de Niterói - RJ. *Solos e Rochas*, 19(1):63-77.
- BECK D., 1997. Avoid the top 10 GIS project mistakes. *GIS World*, 10(10): 48-50.
- BECKER-PLATEN J.D., LUTTIG G. & MEINE K.-H., 1979. Geoscientific maps for planning. *UNESCO Natural Resources Forum*, 3:167-177.

VII. Referências

- BEIRA I., OLIVEIRA P., MONTEIRO P., ARROJA R. & AFONSO P., 1997. The geographic information system of the municipality of Almada. In J.R. MACHADO & J. AHERN (eds.), *Environmental challenges in an expanding urban world*. Gulbenkian Foundation, Lisbon, 49-58.
- BENTLEY S. P., STENNING A. S. *et al.*, 1990. Strata 3: A Multi-Surface Graphics Package for the Management of Engineering Geology Data. *Proceed. 6th. Int. Congress IAEG Symposia*, Amsterdam. Balkema, Rotterdam, 3-7.
- BERRY B. L., 1979. Harvard papers in theoretical cartography – general introduction to the series. In H. FISHER (ed.), *Thematic Mapping*, Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, Harvard University, Cambridge, 8.
- BERRY J.K., 1993. *Beyond mapping: concepts, algorithms and issues in GIS*. GIS World, Fort Collins, Colorado, 246 p.
- BERTINO E. & MARTINO L., 1993. *Object-oriented database systems*. Addison-Wesley Publish. Ltd., International Computer Science Series, Cornwall, 264 p.
- BHAGWAT S.B. & BERG R.C., 1992. Environmental benefits vs. cost of geologic mapping. *Environmental Geology & Water Science*, 19(1):33-40.
- BIE S.W., 1974. The representation of geological and soil information within an automated data handling system. *Bull IAEG*, 10:27-29.
- BOCCO G., BLANCO J.L. & MORALES L.M., 1990. Computer-assisted mapping of gullies: a spatial database for a gully information system. *ITC - Journal*, 1:45-50.
- BONHAM-CARTER G.F., 1997. *Geographic information systems for geoscientists: Modeling with GIS*. Pergamon, Ontario, Computer methods in the Geosciences 13, 398 p.
- BOONSTRA D., 1983. Computer-assisted engineering geological map. *ITC - Journal* 1983-2:123-125.
- BOTTINO C. & CIVITA M., 1986. A computer semi-quantitative model for microzonation of hazard from interconnection of engineering-geological features and urban sub-service network. *Proceed. 5th Int. Congr. IAEG*, Buenos Aires. Balkema, Rotterdam, 1731-1740.
- BRABYN L., 1997. Classification of macro landforms using GIS. *ITC*, 1:26-40.
- BREUIL H. & ZBYSZEWSKI G., 1945. Contribution à l'étude des industries paléolithiques et de leur rapports avec la géologie du Quaternaire, II - Les principaux gisements des plages quaternaires du littoral d'Estremadura et des terrasses fluviales de la basse vallée du Tage. *Com. Serv. Géol. Portugal*, Lisboa, XXVI: 680 p.
- BREUNIG M., 1996. *Integration of spatial information for geo-information systems*. Springer-Verlag, Berlin, Lecture notes in earth sciences; 61, 174 p.
- BROSTER B.E. & BRUCE I.G., 1990. A site selection case study using terrain analysis in conjunction with an evaluation matrix. *Quarterly J. of Engineering Geology*, 23:209-216.
- BROWN L.J., 1992. Water well logs – basic data for environmental geology and hydrogeology. *29th Int. Geol. Congr.*, Kyoto, 917.
- BROWN R.D. & KOCKELMAN W.J., 1983. *Geologic principles for prudent land-use. A decisionmaker's guide for the San Francisco Bay Region*. U.S. Geological Survey Professional Papers 946, 97 p.
- BUISSON J.-L., 1976. Le fichier des données géotechniques. *Bull. L Labo P et Ch*, 84: 149-162.
- BUISSON J.L., GROS G., SANEJOUAND R. & VOIMENT R., 1979. Computer-aided drafting of the engineering geological map of Rouen. *Bull. IAEG*, 19:303-310.
- BURROUGH P.A., 1994. *Principles of geographic information systems for land resources assessments*. Oxford University Press, 2nd ed, London, 194 p.
- BURROUGH P.A. & McDONNELL R.A., 1998. *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press, London, 333 p.
- CABRAL J. 1988. Introdução à Neotectónica. *Geonovas*, 10: 55-65.
- CABRAL J., 1995. Neotectónica em Portugal Continental. *Memórias dos Serv. Geol. Portugal*, 31:1-237.
- CABRAL J., DIAS R.P. & BRUM A., 1984. Estudo de falhas afectando formações plio-quaternárias na zona da Fonte da Telha (Península de Setúbal). *Com. Serv. Geol. Portugal*, 70(1): 83-91.
- CABRAL J. & RIBEIRO A., 1988. *Carta Neotectónica de Portugal Continental, escala 1:1 000 000, Nota explicativa*. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 10 p.

VII. Referências

- CABRAL J. & RIBEIRO, A., 1989. Incipient subduction along West-Iberia continental margin. *28th Int. Geological Congress* (Washington, D.C.), I:1-223.
- CACHÃO M., 1984. *Contribuição para o estudo do Miocénico da Península de Setúbal*. Relatório de Estágio Científico, Departamento de Geologia, FC-UL, Lisboa (policopiado).
- CALEMBERT L., MONJOIE A., POLO-CHIAPOLINI Cl. *et al.*, 1980. Utilisation de l'ordinateur pour l'élaboration des cartes géotechniques dans la région liégeoise. *Bull IAEG*, 21:159-164.
- CAMPOS J. de, 1957. Elementos para a História da Administração Mineira nos séculos XII a XVI. *Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro*, XII (3-4):272-345.
- CAMPOS-COSTA A., OLIVEIRA C.S. & SOUSA L.M., 1992. Seismic hazard consistent studies for Portugal. *Proc. 10th World Conference on Earthquake Engineering*, Balkema, Rotterdam, 1:477-482.
- CANDELA L., 1988. A geological-geotechnical data base for micro computers. *Bull. IAEG*, 37:99-106.
- CARRARA A., BITELLI G. & ROBERTO C., 1997. Comparison of techniques for generating digital terrain models from contour lines. *IJGIS*, 11(5):
- CARRARA A., CARDINALI M. & GUZZETTI F., 1992. Uncertainty in assessing landslide hazard and risk. *ITC - Journal* 2:172-183.
- CARRARA A.; CARDINALI M., GUZZETTI F. & REICHENBACH P., 1995. GIS technology in mapping landslide hazard. In A. CARRARA & F. GUZZETTI (eds.), *Geographical Information systems in assessing natural hazards*. Kluwer Pub., Dordrecht, 128-147.
- CARVALHO A. Dias de, 1975. As aluviões auríferas do Tejo. *Bol. Minas*, 12(1): 3-16.
- CARVALHO A.M.G., 1968. Contribuição para o conhecimento geológico da Bacia Terciária do Tejo. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, 15, 211 p.
- CAVALEIRO V.M.P., 2001. *Condicionantes geotécnicas à expansão do núcleo urbano da Covilhã*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, vol. I, 330 p.
- CEL, 1998. Grupo AUCHAN, Centro Comercial Almada Center, Relatório geológico e geotécnico. *Relatório não publicado*, Lisboa.
- CENDRERO A., 1975. Environmental geology of Santander Bay Area, Northern Spain. *Environmental Geology*, 1:97-114.
- CENDRERO A. & DIAZ de TÉLAN J.R., 1987. The environmental map system of the University of Cantabria, Spain. In P. ARNDT & G. LUTTIG (eds.), *Mineral resources extraction, environmental protection and land-use planning in the industrial and developing countries*. Schweizerbart Verlag, Stuttgart, 149-181.
- CENDRERO A., DIAZ de TÉLAN J.R., FERNANDÉZ O. *et al.*, 1987. Detailed geological hazards mapping for urban and rural planning in Vizcaya (Northern Spain). In F. CHR. WOLFF (ed.), *Geology for environmental planning*, *Proceed. Int. Symp. "Geological mapping in the service of environmental planning"*, Trondheim (Norway). Norges Geol. Unders., Spec. Publ., 2: 25-41.
- CENDRERO A., SÁNCHEZ J., ANTOLÍN C. *et alia*, 1990. Geoscientific maps for planning in semi-arid regions: Valencia and Gran Canaria, Spain. In F. CHR. WOLFF & A. CENDRERO (eds.), *Geology and the Environment, Engineering Geology*, special issue, 29:291-319.
- CENORPLAN, 1992. EE NN 377-1 e 377, Ligação da Trafaria à Via Rápida, Projecto de Execução, Volume 3 - Estudo Geológico - Geotécnico. *Relatório não publicado*, Lisboa.
- CHACÓN J., IRIGARAY C. & FERNÁNDEZ T., 1994. Large to middle scale landslides inventory, analysis and mapping with modelling and assessment of derived susceptibility, hazards and risks in a GIS. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA (eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. A.A. Balkema, Rotterdam, 4669-4678.
- CHAMBEL L., 1999. *Cartografia geológica, planeamento da prospecção, cálculo de reservas e recuperação ambiental de jazigos minerais assistidos por sistemas de informação geográficos: análise de casos em Portugal, Angola e Brasil*. USIG, CD-Rom com os resumos do VII Encontro.
- CHARLIER R.H., 1992. Managing the needs of coastal zone users. In M. HERMELIN (ed.), *Proceed. II Simp. Latinoamericano de Riesgo Geológico Urbano, II Conf. Colombiana de Geologia Ambiental*, Pereira (Columbia), 1:93-99.
- CHEW K.J., 1995. Data modelling a general-purpose petroleum geological database. In J.R.A. GILES (ed.), *Geological data management*, Geological Society Special Pub., 97:13-23.
- CHOFFAT P., 1906. Sur la tectonique de la chaîne de l' Arrábida entre les embouchures du Tage et du Sado. *Bull. Soc. Géol. France*, 4e Sér., VI: 237.

