



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Engenharia

**Patologias com origem geotécnica em estruturas de
Engenharia Civil na cidade da Covilhã**

Hugo Henrique Figueiredo Baptista

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(Mestrado Integrado)

Orientador: Prof. Doutor Luís Manuel Ferreira Gomes

Covilhã, outubro de 2014

Dedicatória

A todos os que acreditam em mim, e que me ajudam no dia-a-dia a concretizar os meus objetivos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi desenvolvido numa primeira etapa de investigação teórica na Universidade da Beira Interior (UBI) - Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura (DECA), sob a orientação do Professor Doutor Luís Manuel Ferreira Gomes, e numa segunda etapa de campo no centro urbano da cidade da Covilhã.

Gostaria de expressar o meu profundo reconhecimento ao Professor Doutor Ferreira Gomes, pela dedicação incansável, cooperação, compreensão, amizade e incentivo ao longo de todo o período de desenvolvimento deste trabalho. Aos meus colegas de curso e amigos pelo auxílio, companheirismo, apoio e amizade, condições fundamentais para concluir esta etapa.

À minha família pelos ensinamentos de vida e por todo o apoio transmitido que me tornaram no Homem que sou hoje. Especialmente ao meu Pai.

Resumo

O objetivo geral do presente trabalho é inventariar as patologias de origem geotécnica em edifícios, muros, arruamentos, taludes e de outras estruturas existentes na área urbana da Covilhã, apresentar esquemas de princípio sobre a sua origem, além de se avançar com algumas orientações genéricas sobre soluções de melhoramento de estabilidade dos maciços onde tais estruturas se implantam.

O trabalho iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica sobre situações clássicas de patologias geotécnicas em estruturas de engenharia civil em meios urbanos. No seguimento houve um exaustivo trabalho de campo, de modo a inventariar e caracterizar as patologias existentes nas várias estruturas e infra-estruturas da zona urbana (parcialmente) da Covilhã, tendo-se dado desenvolvimento apenas dos locais que se entendeu serem mais sensíveis.

Por fim, e dependendo da complexidade das várias situações, foram dadas soluções genéricas para minorar/resolver tais situações.

Salienta-se que com o presente trabalho apenas se pretende contribuir para a melhoria da sociedade civil no que diz respeito a problemas potenciais graves de origem geotécnica, sem ter, de modo algum a pretensão de resolver casos com soluções definitivas. Será portanto e apenas um contributo.

Palavras-chave

Covilhã, Fundações, Geotecnia, Patologias, Taludes.

Abstract

The overall objective of this study is to map and classify the geotechnical pathologies of buildings, walls, roads, embankments and other structures in the existing urban area of Covilhã.

The work begins with an investigation about the geotechnical conditions of classical situations in civil engineering structures in urban environments. The research then proceeds to a field work in order to identify and characterize the existing conditions in specific case-studies in the urban area (partially) of Covilhã.

Finally, and depending on the complexity of the different situations, a possible technical approach is given to moderate / resolve such situations.

It is noted that the present work only aims to contribute to the improvement of civil society with regard to serious potential sources of geotechnical problems, without in any way claim to solve cases with definitive solutions. And therefore only a contribution will be.

Keywords

Covilhã, Foundations, Geotechnics, Pathologies, Embankments.

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização do trabalho	2
1.1.1. Geotecnia preventiva e geotécnica corretiva	4
1.2. Objetivos	5
1.3. Organização do trabalho e aspetos metodológicos	5
1.4. O conceito da Patologia na Engenharia Civil	5
2. PATOLOGIAS COM ORIGEM GEOTÉCNICA EM MEIOS URBANOS	7
2.1. Caracterização do comportamento do maciço	8
2.1.1. Ausência de investigação do subsolo	9
2.1.2. Investigação insuficiente	11
2.1.3. Investigação com falhas	14
2.1.4. Interpretação inadequada dos dados	15
2.1.5. Casos especiais	16
2.1.5.1. Influência da vegetação	16
2.1.5.2. Colapsibilidade	18
2.1.5.3. Compressibilidade do solo	19
2.1.5.4. Rutura por cisalhamento	21
2.1.5.5. Expansibilidade	22
2.1.5.6. Subsidência	26
2.1.5.7. Zonas cársticas	28
2.1.5.8. Ocorrência de blocos de rochas	31
2.2. Análise e Projeto das Fundações	32