VII. Referências

- CHOFFAT P., 1908. Essai sur la tectonique de la chaîne de l'Arrabida. *Comm. Serv. Géol. du Portugal*, 89 p.
- CHOFFAT P., 1912-13. Rapport géologique et économique sur les sables aurifères marins d'Adiça et sur d'autres dépôts aurifères de la côte occidentale de la péninsule de Setúbal (1892). *Comm. Serv. Geol. Portugal*, IX:5-26.
- CHOFFAT P., 1950. Géologie du Cénozoïque du Portugal. *Com. Serv. Geol. Portugal*, XXX (suplemento): 1-183.
- CHOFFAT P. & BENSÁUDE A., 1911. Études sur le séisme du Ribatejo du 23 Avril de 1909. *Comm. Serv. Geol. Portugal*, 140 p.
- CHOFFAT P. & DOLLFUS G.F., 1904-07. Quelques cordons littoraux marins du Pléistocène du Portugal. *Comm. Serv. Geol. Portugal*, VI: 158-173.
- CHRISMAN N., 1997. *Exploring geographic information systems*. John Wiley and Sons, London, 320 p.
- CHRISMAN N., 1999. *What is GIS?* <http://faculty.washington.edu/chrisman/G460/Lec02.html>. Version of 29 September 1999.
- CMA - GABINETE DO PLANO DIRECTOR MUNICIPAL, 1991a. *Plano Director Municipal: Conceitos e princípios de ordenamento para o Concelho de Almada*. CMA, Almada.
- CMA - GABINETE DO PLANO DIRECTOR MUNICIPAL, 1991b. *Elementos fundamentais de análise e diagnóstico do Concelho de Almada*. CMA, Almada.
- CMA - GABINETE DO PLANO DIRECTOR MUNICIPAL, 1992a. *Propostas urbanísticas e estatísticas do Plano*. CMA, Almada, 159 p.
- CMA - GABINETE DO PLANO DIRECTOR MUNICIPAL, 1992b. *Estudo do meio físico*. CMA, Almada, 89 p.
- CNIG, 1999. *Relatório de actividades 1998*. MEPAT, Oeiras, 95 p.
- COELHO A. Gomes, 1980. *A cartografia geotécnica no planeamento regional e urbano. Experiência de aplicação na região de Setúbal*. Tese de Especialista, LNEC, Lisboa, 157 p.
- COELHO A. Gomes, 1986. Engineering geological mapping for seismic microzonation. *Proceed. 5th Int. IAEG Congress*, Buenos Aires (Argentina), A.A. Balkema, Rotterdam, 1797-1805.
- COELHO A. Gomes, 1998. Falhas activas e casualidade sísmica em Portugal. *Simpósio sobre Catástrofes Naturais: Estudo prevenção e Protecção*, O.E./LNEC, Lisboa, I-1 a I-32.
- CONDE L.N. & ANDRADE R.S.N., 1976. Exemplos de aplicação geológica de imagens de teledetecção de Portugal. *1º Seminário sobre Detecção Remota e sua Aplicação ao Estudo dos Recursos Naturais e às Actividades do Homem*, Lisboa (policopiado).
- COPPOCK J.T. & RHIND D.W., 1991. The history of GIS. In D.J. MAGUIRE, M.F. GOODCHILD & D.W. RHIND (eds.), *Geographical Information Systems. I – Principles*, Longman Scientific & Technical, London, 21-43.
- CORREIA J.E.C., 1997. *Liquefacção de solos sob acções sísmicas*. Dissertação de Mestrado em Mecânica dos Solos, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 305 p.
- COSTA C. Nunes, 1985. Fenómenos de instabilidade nas escarpas da margem esquerda do Tejo (zona de Almada). *Bol. Geotécnico (SAGT-FCT/UNL)*, 1:101-114.
- COSTA C. Nunes, 1986. Nota preliminar sobre a evolução geomorfológica das escarpas de Almada nos últimos cem anos. *Bol. Geotécnico (SAGT - FCT/UNL)*, 2:127-134.
- COTTER J.B., 1956. O Miocénico marinho de Lisboa. *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, XXXVI(supl.):1-170.
- COULTHARD J.M., BELL F.G. & ZYTYNSKI, 1990. Integration of standard software package and systems for unified data capture and processing. *Proceed. 6th Int. Congress IAEG*, Amsterdam. A.A. Balkema, *Symp*: 9-15.
- CUF - Centro de Projectos, 1963. Projecto 169, Lisnave, S.A.R.L., Novo Estaleiro Naval de Lisboa, Reconhecimento geológico e geotécnico da Área do Futuro Estaleiro Naval, Estudo nº 564 (213). *Relatório não publicado*, Lisboa.
- CULSHAW M.G., BELL F.G. & O'HARA M. (eds.), 1987. *Planning and Engineering Geology*. *Proceed. 22nd. Annual Conference of Eng Group of the Geological Society*, Plymouth, September 1986, 641 p.
- CULSHAW M.G. & MARKER B.R., 1996. Activities of IAEG Commissions - Commission "Engineering geological maps". *IAEG Newsletter*, 24:29-31.
- CUNHA P.Proença, BARBOSA B. & REIS R. Pena dos, 1993. Synthesis of the onshore record between the Aveiro and Setúbal parallels (western portuguese margin). *Ciências da Terra (UNL)*, 12: 35-43.
- DAM J.P., NUYENS J., ROISIN V. & THONNARD R., 1977. *Carte géotechnique 31.3.5 Bruxelles*. Institut géotechnique de l'État, 10 cartes.

VII. Referências

- DANGERMOND J. & SCHUTZBERG A., 1998. Engineering geographic information systems and databases: a new frontier. *J. Computing Civil Eng*, 12(3):121-122.
- DATE C.J., 1990. *An introduction to database systems*. Addison-Wesley Publish. Company, The systems programming series, 5th ed., Reading, Massachusetts, vol. I, 854 p.
- DAVEAU S. & AZEVÊDO T., 1980/81. Aspectos e evolução do relevo da extremidade sudoeste da Arrábida (Portugal). *Bol. Soc. Geol. Portugal*, XXII:163-179.
- DEARMAN W.R. & MATULA M., 1976. Environmental aspects of engineering geological mapping. *Bull IAEG*, 14:141-146.
- DEARMAN W.R., 1991. *Engineering geological mapping*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 387 p.
- DIAS J. M. A., 1990. A evolução actual do litoral português. *Rev. Protecção Civil*, III(10):2-15.
- DIKAU R., BRABB E.E. & MARK R.M., 1991. Landform classification of New Mexico by computer. *US Geol Survey, open-file report*, 91-634, 26 p.
- DIKAU R., CAVALLIN A. & JAGER S., 1996. Databases and GIS for landslide research in Europe. *Geomorphology*, 15: 227-239.
- DIONÍSIO S., 1998. *Sistemas de informação geográfica em Geologia e Geotecnia. Aplicação prática à encosta sul do Casal Ventoso – Lisboa*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Geologia de Engenharia, FCT/UNL, Lisboa.
- DOBROVOLNY E. & SCHMOLL H.R., 1968. Geology as applied to urban planning: An example from the Greater Anchorage Area Borough, Alaska. *Proceed. 23rd Int. Geological Congr.*, Prague, 12:39-56.
- DOLLFUS G. & COTTER J.B., 1909. Mollusques tertiaires du Portugal. Le Pliocène au Nord du Tage (Plaisancien), 1^{re} Partie – Pelecypoda, Procédée d'une notice géologique. *Comm Serv Geol Portugal*, I-XXIV.
- DOLLFUS G., COTTER J.B. & GOMES J.P., 1903/04. Mollusques tertiaires du Portugal. Planches de Céphalopodes, Gastéropodes et Pélécypodes laissés par F.A. Pereira da Costa; accompagnées d'une explication sommaire et d'une esquisse géologique. *Comm. Serv. Géol. Portugal*, Lisbonne, 1-46.
- DUARTE M. M., 1995. *A Mina de Ouro da Adiça e a sua exploração*. SALPA - Associação para a salvaguarda do Património Cultural e Natural da Região de Setúbal, Colecção Património, Ensaio nº 5, 195 p.
- DUARTE P. Teixeira, 1941. Relatório sobre duas sondagens geológicas de reconhecimento para abastecimento de água da Base Naval do Alfeite. *Relatório não publicado*, Lisboa (policopiado).
- DUARTE P. Teixeira, 1942. Relatório sobre abastecimento de água potável da Base Naval de Lisboa, no Alfeite. *Relatório não publicado e anexos*, Lisboa, Janeiro.
- DULLER P.R., 1995. The quality assurance of geological data. In J.R.A. GILES (ed.), *Geological data management*, Geological Society Special Publ., London, 97:91-95.
- DURAND M., 1990. La cartographie géologique et goétéchnique interactive sur micro-ordinateur. *Proceed. of 6th International Congress IAEG*, Amsterdam. A.A. Balkema, Rotterdam, *Symp*:17-22.
- DURVILLE J. L., LACUBE J. & MARTINEAU F., 1991. Dataroc, une banque de données physico-mécaniques sur les roches. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 173: 91-95.
- ECHEVARRIA CABALLERO M.R., 1978. Geotechnique cartography in Spain. *Proceed. 3rd Int. Congr. IAEG*, Madrid, 31-37.
- EDWARDS R.A., SCRIVENER R.C., FORSTER A., 1987. Applied geological mapping, Southampton Area. Main Report and Appendix, *BGS Research Report ICSO/87/2*.
- ELLISON R. A., BOOTH S. J. & STRANGE P. J., 1993. Geological mapping in urban areas. *Episodes*, 16 (3):383-388.
- ESCHWEGE, G. Barão de, 1831. Memória geognostica ou Golpe de vista do Perfil das estratificações das diferentes rochas, de que he composto o terreno desde a Serra de Cintra na linha Noroeste a Sudoeste até Lisboa, atravessando o Tejo até à Serra da Arrabida, e sobre a sua idade relativa. *Mem. Acad. R. Sci. Lisboa*, XI(I):253-280.
- FABBRI A.G., 1992. Introduction to GIS: definitions, components, requirements and applications. *Commett II Seminars on Characterization and Modelling of Natural Resources*, Seminário nº1 – DBMS ad GIS.
- FARINHA J.M., VASCONCELOS L. & SERPA L.P., 1998. Planos municipais do ambiente - Um importante instrumento para o desenvolvimento sustentável a nível local. *Ingenium*, 2ª série, 25:29-34.
- FARRAIA C.I.L., 1989. *Subsídios para o ordenamento do Concelho de Vila do Bispo*. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada, Universidade de Lisboa, 194 p.

VII. Referências

- FERNANDES J.C., 1997. Precisão planimétrica em cartografia digital. *Ingenium*, 2ª série, 21:64-65.
- FERNANDES J.G., 1996. Uma outra Almada. *Actas das 2^{as} Jornadas de Estudo sobre o Concelho de Almada*, Almada, 79-86.
- FERNANDES M., 1994. Subsídios para a história da construção naval no estuário do Tejo (1860-1900). *Almadan*, Centro de Arqueologia de Almada, 3(IIª série): 44-50.
- FERREIRA A.B.; ZÉZERE J.L. & RODRIGUES M.L., 1987. Instabilité des versants dans la région au Nord de Lisbonne - Essai de cartographie geomorphologique. *Finisterra*, XXII(44):227-246.
- FERRIER G. & WADGE G., 1997. An integrated GIS and knowledge-based system as an aid for the geological analysis of sedimentary basins. *IJGIS*, 11(3): 281-297.
- FIGUEIREDO P.M.S.L.R., 1989. *Aplicações de computadores pessoais para tratamento de dados geotécnicos*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Geologia de Engenharia, UNL, Lisboa, 263p.
- FLAWN P.T., 1970. *Environmental Geology: Conservation, land-use planning and resource management*. Harper & Row, Pub., New York.
- FLORES A. M., 1996. *Almada e sua circunscrição municipal: abordagem multidisciplinar*. Ed. do autor, Almada, 87p.
- FLORES A. M. & CANHÃO C., 1994. *Chafarizes de Almada*. CMA - SMAS, Almada, 152 p.
- FLORES A. M. & POLICARPO A.N., 1998. *Arsenal do Alfeite: Contribuição para a história da indústria naval em Portugal*. Junta de Freguesia do Laranjeiro, Almada, 387p.
- FOOKES P.G., 1997. Geology for engineers: the geological model, prediction and performance. *Quarterly J. Eng. Geol.*, 30:293-424.
- FOLQUES J., 1987. Comportamento de maciços terrosos sob a acção de solicitações sísmicas. *Geotecnia*, 51:1-31.
- FORSTER A., HOBBS P.R.N., WYATT R.J. & ENTWISLE D.C., 1987. Environmental geology maps of Bath and surrounding area for engineers and planners. In M.G. CULSHAW, F.G. BELL & M. O'HARA (eds.), *Planning and Engineering Geology*. Proceed. 22nd. Annual Conference of Eng Group of the Geological Society, Plymouth, September 1986, 221-235.
- FRANK A.U., EGENHOFER M.J. & KUHN W., 1991. A perspective on GIS technology in the nineties. *PE&RS*, 57(11):1431-1436.
- FRANZONI A. M.B., BASTOS L.C., PEZZI S. & LAPOLLI E.M., 1998. Mapeamento geotécnico: uma nova perspectiva utilizando redes neurais artificiais. *3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica* (Resumos), Florianópolis, 4.
- FREIRE M.E.F., 1989. A planície litoral entre Trafaria e a Lagoa de Albufeira - estudo de geomorfologia litoral. *Estudos* (SNPRCN), 3:1-204.
- FREITAS M.C.P., 1995. *A laguna de Albufeira (Península de Setúbal) - Sedimentologia, morfologia e morfodinâmica*. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Geologia de Ambiente, Lisboa, 337 p.
- FROELICH A.J., GARNAAS A.D. & VAN DRIEL J.N., 1978. Franconia area, Fairfax county, Virginia. Planning a new community in an urban setting: Lehigh. In G.D. ROBINSON & A.M. SPIECKER (eds.), *"Nature to be commanded...": Earth-science maps applied to land and water management*. U.S. Geological Survey Professional Paper No. 950, Washington D.C., 69-89.
- GALLANT A.L., BINNIAN E.F. & OMERNIK J.M., 1995. *Ecoregions of Alaska*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1567, Washington, 73 p.
- GEOCONTROLE, 1986. GAPRES – Parque Aquático na Costa da Caparica – Estudo geológico-geotécnico. *Relatório não publicado*, Lisboa, 010/108/86, Dezembro.
- GEOLOGICAL SOCIETY, 1982. Land Surface Evaluation for Engineering Practice, Report by a Working Party under the auspices of the Geological Society. *Quarterly J Eng Geol*, 15:265-316.
- GEOLOGICAL SURVEY OF THE NETHERLANDS, SOIL SURVEY INSTITUTE & TNO-DGV INSTITUTE FOR APPLIED GEOSCIENCES, 1986. *Subsoil uncovered*. Europeesch Cartografisch Institut, Rijswijk, 36 p.
- GILES D., 1994. A digital data standard for the electronic transfer of geotechnical data from ground investigations. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA (eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 4563-4568.
- GILES J.R.A., 1995. The what, why, when, how, where and who of geological data management. In J.R.A. GILES (ed.), *Geological data management*, Geological Society Special Pub., 97:1-4.

VII. Referências

- GILES J.R.A., LOWE D.J. & BAIN K.A., 1997. Geological dictionaries - Critical elements of every geological database. *Computers & Geosciences*, 23 (6):621-626.
- GOMES L.M. Ferreira, 1992. *Zonamento geotécnico da área urbana e suburbana de Aveiro*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 531 p.
- GOURNELLOS T., VASSILOPOULOS A. & EVELPIDOU N., 1997. Development of a GIS-based methodology to analyse geological, geomorphological and environmental data of the island of Zakynthos. In P. MARINOS, G.C. KOUKIS, G.C. TSIMBAOS & G.C. STOURNARAS (eds.), *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, 1253-1256.
- GRAÇA H.F.G., 1990. *Alteração e escorregamentos em argilas sobreconsolidadas*. Dissertação apresentada à Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Geologia de Engenharia, Monte de Caparica, 231 p.
- GRECCHI R.C. & PÉJON O.J., 1998. Geoenvironmental mapping of region of Piracaciba, São Paulo, Brazil, using GIS. In D.P. MOORE & O. HUNGR (eds.), *Proceed. 8th Congress IAEG*, Vancouver. Balkema, Rotterdam, 2591-2597.
- GUIENNET B., 1976. Le fichier géologique et géotechnique du laboratoire d'Aix-en-Provence. *Bull. L Labo P et Ch*, 84:163-171.
- GUIMARÃES J., 1981. O Terramoto de 1755 visto por testemunhas ingleses. *História*, 36:37-42.
- GUPTILL S. C. (ed.), 1991. *An enhanced digital line graph design: A feature-based model for digital spatial databases that represent geographic phenomenon*. U. S. Geol Survey Circular 1048, Reston, Va. (policopiado).
- HAFDI A., 1987. Approach methodology for drawing up a ability map. In P: Arndt & G. Luttig (ed.), *Mineral resources' extraction, environmental protection and land-use planning in the industrial and developing countries*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 271-278.
- HAGAN W.W., 1994. The role of state geological surveys in environmental geology. *Env. Geol.*, 23:166-167.
- HAIFEI L., 1995. Store well-logging data with objectstore ODBMS. *Computers & Geology*, 21 (10):1121-1129.
- HARDING J.S. & WINTERBOURN M.J., 1997. An ecoregion classification of the South Island, New Zealand. *J Env Management*, 51(3):275-287.
- HASAN S. E. & WEST T.R., 1982. Development of an environmental geology data base for land use planning. *Bull. Association Eng Geologists*, 19(2): 117-132.
- HAUGERUD R., 1998. Geological maps, spatial databases, and standards. *Digital Mapping Techniques'98*, U.S. Geological Survey Open-File Report, 98-487. <http://pubs.usgs.gov/openfile/of98-487/haug1.html>, Last updated: 10.07.98.
- HAVARD H., MIGNOT N. & POTDEVIN M., 1976. SYGFRID pour la gestion sur l'ordinateur d'un fichier géotechnique de granulats. *Bull. L Labo P et Ch*, 84:172-178.
- HENRIQUES R. G., 1994. *Os sistemas de informação geográfica: A modelação hidrológica no domínio das águas superficiais*. LNEC, Lisboa, 119 p.
- HERBSCHLEB J., 1990. Ingeo-Base, an Engineering Geological Database. *Proceed. 6th. Int. Congress IAEG*, Amsterdam, Balkema, Symposia:47-53.
- HEUSER H., 1990. The engineering geological mapping 1:25000 of North Rhine-Westphalia (FRG). Problems of data collection, presentation and protection. *Proceed. of 6th International Congress IAEG*, Amsterdam. A.A. Balkema, Rotterdam, 5:3277.
- HIDROTÉCNICA PORTUGUESA, 1989. Plano Integrado de Desenvolvimento para o Distrito de Setúbal - 1º Fase; II - Sistema Biofísico. Associação de Municípios do Distrito de Setúbal. *Relatório não publicado*, Lisboa.
- HILPMAN P.L., STEWART G.F. et al., 1968. *A pilot study of land-use planning and environmental geology*. State Geological Survey of Kansas and The University of Kansas, Planning for Development, '701' Project n. Kans.P-43, Report n.15 D, 63 p.
- HOLDSTOCK D. A., 1998. Basics of geographic information system (GIS). *J. Comp in Civil Eng*, 12 (1):1-4.
- HOWLAND A.F., 1992. Use of computers in the engineering geology of the urban renewal of London's docklands. *Quarterly J. Eng. Geol.*, 25:257-267.
- HRASNA M. & SZABO S., 1994. Land suitability for ecologically hazardous developments location. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA (eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 1239-1243.