2.2.1. Problemas envolvendo o comportamento do solo	34
2.2.2. Problemas envolvendo os mecanismos de interação solo-estrutura	35
2.2.3. Problemas envolvendo o desconhecimento do comportamento das fundações	40
2.2.4. Problemas relativos á estrutura da fundação	41
2.2.5. Fundações superficiais	43
2.2.6. Fundações profundas	45
2.2.7. Fundações sobre aterros	46
2.3. Execução das Fundações	48
2.3.1. Problemas de execução em fundações superficiais	48
1. Problemas envolvendo o solo	49
2. Problemas envolvendo os elementos estruturais da fundação	50
2.3.2. Problemas de execução em fundações profundas	51
1. Problemas genéricos em fundações profundas	52
2. Problemas em estacas cravadas	53
3. Problemas em estacas de madeira	55
4. Problemas em estacas metálicas	56
5. Problemas em estacas pré-moldadas de betão	58
6. Problemas em estacas moldadas	59
2.4. Patologias pós-conclusão das Fundações	60
2.4.1. Alterações no carregamento da estrutura	61
2.4.2. Movimentos do solo devido a ações externas	62
1. Alterações no uso dos terrenos vizinhos	62
2. Execução de grandes escavações próximas à construção	63
3. Escavações não protegidas	64

4. Instabilidade de taludes	65
5. Vazamento de água no solo	66
6. Variação do nível freático	66
7. Erosão nas fundações	67
8. Vibrações e choques	69
2.5. Degradação dos materiais constituintes das Fundações	70
2.5.1. Betão	71
2.5.2. Aço	74
2.5.3. Madeira	76
3. AS PATOLOGIAS COM ORIGEM GEOTÉCNICA NA CIDADE DA COVILHÃ	
3.1. Introdução	77
3.2. Enquadramento geográfico	78
3.3. Caracterização geomorfológica e geológica	79
3.4. Caracterização geotécnica da zona urbana da Covilhã	83
3.5. Casos de estudo	88
3.5.1. Introdução	88
3.5.2. Caso de Estudo Nº 1 - Zona dos Penedos Altos	88
3.5.3. Caso de Estudo Nº 2 - Zona da Biblioteca Municipal	95
3.5.4. Caso de Estudo Nº 3 - Largo Eduardo Malta	100
3.5.5. Caso de Estudo Nº 4 - Jardim da Goldra/Edifício na rua José Ramalho	103
3.5.6. Caso de Estudo Nº 5 - Zona da Rua da Saudade	108
3.5.7. Caso de Estudo Nº 6 - Zona Contígua à Faculdade das Engenharias (Universidade da Beira Interior)	111

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 115

6. BIBLIOGRAFIA 119

ANEXOS 123

Anexo I - Levantamento das patologias dos casos em análise.

Anexo II - Estabilidade dos Taludes na envolvente Faculdade das Engenharias - Caso de estudo N°6