VII. Referências

- HRASNA M. & VLCKO J., 1994. Developments in engineering geological mapping in Slovakia. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA (eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 1231-1238.
- IAEG - Commission on Engineering Geological Mapping, 1981a. Recommended Symbols for Engineering Geological Mapping. *Bull IAEG*, 24:227 -234.
- IAEG - Commission on Engineering Geological Mapping, 1981b. Rock and Soil Description and Classification for Engineering Geological Mapping. *Bull IAEG*, 24:235 - 274.
- IM- Instituto Meteorologia, 1997. Divisão de Sismologia. URL: <http://www.meteo.pt/sismologia/sismologia.html>. Última actualização: 17.02.97.
- INMG – Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1947/96. *Anuário Sismológico de Portugal*. Lisboa.
- IRIGARAY C., FERNANDÉZ T., CHACÓN J., EL AMRANI-PAAZA N. & BOSSOUF S., 1994. GIS geotechnical and environmental assessment of site selection for urban waste disposal in the Granada district (Spain). In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA (eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 4679-4685.
- ITGE, 1996. *Atlas del medio natural de la Provincia de Léon*. ITGE, Madrid, 106 p.
- ISMR - Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, 1979a. Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties. *Int. J. Rock Mechanics Min. Sc. & Geomech. Abstracts*, 16:141-156.
- ISMR - Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, 1979b. Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *Int. J. Rock Mechanics Min. Sc. & Geomech. Abstracts*, 16:135-140.
- JALALI N. & JAFARI M.S., 1996. An approach to structurally controlled landslides hazard zonation, using geographic information system (GIS). In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA(eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. A.A. Balkema, Rotterdam, 352.
- JIN M., WU B. & ZHANG B., 1993. Database management system for a ground-water regime. *Groundwater*, 31(4):593-597.
- JOHNSON B.R., BRODARIC B. & RAINES G.L., 1998. *Digital geological map data model (draft)*. <http://ncgmp.usgs.gov/ngmdbproject>, Version 4.2, may 19, 83 p.
- JORGE C.R.R., 1993. *Zonamento do potencial de liquefacção. Tentativa de aplicação a Portugal*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 198 p.
- JORGE C. & COELHO A. Gomes, 1998. Zonamento do potencial de liquefacção. Tentativa de aplicação a Portugal. *Geotecnia*, 83:37-59.
- KAÂNICHE A., INOUBLI M.H. & ZARGOUNI F., 2000. Développement d'un système d'informations géologiques et géotechniques et réalisation d'un atlas géotechnique électronique. *Bull. Eng. Geol. Env.*, 58(4):321-335.
- KANSAS GEOLOGICAL SURVEY STUDY COMMITTEE, 1974. *A pilot study of land-use planning and environmental geology*. State Geological Survey of Kansas, Planning for Development, "701" Project n°. Kans.P-43, Report n.15 D, 63 p.
- KRAUTER E., FEUERBACH J. & WITZEL M., 1990. The engineering geological map of Mainz/Rhine, FRG. *Proceed. 6th. Int. Congress IAEG*, Amsterdam. A.A. Balkema, 1:163-168.
- LÜTTIG G.W., 1978. Geoscientific maps of the environment as an essential tool in planning. *Geologie in Mijnbouw*, 57(4):527-532.
- LÜTTIG G.W., 1979. Métodos de cartografia geológica moderna e avaliação dos custos e benefícios (baseado em cartas do Noroeste da Alemanha, 1:25.000). *Com. Serv. Geol. Portugal*, 65:29-34.
- LÜTTIG G.W., 1987. Large scale maps for detailed environmental planning. In F.C. WOLFF (ed.), *Geology for environmental planning*, *Proceed. Int. Symp. "Geological mapping in the service of environmental planning"*, Trondheim (Norway). *Norges Geol. Unders., Spec. Publ.*, 2:71-76.
- LADEIRA F.L. & GOMES L.M. Ferreira, 1994a. Susceptibility for settlements in engineering geological mapping. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA(eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 1251-1253.
- LADEIRA F.L. & GOMES L.M. Ferreira, 1994b. Bearing capacity in engineering geological mapping. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA(eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, , 1261-1266.

VII. Referências

- LADEIRA F.L. & RODRIGUES C.M.G., 1994. The importance of engineering geological mapping around Oliveira do Bairro for regional planning. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA (eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 1255-1260.
- LAIRD R.T., PERKINS J.B., BAINBRIDGE D.A. *et al.*, 1979. *Quantitative land-capability analysis*. U.S. Geological Survey Professional Papers 945, 115 p.
- LAMAS P.C., 1989. *Carta de Riscos de Movimentos de Terrenos dos Taludes da Margem Sul do Tejo (Cacilhas - Trafaria)*. Dissertação apresentada à Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Geologia de Engenharia, Monte de Caparica, 110 p.
- LAMAS P.C., 1998. *Os taludes dos taludes da margem sul do Tejo. Evolução geomorfológica e os mecanismos de rotura*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Geotecnia (Geologia de Engenharia), Universidade Nova de Lisboa, 379 p.
- LAMAS, P.C.C. & RODRIGUES-CARVALHO, J.A., 1994. A case of landslide hazard zonation in Almada county. In R. Oliveira, L. F. Rodrigues, A.G. Coelho & A. P. Cunha (eds.), *Proc. 7th Int. Cong. IAEG* (Lisbon). Balkema, Rotterdam, 3:2239-2243.
- LANGER M., 1995. Engineering geology and waste disposal: Scientific report and recommendations of the IAEG Commission nº 14. *Bull IAEG*, 51: 5-29.
- LARANJEIRA M., LAMAS P., RODRIGUES-CARVALHO *et al.*, 1996. Relatório sobre os acidentes naturais verificados na frente norte do concelho. CMA, *Relatório não publicado*, Almada.
- LASHKARIPOUR G.R. & PASSARIS E.K.S., 1994. Development of a database system on shale characteristics. In R. Oliveira, L. F. Rodrigues, A.G. Coelho & A. P. Cunha (eds.), *Proc. 7th Int. Cong. IAEG* (Lisbon). Balkema, Rotterdam, 4477-4482.
- LAUTER D.P. & VERIGIN H., 1992. A Research Paradigm for Propagating Error in Layer-Based GIS. *PE&RS*, 58(6):825-833.
- LAXTON J. L. & BECKEN K., 1996. The design and implementation of a spatial database for the production of geological maps. *Computers & Geosciences*, 22 (7): 723-733.
- LEGGETT D. G. & JONES A., 1996. The application of GIS for flood defense in the Anglian Region: Developing for the future. *IJGIS*, 10(1):103-116.
- LEGGETT R. F., 1987. The value of Geology in planning. In CULSHAW M.G., BELL F.G., O'HARA M. (eds.), *Planning and Engineering Geology*. Geological Society of London, Engineering Geology Special Publ. N.4, 53-58.
- LINDEN E., 1993. Megacities. *Time*, 141(2):24-34.
- LISBOA J.V.V., 1993. *Contribuição para o conhecimento geológico ambiental do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, 150 p.
- LNEC, 1967. *Especificação E 195 (1966): Solos: Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação*.
- LNEC, 1967. *Especificação E 196 (1966): Solos. Análise granulométrica*.
- LNEC, 1968. *Especificação E 218 (1968): Prospecção geotécnica de terrenos: Colheita de amostras*.
- LNEC, 1968. *Especificação E 219 (1968): Prospecção geotécnica de terrenos: Vocabulário*.
- LNEC, 1971a. *Especificação E 240 (1970): Solos. Classificação para fins rodoviários*.
- LNEC, 1971b. *Especificação E 239 (1970): Solos. Análise granulométrica por peneiração húmida*.
- LNEC, 1973. Fundo de Fomento da Habitação, Estudos geotécnicos de apoio ao plano urbanístico do Monte de Caparica, Relatório final. *Relatório confidencial*, Proc. 54/1/4544, Lisboa.
- LNEC, 1974 - Carta geotécnica da Área de Sines, Relatório final, Estudo realizado para o Gabinete da Área de Sines. *Relatório confidencial*, Proc. 54/1/4663, Lisboa, Julho.
- LOBO-FERREIRA J.P., OLIVEIRA M.M., 1993. Desenvolvimento de um inventário das águas de Portugal. Caracterização dos recursos hídricos subterrâneos e mapeamento DRASTIC da vulnerabilidade dos aquíferos de Portugal. LNEC, *relatório 179/93-GIAS*, Lisboa.
- LOBO-FERREIRA J.P., OLIVEIRA M.M. & CIABATTI P., 1995. *Desenvolvimento de um inventário das águas subterrâneas de Portugal*. LNEC, Lisboa, Vol.1, 522 p.
- LOLLO J.A. & ZUQUETTE L.V., 1997. Aplicação de redes neurais artificiais no reconhecimento de perfis de solos. 6º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa, 169-178.

VII. Referências

- LÓPEZ-PALANCAR J.J. & GARCIA YAGUE A., 1986. The "Geo-Madrid" geotechnical data-bank. *5th Int. IAEG Congress*, Buenos Aires (Argentina). A.A. Balkema, Rotterdam, 1851-1860.
- LOWE D.J., 1995. The geological data manager: an expanding role to fill a rapidly growing need. In J.R.A. GILES (ed.), *Geological data management*, Geological Society Special Publ., 97:81-90.
- MACHADO I. L. & ALMEIDA I., 1994. LISBASE - A geotechnical assisting tool. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA(eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 4551-4556.
- MACHADO J.R., SARAIVA M.G., SILVA E.A., ROCHA J., FERREIRA J.C., SOUSA P.M. & ROQUETTE R., 1997. Municipal master plan for the Lisbon Metropolitan Area (AML): A regional approach. In J.R. MACHADO & J. AHERN (eds.), *Environmental challenges in an expanding urban world*. Gulbenkian Foundation, Lisbon, 291-302.
- MAHARAJ R.J., 1995. Engineering geological mapping of tropical soils for land-use planning and geotechnical purposes: A case study from Jamaica, West Indies. *Eng Geol*, 40: 243-286.
- MAHIEU J.-L., 1975. Essai méthodologique d'utilisation d'un fichier de données géotechniques. *Bull. L Labo P et Ch*, 76:123-131.
- MALLEN P. M., 1997. Standardization of mapping practices in the British Geological Survey. *Computers & Geosciences*, 23 (6):609-612.
- MANUPELLA G., PAIS J., et al., 1995. *Carta geológica de Portugal, Escala 1:50.000, Folha 38-B: Setúbal*. IGM, Lisboa.
- MARCHAND L., 1990. Banques de données relationnelle en géologie du génie civil et graphisme interactif. *Proceed. 6th. Int. Congress IAEG*, Amsterdam. A.A. Balkema, Symposia:65-71.
- MARINOS P.G., PERLEROS V.K., ALEXADOU M.H., VALADAKI-PLESSA K. & PLESSAS S.P., 1997. Assessment of ground water resources based on GIS in Central Greece. In P. MARINOS, G.C. KOUKIS, G.C. TSIMBAOS & G.C. STOURNARAS (eds.), *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, 1363-1370.
- MARINOS P.G., PLESSAS S.P. & VALADAKI-PLESSA K., 1997. Erosion risk maps for the great Athens region and a GIS based processing data In P. MARINOS, G.C. KOUKIS, G.C. TSIMBAOS & G.C. STOURNARAS (eds.), *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, 1353-1361.
- MARJORIBANKS R.W., 1997. *Geological methods in mineral exploration and mining*. Chapman & Hall, London, 115 p.
- MARN, 1995 - *Plano Nacional da Política do Ambiente*. MARN, Lisboa.
- MARQUES F.E.R., LANGTON D.D., FURTADO R.J.A. & SOUSA J.N. Almeida e, 1997. Determinação de características de compressibilidade e de consolidação das "Argilas dos Prazeres". *6º Congresso Nacional de Geotecnia*, Lisboa, 179-188.
- MARQUES F.F., 1997. *As arribas do litoral do Algarve. Dinâmica, processos e mecanismos*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 556 p.
- MARTIN D., 1991. *Geographic Information Systems and the socioeconomic applications*. Rutledge, London, 182 p.
- MARSH W., 1978. *Environmental analysis for land use and site planning*. McGraw-Hill, New York.
- MATEOS R.M. & FERRER M., 1994. Methodology for landslides hazard map 1:10 000 in the area of Monachil (Granada, Spain). In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA(eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 2059-2064.
- MATOS J., 1999. Contributo para uma sistematização da abordagem ao projecto em informação geográfica. *Ingenium*, 2ª série, 35:73-77.
- MATOS J., 2000. *Fundamentos de Informação Geográfica*. LIDEL, Lisboa.
- MATTIG U., 1990. Maps of the natural environment's potential in West Germany and Norway as an aid for mineral resources management and protection. In F. CHR. WOLFF & A. CENDRERO (eds.), *Geology and the Environment*, *Engineering Geology*, special issue, 29:321-331.
- MATULA M., 1979. Regional engineering geological evaluation for planning purposes. *Bull IAEG*, 19:18-24.
- MAURENBRECHER P.M., KROENIGER R.R. & DEIBEL I.K., 1990. Engineering geological mapping of southern Limburg. *Proceed. 6th. Int. Congress IAEG*, Amsterdam. A.A. Balkema, Symposia, 73-78.
- McCALL G.J.H., 1991. The "alternative" earth science mapping - Mapping for planning and development. In D.A. STOW & D.J.C. LAMING (eds.), *Geosciences in Development*, AGID/Balkema, Rotterdam, 271-278.