Lista de Figuras

2. PATOLOGIAS COM ORIGEM GEOTÉCNICA EM MEIOS URBANOS

Figura 2.1 - Exemplo da distribuição inadequada das sondagens numa dada área de construção	11
Figura 2.2 - Corte BB' do terreno	13
Figura 2.3 - Corte AA' do terreno	13
Figura 2.4 - Exemplo investigação do subsolo a uma profundidade insuficiente em relação à área afetada pela implantação da sapata	14
Figura 2.5 - Ações das raízes em fundações: A) e B)	17
Figuras 2.6 A Exemplos de danos provocados devido à variação volumétrica do solo	19
Figura 2.7 - Estrutura com uma parte fundada sobre um aterro e outra sobre o solo natural	20
Figura 2.8 A e B - Ruína de silos em betão armado devido à rutura por cisalhamento do solo argiloso sob a fundação	22
Figura 2.9 - Rutura de um pórtico causada por expansão de solos - Município de Poço Verde	23
Figura 2.10 - Inclinação de pilares devido a expansão do solo de fundação - Município de Santo Amaro	23
Figura 2.11 - Representação esquemática do levantamento de um edifício apoiado em argila ressequida	24
Figura 2.12 - Imagens sobre o aparecimento de fissuras nas paredes da uma casa devido a fenómenos de expansão	25
Figura 2.13 - Classificação da subsidência de acordo com a origem	26
Figura 2.14 - Exemplo de colapso do solo devido aos trabalhos de mineração	27
Figura 2.15 - Pode-se observar os efeitos da subsidência do solo devido aos trabalhos realizados numa mina	28
Figura 2.16 - Exemplo de subsidência devido a dissolução da camada de calcário	29
Figuras 2.17 - Imagens das consequências do colapso do solo - Município de Sete Lagoas	30
Figura 2.18 - Esquema que explica a origem do colapso do solo em Cajamar devido ao processo de dissolução das camadas abaixo do solo	30
Figura 2.19 - Exemplo de adoção do perfil errado devido ao número insuficiente de sondagens realizadas no estudo do subsolo	31

Figuras 2.20 Surgimento de blocos de rocha durante a execução de fundações superficiais	32
Figuras 2.21 - Blocos de rocha durante a execução de fundações profundas	32
Figura 2.22 - Exemplo de adoção de um perfil de terreno otimista quando na realidade existe uma camada de argila que poderá provocar assentamentos na estrutura do prédio e, conseqüentemente, fissuras na estrutura	35
Figuras 2.23 - Imagens evidenciando a sobreposição das tensões a partir das fundações de edifícios muito próximos	36
Figura 2.24 - Exemplo das tensões transmitidas ao solo pelo prédio representado num programa de elementos finitos	36
Figura 2.25 - Exemplo da sobreposição das tensões representadas num programa de elementos finitos	37
Figura 2.26 - A Torre de Pisa apresenta uma inclinação de 5,5° devido aos assentamentos da base	37
Figura 2.27 - Grupos de estacas apoiadas em camadas resistentes mas sobrepostas em solos moles, provocando no caso A rutura e no caso B problemas de assentamentos	38
Figura 2.28 - Esquema de atuação do atrito negativo ao longo das estacas na vertical e com inclinação	38
Figura 2.29 - Esquema de atuação do atrito negativo ao longo da estaca	39
Figura 2.30 - Tração em grupo de estacas	39
Figura 2.31 - Deformações das estacas por falta de travamento e flambagem	40
Figura 2.32 - Sistemas de fundações diferentes atuando em condições diferentes, não separados por uma junta provoca assentamentos diferenciais	40
Figura 2.33 - Assentamentos e fissuras provocadas por carregamentos diferentes na mesma fundação sem junta de separação	41
Figura 2.34 - Muro de suporte que sofreu algumas alterações na sua base	43
Figura 2.35 - Efeitos causados pela má definição da cota das fundações	44
Figura 2.36 - Exemplo pelo qual se pode constatar a ordem pela qual devem ser realizadas as fundações	44
Figura 2.37 - Exemplo de como os recobrimentos dos elementos estruturais tem de estar indicados em projeto	45
Figuras 2.38 - Exemplos de fundações da mesma estrutura apoiadas em solos com diferentes características: (A) em solo virgem em zona de escavação e aterro; (B) em solos sedimentares com diferentes características	49
Figura 2.39 - Abaixamento do nível freático com ajuda de bombas durante a betonagem	50

Figura 2.40 - Conseqüências da má vibração do betão durante a betonagem	51
Figura 2.41 - Aparecimento de problemas durante a betonagem devido a detritos que não foram limpos ou má disposição das armaduras	51
Figura 2.42 - (A) Equipamento utilizado para a cravação de estacas pré-fabricadas; (B) pormenor da ligação entre estacas	54
Figura 2.43 A e B - Imagens que evidenciam o excesso de energia de cravação, com graves danos estruturais nas estacas	54
Figura 2.44 - Imagem sobre a cravação de estacas metálicas	57
Figura 2.45 - Esquemas sobre deformação das estacas metálicas esbeltas: (A) devido a inclinação da camada resistente; (B) devido a ocorrência de blocos de rocha sólida	57
Figura 2.46 - Estacas metálicas com elevados danos estruturais	58
Figura 2.47 - Exemplos de danos em estacas pré-moldadas devido a utilização de betão de baixa resistência	58
Figura 2.48 - Danos devido ao manuseamento incorreto das estacas	59
Figura 2.49 - Exemplos de graves problemas de integridade em estacas moldadas	60
Figura 2.50 - Exemplo de alteração do uso da estrutura, onde o projeto inicial era uma escola (A), mas foram feitas modificações para o prédio ser usado como uma biblioteca (B)	61
Figura 2.51 - Problemas causados pela construção de novas estruturas vizinhas sem junta de separação	62
Figura 2.52 - Desabamento de um prédio em Xangai	64
Figura 2.53 - Esquema das causas que originaram o desabamento do prédio em Xangai	64
Figura 2.54 - Descalçamento das fundações da estrutura devido a escavações próximas	64
Figura 2.55 - A construção de uma estrutura provoca esforços no solo e problemas de estabilidade pontual do talude	65
Figura 2.56 - Esquema mostrando a instabilidade dos taludes naturais e colocar em risco a estrutura	66
Figura 2.57 - Impulsos provocados pela água presente no solo sobre uma estrutura	67
Figura 2.58 - Exemplo da alteração do fundo do leito do rio devido a erosão, deixando as fundações da ponte ao descoberto o que pode provocar instabilidade ou colapso da ponte	68
Figura 2.59 - Imagens onde é visível a erosão que a ponte sobre o rio está a sofrer (A), e fissuras como uma consequência de tal fenómeno (B)	68
Figura 2.60 - Ponte de Entre-os-Rios em ruína devido essencialmente à erosão nos	69

seus pilares

Figura 2.61 - (A) fissuras numa e viga; (B) colapso de uma estrutura 72

3. PATOLOGIAS COM ORIGEM GEOTÉCNICA NA COVILHÃ

Figura 3.1 - Enquadramento geográfico do local de estudo, Covilhã, Portugal 78

Figura 3.2 - Esboço morfológico da Cova da Beira e seus 80

Figura 3.3 - Excerto da Carta de Declives da Região da Covilhã 81

Figura 3.4 - Localização da zona de estudo em extrato da Carta Geológica da Covilhã 82

Figura 3.5 - Carta das Unidades Litológicas da Região da Covilhã 84

Figura 3.6 - Carta geotécnica de aptidão para a construção 87

Figura 3.7 - localização dos casos em estudo de patologias de origem geotécnica da zona urbana da Covilhã 90

Figura 3.8 - Locais de estudo individualizado no Caso N°1: Zona dos Penedos Altos (Ponto a- Piscinas Municipais, Ponto b - Pavilhão Desportivo, Ponto c - Igreja, Ponto d - Jardim das Tílias, Ponto e- Rua Bairro dos Penedos Altos) 91

Figura 3.9 - Deformações nas piscinas continua exteriormente (A) interiormente (B) (ponto a) 91

Figura 3.10 - Deformações no pavilhão desportivo- A) fissura no horizontal no piso, B) fissura vertical continua A (ponto b) 92

Figura 3.11 - Deformações da zona envolvente dos penedos altos (entre o ponto b e c) 92

Figura 3.12 - A) deformações na igreja (ponto c); B) Inclinação das Tílias, no jardim das Tílias (ponto d) 93

Figura 3.13 - Esboço elucidativo das possíveis superfícies de rutura potenciais nas piscinas Municipais (NW-SE) 93

Figura 3.14 - Esboço em corte (A) e em planta (B) das deformações no clube desportivo e envolvente (ponto b), bem como representação de algumas superfícies de rutura potencial 94

Figura 3.15 - Corte na Zona das Piscinas Municipais 95

Figura 3.16 - Locais de estudo individualizados no Caso N°2: Biblioteca Municipal (a) e Jardim de Infância (b) 96

Figura 3.17 - Imagens das principais patologias registadas nos vários locais de estudo detalhado no Caso N°2 (Zona baixa da Covilhã): A,B,C,D Biblioteca Municipal; E e F Escola Preparatória 97