VII. Referências

- McCALL G.J.H. & MARKER B. R. (eds.), 1989. *Earth science mapping for planning, development and conservation*. Graham & Trotman, London, 268 p.
- McCALL G.J.H., MULDER E. F. J. De & MARKER B. R. (eds.), 1996. *Urban Geosciences*. A. A. Balkema, Rotterdam, 273 p.
- McDEVITT T. M., 1998. *World population profile: 1998 - Highlights*. U.S. Census Bureau. <http://www.census.gov/ipc/www/wp98001.html>. Last revised: 18 Mar 1999.
- McDONNELL R. & KEMP K., 1995. *International GIS dictionary*. Pearson Professional Ltd., Cambridge, 111 p.
- McHARG I., 1971. *Design with Nature*. Natural History Press (American Museum of Natural History), New York, 198 p..
- McKNIGHT T.L., 1996. *Physical Geography - A landscape appreciation*. Prentice-Hall, New Jersey, 5th ed., 616 p.
- MEIRA A.D. & CALIJURI M.L., 1997. Automation of geological-geotechnical mapping process - The UFV's experience. In P. MARINOS, G.C. KOUKIS, G.C. TSIMBAOS & G.C. STOURNARAS (eds.), *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, 1371-1374.
- MENDES A.F., 1991. Plano regional de ordenamento do território do Algarve - o desordenamento do ordenamento. *Sociedade e Território*, 13:38-43.
- MINEIRO A.C., 1994. Avaliação do potencial de liquefação sísmica de solos. O risco de insucesso com métodos "acreditados". Os ensinamentos da Barragem de Al Wahda em Marrocos". 2^o Encontro sobre Sismologia e Engenharia Sísmica. FEUP, Porto, 43 p.
- MINEIRO A.C., 1999. Sines – Transgas - Sismos. *Relatório interno*, UNL/FCT/DEC/Secção de Geotecnia, Monte de Caparica.
- MIN-ZONG Y. & HONG-Q. F., 1990. A computer based method to analyse information of urban engineering geological quality for engineering geological mapping. In D.G. Price (ed.), *Proceed. of 6th Int. Congress IAEG*, Amsterdam. Balkema, Rotterdam, symposia volume, 79-86.
- MONGEREAU N. & KAANICHE A., 1988. Conception et réalisation d'une base de données géologiques et géotechniques orientées vers la cartographie géotechnique: Application a la ville de Tunis (Tunisie). *Bull. IAEG*, 37:123-130.
- MONTANARI F. & PREVIATELLO P., 1979. Automatic geotechnical data management. *Bull. IAEG*, 19:311-314.
- MONTEIRO R., 1970. *A verdade sobre os limites dos Concelhos de Sesimbra, Almada e Seixal*. Ed. de Autor, Sesimbra, 168 p.
- MOREIRA V.J.S., 1988. Terramotos em Portugal. *Protecção Civil*, 1(2): 17-26.
- MOTA G., ROCHA J., FERREIRA J.C., SOUSA P. & ROQUETTE R., 1999. SMIG/AML: Sistema Metropolitano de Informação Geográfica. *Forum SNIG*, 11(4):14-17.
- MOULA M., TOLL D. G. & VAPTISMAS N., 1995. Knowledge-based systems in geotechnical engineering. *Géotechnique*, 45 (2):209-221.
- MOUSTAFA A.R., EL-NAHHAS F. & TAWAB S.A., 1991. Engineering Geology of Mokattam City and Vicinity, Eastern Greater Cairo, Egypt. *Engineering Geology*, 31:327-344.
- MULDER E.F.J. De, 1987. Recent developments in environmental geology in the Netherlands. In P. ARNDT & G. LÜTTIG (ed.), *Mineral resources' extraction, environmental protection and land-use planning in the industrial and developing countries*. Schweizerbart, Stuttgart, 127-136.
- MULDER E.F.J. De, 1990. Engineering geological maps: A cost - benefit analysis. *Env Geol & Water Science*, 16(1):23-28.
- MULDER E.F.J. De, 1994. Geosciences for environmental planning and management: An international perspective. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA(eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. A.A. Balkema, Rotterdam, 2337-2341.
- MULDER E.F.J. De, BAARDMAN B.A.M. & KATE A.M. ten, 1997. The Underground Municipal Information System (UMIS). In P. MARINOS, G.C. KOUKIS, G.C. TSIMBAOS & G.C. STOURNARAS (eds.), *Engineering Geology and the Environment*. A.A. Balkema, Rotterdam, 1387-1393.
- MULDER E.F.J. De & HILLEN R., 1990. Preparation and application of engineering and environmental geological maps in the Netherlands. In Wolff F. Chr., Cendrero A. (eds.), *Geology and the Environment*, Engineering Geology Special Issue, 29:279-290.
- NARANJO J. L., Van WESTERN C. J. & SOETERS R., 1994. Evaluating the use of training areas in bivariate statistical landslide hazard analysis – a case study in Colombia. *ITC*, 3: 292-300.

VII. Referências

- NASCIMENTO U.; OLIVEIRA R.; FALCÃO C.B.; CASTRO G.; ELIA, P.; FOLQUE J.; CARVALHO R.; ABECACIS F. & BORGES J.F., 1976. Estudos relativos às escarpas marginais, entre Cacilhas e Trafaria. *Relatório não publicado*, LNEC, Lisboa.
- NATHANAIL C.P. & ROSENBAUM M.S., 1994. Conditional simulations - A new tool in engineering geological mapping. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA (eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 4591-4600.
- NATHANAIL C.P. & ROSENBAUM M.S., 1998. Spatial management of geotechnical data for site selection. *Eng Geol*, 50: 347-356.
- NEIC – USGS, 1999. *USGS – National Earthquake Information Center / World Data Center A for Seismology*. URL: <http://www.neic.cr.usgs.gov/neis/bulletin/990920215432.html>. Last update: 99.09.21.
- NEVES M.B.H., 1995. *Desmoronamentos e queda de blocos em taludes naturais e de escavação*. Dissertação de Mestrado em Geologia de Engenharia, Universidade Nova de Lisboa, 174 p.
- NICKLESS E.F.P. & JACKSON I., 1994. Digital geological map production in the United Kingdom - more than just a cartographic exercise. *Episodes*, 17(3): 51-56.
- NICKLESS E.F.P. et al., 1986. Environmental geology of the Glenrothes District, Fife Region, Description of 1:25 000 sheet n. 20. *Report of the Institute of Geological Sciences*, HMSO, London.
- NOSSIN J.J. & Van ZUIDAM R.A., 1993. Earth sciences and the environment. *ITC - Journal* 1:51-54.
- NP, 1966. *Norma Portuguesa NP-84: Solos. Determinação do teor em água*.
- NP, 1969. *Norma Portuguesa NP-143: Solos. Determinação dos limites de consistência*.
- NUNES J.C.; RAMALHETE D. & SENOS M.L., 1994. A sismicidade na zona ribeirinha de Lisboa entre o Terreiro do Paço e Sacavém. *2º Encontro sobre Sismologia e Engenharia Sísmica*, FEUP, Porto, 1.35-1.39.
- NYMAN L. W., 1998. What is GIS anyway? *GIS World*, 11 (1):78.
- O'ROURKE T. D. & PEASE J. W., 1997. Mapping liquefiable layer thickness for seismic hazard assessment. *J Geotechnical and Geoenvironmental Eng*, 123(1): 46-56.
- OLIVEIRA C.S., 1977. Sismologia, sismicidade e risco sísmico. Aplicação em Portugal. *Relatório*, Proc. 36/11/4394, LNEC, Lisboa,.
- OLIVEIRA C.S., 1988. Distribuição dos danos ocorridos em Lisboa aquando dos principais sismos históricos. *Protecção Civil*, 1(4): 2-10.
- OLIVEIRA C.S., PAIS I. & CABRAL J., 1993. Estudos de microzonagem sísmica para a cidade de Lisboa: Definição de cenários de danos. *Simpósio sobre Catástrofes Naturais*, O.E./LNEC, Lisboa, 1-115 a 1-124.
- OLIVEIRA R.M., 1967. *Contribuição para o estudo do estuário do Tejo*. LNEC, Lisboa, 61 p.
- OLIVEIRA R.M., GOMES C., NORONHA F. & BORGES L., 1995. Características geológicas e geotécnicas da Cidade do Porto (Carta Geotécnica do Porto). *5º Congresso Nacional de Geotecnia*, Coimbra, 119-132.
- ORLIC B., 1997. Mapping geotechnical condition in urban areas: A 3-D approach. In P. MARINOS, G.C. KOUKIS, G.C. TSIMBAOS & G.C. STOURNARAS (eds.), *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, 1395-1400.
- ORLIC B. & SUNARIC D., 1994. Assessment of engineering geological suitability for urban planning by fuzzy logic. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA(eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 2329-2335.
- PACHAURI A.K. & PANT M., 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Engineering Geology*, 32:81-100.
- PAIS I., COSTA P.T., OLIVEIRA C.S. & CABRAL J. T., 1996. *Os sismos e a gestão de emergência: Lisboa*. ISD, Informação, Sistemas e Desenvolvimento, Lda, Lisboa, (CD-Rom).
- PAIS, J. 1981. *Contribuição para o conhecimento da vegetação miocénica da parte ocidental da bacia do Tejo*. Dissertação de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa, 328 p.
- PAIS J., 1999. *História geológica da Península de Setúbal nos últimos 20 milhões de anos. Guia de visita de campo integrada no Programa Ciência Viva, Geologia no Verão*. Centro de Estudos Geológicos, Monte de Caparica, 21 p.
- PARTIDÁRIO M.R., 1992. *An environmental assessment and review (EAR) procedure - a contribution to comprehensive land-use planning*. PhD thesis, Aberdeen University, Aberdeen, 444 p.
- PARTIDÁRIO M.R., 1999. *Introdução ao ordenamento do território*. Universidade Aberta, Lisboa, 210 p.