Figura 3.18 - Biblioteca Municipal da Covilhã 98

Figura 3.19 - Malha de fissuração dos pilares ponto a - Biblioteca Municipal	98
Figura 3.20 - Esquiço sobre deformações excessivas nas fundações da Biblioteca Municipal da Covilhã	99
Figuras 3.21 - Fotografias obtidas em fase de obra para a implantação da Biblioteca Municipal da Covilhã, evidenciando as elevadas heterogeneidades do maciço de fundação	100
Figura. 3.22 - Locais de estudo individualizado no Caso N°3: Largo Eduardo Malta (a)	101
Figura 3.23 - Imagens de casas que evidenciam (por apresentar as paredes desalinhadas da vertical) consideráveis patologias na zona em análise (a), Largo Eduardo Malta	102
Figura 3.24 - Esquiço elucidativo sobre o fenómeno que leva às deformações visíveis nos edifícios da zona do Largo Eduardo Malta	102
Figura 3.25 - Locais de estudo individualizado no Caso N°4: Jardim da Goldra (a), Edifício paralelo ao elevador na Rua José Ramalho (b)	103
Figura 3.26 - Edifício com potenciais problemas de origem geotécnica na Rua José Ramalho	104
Figura 3.27 - Imagens de algumas patologias do edifício contíguo á rua José Ramalho (A, B, C), Jardim da Goldra (D)	104
Figura 3.28 - Esquiço sobre aspectos geotécnicos que potenciam as principais patologias do edifício na rua José Ramalho à Ribeira da Goldra	105
Figura 3.29 - Fotografia do Elevador da Goldra integrado no Plano da Mobilidade Pedonal	105
Figura 3.30 - Perfil geotécnico em corte segundo o eixo do tabuleiro do elevador	106
Figura 3.31 - Esboço sobre onze cenários de rutura potencial de acordo a estabilidade do talude onde se instala o elevador da Goldra na cidade da Covilhã	107
Figura 3.32 - Locais de estudo individualizado no Caso N°5: Muros de suporte em Alvenaria: a - Rua da Saudade, b - Rua João de Almeida	109
Figura 3.33 - Imagens sobre fissuras em muros de suporte, denunciando superfícies potenciais de rutura no muro da Rua da Saudade (A e B) e na rua Capitão João de Almeida (C,D)	109
Figura 3.34 - Esquiço em corte da zona da Rua da Saudade mostrando as potenciais superfícies de rutura no tardo do muro de alvenaria	110
Figura 3.35 - Esquiço em corte sobre superfícies potências de rutura prováveis do muro da Rua da Saudade	110
Figura 3.36 - Locais de estudo individualizado no Caso N°6: Edifício paralelo ao DECA (a), Travessa da Fonte Santa (b a d), Rua Marquês de Pombal (e)	111
Figura 3.37 - Imagens sobre deformações no pavimento e em edifícios, evidenciando superfícies potências de rutura e deformações Patológicas observadas: edifício	112

próximo ao DECA (A ponto *a*), Travessa da Fonte Santa (B ponto *b*) Rua por cima do Silo das Engenharias (C ponto *c*, E ponto *d*), e Rua Marquês de Pombal (D ponto *e*)

Figura 3.38 - Esquema de princípio sobre a tendência geral em termos de instabilidade dos taludes da zona do Pólo das Engenharias da Universidade da Beira Interior 113

Figura 3.39 - Cenários sobre superfícies de rutura consideradas para avaliação da estabilidade dos taludes na zona do Pólo das Engenharias da Universidade da Beira Interior 114

Lista de Tabelas

1. INTRODUÇÃO

Tabela 1.1 - Acidentes em fundações superficiais	3
--	---

2. PATOLOGIAS COM ORIGEM GEOTÉCNICA EM MEIOS URBANOS

Tabela 2.1 - Problemas típicos decorrentes da ausência de investigação	12
--	----

Tabela 2.2 - Classificação dos solos quanto a sua aplicação em aterros	48
--	----

Tabela 2.3 - Principais causas da degradação da madeira	76
---	----

3. PATOLOGIAS COM ORIGEM GEOTÉCNICA NA COVILHÃ

Tabela 3.1 - Quadro síntese das características das Unidades Geotécnicas	86
--	----