VII. Referências

- PAULA A. & OLIVEIRA C.S., 1997a. Estudo da distribuição geográfica dos efeitos macrossísmicos em Portugal Continental. *3º Encontro sobre Sismologia e Engenharia Sísmica*, IST, Lisboa, 69-78.
- PAULA A. & OLIVEIRA C.S., 1997b. Estudos de zonagem de Portugal Continental com base em informação macrossísmica. *3º Encontro sobre Sismologia e Engenharia Sísmica*, IST, Lisboa, 79-88.
- PEREIRA A. R., 1988. Aspectos do relevo de Portugal, Litorais ocidental e meridional da Península de Setúbal. *Finisterra*, XXIII(46):335-349.
- PEREIRA A. S. C., 1995. Drenagem doméstica e pluvial da bacia de Vale Cavala - obras terminais, projecto e processo de concurso. Drena, *Relatório não publicado*, Lisboa.
- PEREIRA J.J. & KOMOO I., 1998. Using geological information as planning tools for urban centers - The case of Klang valley, Malaysia. In D.P. MOORE & O. HUNGR (eds.), *Proceed. 8th Congress IAEG*, Vancouver. Balkema, Rotterdam, 2573-2578.
- PEUQUET D.J. & MARBLE D.F. (eds.), 1993. *Introductory readings in Geographic Information Systems*. Taylor & Francis, London, 298 p.
- PLURAL, HIDROPROJECTO, BIODESIGN, 1999 – Instituto da Conservação da Natureza, Plano de Ordenamento da Orla Costeira entre Sintra e Sado, 1ª fase – Adenda aos Estudos de Base. *Relatório interno*, Lisboa, Janeiro.
- POLICARPO A. M. N., 1993a. *Freguesia do Laranjeiro, Visita guiada*. CMA, Almada, 5p.
- POLICARPO A. M. N., 1993b. *Subsídios para a história da água em Almada: Mina de Água do Pombal, um património com sete séculos de história*. Junta de Freguesia da Cova da Piedade, Almada, 6p.
- POPULATION ACTION INTERNATIONAL, 1999. *Welcome to earth population 6,000,000,000*. <http://www.dayof6billion.org/home.htm>.
- POWER S., SCOTT M., ROBINSON G. & STATHAM I., 1995. Database design and data management on the Swansea - Llanelli Earth Science Mapping Project. In J.R.A. GILES (ed.), *Geological data management*, Geological Society Special Publication, 97:145-155.
- PROFABRIL, 1993. GNFL - Gabinete do nó ferroviário de Lisboa, Ligação ferroviária Pragal/Pinhal Novo, 1º troço, Pragal – Foguetreiro, Condições geológicas/geotécnicas. *Relatório não publicado*, Lisboa.
- PROSKA H. & VLCKO J., 1997. Special purpose engineering geological mapping for the location of waste disposal sites. In P. MARINOS, G.C. KOUKIS, G.C. TSIMBAOS & G.C. STOURNARAS (eds.), *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, 2103-2106.
- RADBRUCH-HALL D.H., EDWARDS K. & BATSON R.H. 1987. *Experimental engineering-geological and environmental geologic maps of the conterminous United States prepared using computer techniques*. U.S. Geological Survey Professional Papers 1610, 7 p.
- RAPER J. F. & WAINWRIGHT D. E., 1987. The use of the geotechnical database 'Geoshare' for site investigation data management. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 20(2):221-230.
- RASMUSSEN K., 1995. An overview of database analysis and design for geological systems. In J.R.A. GILES (ed.), *Geological data management*, Geological Society Special Pub., 97:5-11.
- RAU J.L., 1994. Urban and environmental issues in East and Southeast Asian coastal lowlands. In E.F.Y. de MULDER (ed.), *Engineering Geology of Quaternary deposits*. *Engineering Geology*, 37:25-29.
- RIBEIRO A., 1984. Néotectonique du Portugal. In *Livro de homenagem a Orlando Ribeiro*. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 1:173-182.
- RIBEIRO A., 1989. Risco sísmico na região de Lisboa: Actualização de conhecimentos das fontes sismogénicas. *Protecção Civil*, II(6): 2-3.
- RIBEIRO A., 1994. Deformable plate tectonics of the Azores-Gibraltar boundary – Where the next 1755 earthquake will strike again? *GAIA*, II(6): 2-3.
- RIBEIRO A., ANTUNES M.T., FERREIRA M.P., ROCHA R., SOARES A.F., ZBYSZEWSKI G., ALMEIDA F. Moitinho de, CARVALHO D. & MONTEIRO J. H., 1979. *Introduction à la Géologie générale du Portugal*. Serv. Geol. de Portugal, Lisboa, 114 p.
- RIBEIRO A., KULLBERG M.C., KULLBERG J.C., MANUPPELLA G. & PHIPPS S., 1990. A review of alpine tectonics in Portugal: foreland detachment in basement and cover rocks. *Tectonophysics*, 184: 357-366.
- RIBEIRO A., RAMALHO M., AZEVEDO M.T. & CABRAL J., 1986. *A Neotectónica na Península de Setúbal (guia de campo para a excursão B2/B3)*. 2º Cong. Nac. de Geologia, Universidade de Lisboa, 27 p.
- RIBEIRO C., 1866. Estudos geológicos: Descrição do terreno quaternário das bacias dos rios Tejo e Sado. *Mem. Comm. Geol Portugal*, 164 p.

VII. Referências

- RIBEIRO C., 1878. Des formations tertiaires du Portugal. *Comptes Rendue Sténographique du Congrès International de Géologie, Paris*, 9 p.(policopiado).
- RIBEIRO C., 1872. Descrição da costa marítima compreendida entre o cabo de S. Vicente e a foz do rio Douro. *Rev. Obras Públicas e Minas*, anno III, III(35-36): 392-399.
- RIVAS V., FRANCÉS E. & CENDRERO A., 1992. Use of geoenvironmental maps for the design of restoration plans in degraded areas. In HERMELIN M.(ed.), *Proceed. II Simp. Latinoamericano de Riesgo Geológico Urbano, II Conf. Colombiana de Geologia Ambiental*, Pereira (Columbia), 1:343-355.
- ROBINSON G.D. & SPIECKER A.M. (eds.), 1978. "Nature to be commanded...": *Earth-science maps applied to land and water management*. U.S. Geological Survey Professional Paper No. 950, Washington D. C, 90 p.
- RODRIGUES C.C., 1998. Risco sísmico, gestão e projectos portuários em Setúbal e Sesimbra. Relatório Técnico nº2: Tsunamis. *Relatório não publicado*, UNL/FCT/DEC/Secção de Estruturas, Monte de Caparica.
- RODRIGUES D.M.M. & AYALA-CARCEDO F.J., 1994. Landslides in the Machico area on Madeira Island. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA(eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 1495-1500.
- RODRIGUES J.S., 1996. Almada – Como nasce uma cidade. *Actas das 2^{as} Jornadas de Estudo sobre o Concelho de Almada*, Almada, 65-74.
- RODRIGUES-CARVALHO J.A. & COSTA C. Nunes, 1986. Modificações nas escarpas da Margem Sul do Tejo entre 1958 e 1975 - Um exemplo de utilização de Deteção Remota para o estudo da influência antrópica nos processos geológicos e naturais. *Bol. Geotécnico (SAGT-FCT/UNL)*, 2:175-197.
- RODRIGUES-CARVALHO J.A. & LAMAS P.C., 1990. Estudo geológico e geotécnico do talude sobranceiro às instalações da ETC - Terminais marítimos, S.A., em Porto Brandão. *Relatório não publicado*, SAGT-FCT/UNL, Monte de Caparica.
- RODRIGUES-CARVALHO J.A. & LAMAS P.C., 1992. Observação da escarpa sob o seminário de S. Paulo - Almada. *Relatório não publicado*, SAGT-FCT/UNL, Monte de Caparica.
- RODRIGUES-CARVALHO J.A., CANHÃO J. & CHAVES M.A., 1991. Notícia explicativa da Carta de Cadastro Hidrogeológico da Margem Sul do Tejo (Cacilhas-Cova do Vapor). *Relatório interno*, Secção Autónoma de Geotecnia (FCT/UNL), Monte de Caparica.
- RODRIGUES-CARVALHO J.A., CHAVES M.A. & RODRIGUES J.S., 1994. Evolução da linha de costa Cacilhas-Cova do Vapor. *Relatório interno*, SAGT-FCT/UNL, Monte de Caparica.
- RODRIGUES-CARVALHO J.A., CHAVES M.A. & SILVA A.P., 1989. Nota descritiva da geologia da margem Sul do Tejo (Cacilhas-Trafaria), na esc. 1:2.000. *Relatório interno*, SAGT-FCT/UNL, Monte de Caparica.
- RODRIGUES-CARVALHO J.A., CHAVES M.A. & SILVA, A.P. da, 1990. Nota descritiva da carta geotécnica dos taludes da Margem Sul do Tejo (Cacilhas - Trafaria), Folhas 1 a 5, na Esc.1:2000. *Relatório interno*, SAGT-FCT/UNL, Monte de Caparica.
- RODRIGUES-CARVALHO J.A., CHAVES M.A. & SILVA A.P. da, 1990. Nota descritiva da carta litológica dos taludes da Margem Sul do Tejo (Cacilhas - Trafaria), Folhas 1 a 6, na Esc.1:2000. *Relatório interno*, SAGT-FCT/UNL, Monte de Caparica.
- RODRIGUES-CARVALHO J.A., CHAVES M.A. & SILVA A.P. da, 1991. Nota explicativa da carta litológica dos taludes da Margem Sul do Tejo (Trafaria – Cova do Vapor), Folhas 7 e 8, na Esc.1:2000. *Relatório interno*, SAGT-FCT/UNL, Monte de Caparica.
- RODRIGUES-CARVALHO J.A., CHAVES M.A., SILVA A.P. & LAMAS P.C., 1991. Nota explicativa da carta geológica da Margem Sul do Tejo (Trafaria – Cova do Vapor), Folhas 7 e 8, na Esc.1:2000. *Relatório interno*, SAGT-FCT/UNL, Monte de Caparica.
- ROMAN F. & TORRES A., 1907. Le Néogène continental de la basse vallée du Tage (rive droite), 1^{re} partie – Paléontologie par F. Roman; 2^e partie – Stratigraphies par A. Torres. *Mem Com Serv Geol Portugal*, 1-109.
- ROSA S.P.P., 1995. *Caracterização geológica-geotécnica das formações vulcânicas da Madeira. Carta geotécnica da área situada a Norte do Funchal*. Dissertação de Mestrado em Geologia de Engenharia, Universidade Nova de Lisboa, 189 p.
- ROSENBAUM M.S. & ROSE E.P.F., 1994. The influence of Geology on urban renewal - the rock of Gibraltar. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA(eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. A.A. Balkema, Rotterdam, 2283-2291.
- ROSETA H., 1995. *Agenda Local do Ambiente*. Instituto de Promoção Ambiental, Lisboa, 123 p.
- RSA, 1983 - *Regulamento de segurança e acções para estruturas de edifícios e pontes*. Decreto - Lei n.º 239/83 de 31/5, Imprensa Nacional - Casa da Moeda, Lisboa.

VII. Referências

- RUMBAUGH J., BLAHA M., PREMERLANI W., EDDY F. & LORENSEN W., 1991. *Object-oriented modeling and design*. Prentice-Hall Inc., Englewood cliffs, N.J., 500 p.
- SANEJOUAND R., 1972. *La cartographie géotechnique en France*. 98 p. (policopiado).
- SANEJOUAND R., 1975. Fichier des données géotechniques sur ordinateur dans les LPC. *Bull. L Labo P et Ch*, 76:107-116.
- SARAIVA A.L.A., 1986. *Caracterização e aptidão geotécnica dos terrenos envolventes das albufeiras das barragens da Aguieira e do Coiço*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Coimbra, 316 p.
- SCHWEITZER P., 1997. *A strategy for creation of formal metadata*. USGS Geologic Division, http://ncgmp.usgs.gov/ngmdbproject/standards/metadata/meta_strat.html.
- SEN S., ANTUNES M. T., PAIS J. & LEGOINHA P., 1992. Bio and magnetostratigraphy of two Lower Miocene sections, Tagus basin (Portugal). *Ciências da Terra (UNL)*, 11:173-184.
- SENOS, M.L.; RAMALHETE, D. & TAQUELIM, M.J. 1994. Estudo dos principais sismos que atingiram o território de Portugal Continental. *2º Encontro sobre Sismologia e Engenharia Sísmica*. FEUP, Porto, I.75-I.84.
- SERRATRICE J.-F. & DURVILLE J.-L., 1997. Description des roches et des massifs rocheux: exploitation de deux bases de données. *Bull. des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 211: 73-87.
- SHARPE D., 1834. On the strata in the neighbourhood of Lisbon and Oporto. *Proc. Geol. Soc. London*, 1:394-396.
- SHARPE D., 1841. On the geology of the neighbourhood of Lisbon. *Transactions of the Geol. Soc. London*, VI (policopiado).
- SHEEHAN D.E., 1979. A discussion of the SYMAP program. *In Mapping Software and Cartographic Data Bases*, Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, Harvard University, Cambridge, 167-179.
- SILVA A.P. da, 1990. *Cartografia geotécnica assistida para computador*. Dissertação apresentada à Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Geologia de Engenharia, Monte de Caparica, 152 p.
- SILVA A.P. da, LAMAS P., RODRIGUES-CARVALHO J.A. & LARANJEIRA M., 2002. Os Movimentos de Terrenos no Sistema de Informação Geotécnica Geo-Almada. *8º Congresso Nacional de Geotecnia*, Lisboa, I:147-154.
- SILVA A.P. da & RODRIGUES-CARVALHO J.A., 1991. Cartografia geotécnica assistida por computador. *4º Congresso Nacional de Geotecnia*, Lisboa, 137-144.
- SILVA A.P. da & RODRIGUES-CARVALHO J.A., 2000. Registos de sondagens em bases de dados - A necessidade de normalização em Portugal. *7º Congresso Nacional de Geotecnia*, Porto, I:341-344.
- SILVA A.P. da, RODRIGUES-CARVALHO J. A., BEIRA I., MONTEIRO P., FRIAS A. & ARROJA R., 1999. Modelo Digital de Terreno do Município de Almada – 1:5000. Metodologia de elaboração. *V Encontro de USIG*, Oeiras - CD-ROM com resumos alargados.
- SILVA A.P. da; RODRIGUES-CARVALHO, J. A. & LARANJEIRA M., 1998. Geo-Almada database, Portugal - Engineering geological attributes for environmental planning. *In D.P. MOORE & O. HUNGR (eds.), Proceed. 8th Congr. IAEG*, Vancouver. Balkema, Rotterdam, 2615 - 2620.
- SILVA H.S., 1989. A importância das ciências geológicas no planeamento urbano. A zona litoral entre Faro e Olhão. *Geotecnia*, 57:75-83.
- SIMÕES M.M.M., 1998. *Contribuição para o conhecimento hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo*. Dissertação de Doutoramento em Geologia, especialidade Hidrogeologia, UNL, Lisboa, vol.1, 270 p.
- SKIDMORE A.K., 1997. GIS applications and use of digital terrain modelling. *In S. HODGSON, M. RUMOR & J.J. HARTS (eds.), Third Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information*, Vienna (Austria), I:442-463.
- SMITH D. J. & ROSENBAUM M. S., 1994. Arithmetic and logic - At the boundary between geological data and engineering judgement. *In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA (eds.), Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 4517-4526.
- SMITH W., 1847. On the age of the Tertiary beds of the Tagus with a catalog of the fossils. *Q. J. Geol. Soc. London*, III: 410-422.
- SMITH W., 1847. On the age of the Tertiary beds of the Tagus, with a Catalogue of the fossils. *Quarterly J. Geol. Soc. London*, III:410-422.
- SOBREIRA F.G., 1995. *Estudo geoambiental do Concelho de Sesimbra*. Dissertação de Doutoramento em Geologia na especialidade de Geologia Económica e Aplicada, FCUL, Lisboa, 347 p.

VII. Referências

- SOPECATE, 1992. TVI - Televisão Independente, S.A., Prospecção geotécnica dum terreno para construção das novas instalações em Almada, Relatório geotécnico. *Relatório não publicado*, Lisboa, Fevereiro.
- SOUSA F.L. Pereira de, 1929. O Terramoto do 1º de Novembro de 1755 em Portugal e um estudo demográfico, Vol. III (Distrito de Lisboa). *Mem. Serv. Geol. Portugal*, 475-950.
- SOUSA M.L. & OLIVEIRA C.S., 1991. Sismicidade histórica: Intensidades sísmicas. Cartas de isossistas e atenuação. *Relatório não publicado*, LNEC, Lisboa, rel. 188/91.
- SOUSA M.L., 1996. Modelos probabilistas para avaliação da casualidade sísmica em Portugal Continental. *Relatório não publicado*, LNEC, Lisboa, rel. 40/96 – C3ES.
- SOUSA M.L., MARTINS A. & OLIVEIRA C.S., 1992. Compilação de catálogos sísmicos da região Ibérica. *Relatório não publicado*, LNEC, Lisboa, rel. 36/92 - NDA.
- SOUSA R. H. Pereira de, 1985. *Almada: Toponímia e história das freguesias urbanas*. CMA, Almada, 214 p.
- STOURNARAS G., ALEXOPOULOS A., VALADAKI K., PLESSAS S. & KATOPODIS G., 1997. Geological environment data processing using GIS in areas proposed for urban development in Argolis, Greece. In P. MARINOS, G.C. KOUKIS, G.C. TSIMBAOS & G.C. STOURNARAS (eds.), *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, 1499-1505.
- STRACHAN, A. e DEARMAN, W.R. (1982): The Tyne and Wear data bank, N.E. England. *Bull. IAEG*, 25:45-52.
- STRUCKMEIER W.F. & MARGAT J., 1995. *Hydrogeological maps: a guide and a standard legend*. International Association of Hydrogeologists, Hannover, International contributions to hydrogeology, 17, 177 p.
- TAVARES A.M.Q.S., 1990. *Caracterização geotécnica da zona sudeste da cidade de Coimbra*. Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica, Universidade de Coimbra, 141 p.
- TAVARES J.M., 1998. Risco sísmico, gestão e projectos portuários em Setúbal e Sesimbra. Relatório Técnico nº1: Quantificação de acções sísmicas. *Relatório não publicado*, UNL/FCT/DEC/Secção de Estruturas, Monte de Caparica.
- TEIXEIRA DUARTE, 1955. Câmara Municipal de Almada, Furo de Pesquisa e Captação de água entre Corroios e Sobreda. *Relatório*, Lisboa.
- TEIXEIRA S.B., 1990. *Dinâmica das praias da Península de Setúbal (Portugal)*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Geologia Económica e Aplicada, FC-UL, Lisboa, 189 p.
- TELES I.A. & FERNANDES M. Matos, 1994. Uma base de dados para sondagens geotécnicas. *Geotecnia*, 71:69-82.
- THOMAS A., MALLETT J.L., JEANDEL B., HOUPERT N., 1978. GEOTEC: système évolué de traitement des données géotechniques pour l'urbanisme et la construction. *III Int. Cong. International Association of Engineering Geology*, Madrid, 116-129.
- TILMANN S. E., UPCHURCH S.B., RYDER G., 1975. Land use site reconnaissance by computer-assisted derivative mapping. *Geological Society of America Bull.*, 86(1): 23-34.
- TISDALE T. S., 1996. Object-oriented analysis of south Florida hydrologic systems. *J Computing in Civil Engineering*, 10(10): 318-326.
- TISOT J.P., HOMAND-ETIENNE F., HOUPERT N., 1988. Base de données géotechniques: Intérêt en travaux souterrains urbains. In M. Legrand (ed.), *Comptes-rendus des journées Int. Collectivités territoriales et utilisation du sous-sols*, Bordeaux. A.A. Balkema, Rotterdam, 405-410.
- TOLL D. G., 1990. Do geotechnical engineers need expert systems?. *Ground Engineering*, 23 (2):32-36.
- TOLL D. G. & OLIVER J., 1995. The role of a knowledge-based system in interpreting geotechnical information. *Géotechnique*, 45 (3):525-531.
- TOWNSHEND J. R. G., 1991. Environmental databases and GIS. In MAGUIRE D. J., GOODCHILD M. F., RHIND D.W. (eds.), *Geographical Information Systems: principles and applications*, Longman, London, 201-215.
- TSIMBAOS G.C., SABATAKAKIS N. & KOUKIS G.C., 1997. Engineering geological environment and urban planning of the city of Patras, Greece. In P. MARINOS, G.C. KOUKIS, G.C. TSIMBAOS & G.C. STOURNARAS (eds.), *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, 1527-1534.
- TURNER A. K., 1994. Keynote lecture workshop A: The impact of developing information technologies in engineering geology. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA (eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, XXXIX-LV.
- TURNER A. K. & COFFMAN D.M., 1973. Geology for planning: A review of environmental geology. *Quarterly Colorado School of Mines*, 68(3), ix+128 p.

VII. Referências

- TURNER A. K. & KOLM K. E., 1992. Potential applications of three-dimensional geoscientific mapping and modeling systems to regional hydrogeological assessments at Yucca Mountain, Nevada. *In*: PFLUG R., HARBAUGH J. W. (eds.), *Computer Graphics in Geology*. Springer-Verlag, Berlin, Lecture notes in Earth Sciences, 41, 257-270.
- UNESCO/IAEG, 1976. *Engineering geological maps. A guide to their preparation*. Unesco press, Earth Science Series, 15, Paris, 79 p.
- USERY E. L., 1996. A feature-based geographic information system model. *PE&RS*, 62 (7):833-838.
- USERY E.L., ALTHEIDE P., DEISTER R.P. & BARR D.J., 1988. Knowledge-based GIS techniques applied to geological engineering. *PE&RS*, 54(11):1623-1628.
- VALES D.M., MATIAS L.M., SENOS M.L., HIRN F., CÓRDOBA D. & GONZALEZ A., 1997. Estrutura crustal da margem Oeste Ibérica, Projecto IAM. *3º Encontro sobre Sismologia e Engenharia Sísmica*, IST, Lisboa, 1-7.
- VAN DRIEL J.N., 1980. Computer-composite mapping for geologists. *Environmental Geology*, 3:151-157.
- VAN ROOY J.L., 1996. The role of engineering and environmental geology in the reconstruction and development programme for South Africa. *Bull IAEG*, 53: 115-120.
- VAN WESTEN, C.J., RENGERS N., SOETERS N. & TERLIEN M.T.J., 1994. An engineering geological GIS database for mountainous terrain. *In* R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA (eds.), *Proceed. 7th Int. Congress IAEG*, Lisbon (Portugal), Rotterdam, Balkema, 4467-4475.
- VAN ZUYLEN L., 1982a. Computer-assisted cartography. *ITC - Journal* 1:31-34.
- VAN ZUYLEN L., 1982b. Applications in computer-assisted cartography in the Netherlands. *ITC - Journal* 2:124-130.
- VANNEY J.R. & MOUGENOT D., 1981. La plate-forme continentale du Portugal et des provinces adjacentes: Analyse géomorphologique. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, 28: 1-86.
- VARNES D.J., 1974. *The logic of geological maps, with reference to their interpretation and use*. U.S. Geological Survey Professional Papers, 837, 48 p.
- VARNES D.J., 1984. *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, Paris, 63 p.
- VIEIRA S., 1995. Um sismo para a história. *Ingenium*, 83:4-17.
- VITEK J. D., GIARDINO J. R. & FITZGERALD J. W., 1996. Mapping geomorphology: A journey from paper maps, through computer mapping to GIS and virtual reality. *Geomorphology*, 16: 233-249.
- VLAHOVIC M., 1994. Evaluation of individual effects of engineering-geological parameters for urban planning and construction. *In* R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA(eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 1223-1229.
- VORONOV A.N. & KOZLOVA E.V., 1994. The trend of geological environment pollution in St. Petersburg. *In* R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA (eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. Balkema, Rotterdam, 2301-2304.
- VOÛTE C., 1993. First geological map: an interesting contribution to applied geology. *Env Geol*, 22(3):286-288.
- VRBA J. & ZAPOROZEC A. (eds.), 1994. *Guidebook on mapping: groundwater vulnerability*. International Association of Hydrogeologists, Hannover, International contributions to hydrogeology, 16, 131 p.
- WANG S., DU Y. & JIONG C., 1997. Geoenvironmental system, its potential instability and urban planning in the metropolitan Beijing, China. *In* P. MARINOS, G.C. KOUKIS, G.C. TSIMBAOS & G.C. STOURNARAS (eds.), *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, 1545-1549.
- WARD M. O., POWER W. L., KETELAAR P., 1996. A computational environment for the management, processing and analysis of geological data. *Computers & Geosciences*, 22 (10): 1123-1131.
- WEIBEL R., 1997. Digital terrain modeling for environmental applications: A review of techniques and future trends. *In* S. HODGSON, M. RUMOR and J.J. HARTS (eds.), *Third Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information*, Vienna, Austria, 1:464-474.
- WENDLAND F., 1997. Ground water pollution in Germany by nitrate: A nationwide GIS supported model analysis. *In* P. MARINOS, G.C. KOUKIS, G.C. TSIMBAOS & G.C. STOURNARAS (eds.), *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, 2265-2270.
- WHITE O.L. & KARROW P.F., 2001. Urban Geology - A Canadian perspective. Special lecture. *In* P. Marinos, G.C. Koukis, G.C. Tsimbaos & G.C. Stournaras (eds.), *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, 4:3439-3450.
- WOOD M., 1993. Interacting with maps. *In* D. MEDYCKYJ-SCOTT & H.M. HERNSHAW (eds), *Human factors in geographical information systems*, Belhaven Press, London, 113-130.

VII. Referências

- WORBOYS M.F., 1995. *GIS: A computing perspective*. Taylor & Francis, London, 376 p.
- WORBOYS M.F., HEARNshaw H. & MAGUIRE D., 1990. Object-oriented data modeling for spatial databases. *IJGIS*, 4(4): 369-385.
- WP/WLI (International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory), 1991. A suggested method for a landslide summary. *Bull IAEG*, 43:101-110.
- WRIGHT D.J. & GOODCHILD M.F., 1997. Data from the deep: implications for the GIS community. *IJGIS*, 11(6): 523-528.
- YINGQING Z., 1994. An expert system for the prediction of slope stability. In R. OLIVEIRA, L.F. RODRIGUES, A.G. COELHO & A.P. CUNHA(eds.), *Proceed. 7th International Congress IAEG*, Lisbon. A.A. Balkema, Rotterdam, 4483-4488.
- ZARZYCKI J.M., 1982. Opportunities and perspectives in digital mapping and automated cartography. In WITHMORE & WILLIAMS (eds.), *Resources for the twenty-first century*, U. S. Geological Professional Paper, Washington, 1193:92-96.
- ZBYSZEWSKI G., 1937. Découverte de nouveaux gisements de vertébrés terrestres dans le Néogène des environs de Lisbonne (Portugal). *C. R. des Séances à l'Académie des Sciences de Paris*, 205:1241.
- ZBYSZEWSKI G., 1943. Éléments pour servir à l'étude du Pliocène marin du Sud du Tage: la faune des couches supérieures d'Alfeite. *Com. Serv. Geol. Portugal*, XXIV: 125-156.
- ZBYSZEWSKI G., 1947. Panorama sur la géologie de la ville de Lisbonne. *Bol. Soc. Geogr. Lisboa*, 65(9/10) (policopiado).
- ZBYSZEWSKI G., 1949. Contribution à la connaissance du Pliocène portugais. *Com. Serv. Geol. Portugal*, XXX: 5-24, 7 pl.
- ZBYSZEWSKI G., 1953. Note sur une mandibule d' *Isocetus* trouvée à Mutela. *Bol. Soc. Geol. Portugal*, 11(1): 91-92.
- ZBYSZEWSKI G., 1954. L'Aquitainien supérieur de Lisbonne et du Ribatejo. *Com. Serv. Geol. Portugal*, XXXV:99-154.
- ZBYSZEWSKI G., 1957. Le Burdigalien de Lisbonne. *Com. Serv. Geol. Portugal*, XXXVIII: 91-215.
- ZBYSZEWSKI G., 1958. Le Quaternaire du Portugal. *Bol. Soc. Geol. Portugal*, 13(1/2):1-277.
- ZBYSZEWSKI G. 1962. Considérations sur la position stratigraphique de l'Aquitainien portugais. *Com. Serv. Geol. Portugal*, XLVI: 297-316.
- ZBYSZEWSKI G., 1963. *Notícia explicativa da carta geológica de Portugal na escala 1:50 000, folha 4 (Lisboa)*. Serv. Geol. Portugal, 93 p.
- ZBYSZEWSKI G., 1964. L'Aquitainien du Portugal et sa place stratigraphique. *Instituto Lucas Mallada, C.S.I.C. (España)*, Cursos y Conferencias, 9: 9-12.
- ZÉZERE J.L., 1988. *As costeiras a Norte de Lisboa: Dinâmica de vertentes e cartografia geomorfológica*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, 202 p.
- ZÉZERE J.L. & RODRIGUES M.L., 1992. A aplicação da cartografia geomorfológica de pormenor no ordenamento e gestão do território (um exemplo do Maciço Calcário Estremenho). *Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia*, Porto (policopiado).
- ZUQUETTE L.V. & GANDOLFI N., 1990. Mapeamento geotécnico: uma proposta metodológica. *Geociências*, 9:55-66.
- ZUQUETTE L.V., PARAGUASSU A.B. & VILAR M., 1993. Desenvolvimento da Geologia de Engenharia no Brasil nos próximos 10 anos. In *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 7, Poços de Caldas. ABGE, São Paulo, 1:7-12.

Fotografias de grande escala utilizadas:

- Voo Estereofoto – V007, 1997. Cobertura do concelho de Almada, à escala 1/5000 a cores. Fiadas 1 a 10, 11N, 11S e 12 a 14.
- Voo IMAER Portugal – 18/92, 1992. TLP – Almada / Sesimbra, Escala 1/5500. Fiadas 02 a 08.