Tabela 3.2 - Parâmetros geotécnicos das várias unidades geotécnicas da zona do Elevador da Goldra a partir de vários estudos geotécnicos	106
--	-----

Tabela 3.3 - Resultados da análise de estabilidade global como um talude, considerando onze cenários de rutura potencial, onde se instala o elevador da Goldra na cidade da Covilhã	108
---	-----

Tabela 3.4 - Resultados da estabilidade dos taludes em termos de fator de segurança (FS), para os vários cenários considerados (Figura 3.39)	118
--	-----

Lista de Acrónimos

C	Coesão
E	Módulo de deformabilidade do solo
FS	Fator de segurança
GRP	Gabinete de Relações Públicas
GRP	Gabinete de Relações Públicas
I_p	Índice de plasticidade
IPC	Instituto Politécnico da Covilhã
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de Plasticidade
Na	Sódio
N_{SPT}	Número de pancadas no ensaio
NE	Nordeste
PDM	Plano Diretor Municipal
q_c	Resistência de ponta no cone de ensaio
RS	Resistência à compressão
SE	Sudeste
SW	Sudoeste
UBI	Universidade da Beira Interior
W_{opt}	Humidade Ótima
K	Permeabilidade do solo
K	Potássio

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

As fundações são constituídas por elementos que ficam enterrados, invisíveis e também inacessíveis a inspeções periódicas. Em consequência, os defeitos patológicos que apresentam não são detetados de forma direta, mas sim de forma indireta através das repercussões sobre a estrutura. De algum modo a patologia das fundações mistura-se nas patologias da estrutura, complicando justificar a verdadeira causa dos danos.

Muitos dos acontecimentos instabilizadores de fundações, quando detetados a tempo, poderão permitir a utilização de medidas corretivas como, por exemplo, os assentamentos de fundações, a execução de estacas de reforço adicional, a implantação de sistemas de drenagem adequados e ainda o escoramento da estrutura.

O termo patologias das construções, na Engenharia Civil, surgiu já há algum tempo, algumas décadas, mais propriamente quando os técnicos enfrentaram o projeto da construção, da durabilidade da construção, e com o surgimento da reabilitação de determinadas construções. “A patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens das anomalias em construções, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema” (Helena, 1992).

As manifestações patológicas em edifícios é um problema de todos, contudo, existem inúmeros conflitos de interesses e nem sempre se sabe as verdadeiras origens das patologias.

A fundação é um elemento estrutural com a função de transmitir as cargas da estrutura ao terreno onde ela se apoia, devendo apresentar resistência mecânica para suportar as tensões devido aos esforços solicitantes, rigidez suficiente para não provocar a rutura e controlar deformações (Azeredo, 1988).

Conclui-se que as manifestações patológicas neste tipo de obra geotécnica estão claramente dependentes de deficiências no projeto e na execução. As deficiências no projeto são provocadas pelo desconhecimento sobre o comportamento real dos terrenos e as deficiências na execução pela ausência, ou não cumprimento, de critérios adequados á respectiva construção (Dinis da Gama, 1991).

1.1. Contextualização do trabalho

Com a grave crise económica, que se tem registado é importante sensibilizar as pessoas, para os diversos erros que têm surgido no sector da construção civil, e Engenharia Civil, de modo que, se sensibilize a população para os potenciais riscos e custos que podem provir de um mau estudo geotécnico ou, simplesmente da sua inexistência.

Mostra a experiência que a patologia e os acidentes relacionados com obras geotécnicas podem ser fortemente atenuados se se atuar corretamente nas seguintes áreas (Silva, 1991):

- ❖ Disposições de projeto;
- ❖ Disposições construtivas.

Embora seja difícil distinguir com total rigor quais os trabalhos de Engenharia que merecem a classificação de obras geotécnicas considera-se, para os objetivos do presente trabalho, que neste grupo podem ser incluídas as seguintes obras (Dinis da Gama, 1991):

- Taludes (Urbanos, Viários, mineiros) e muros de suporte;
- Fundações (superficiais/diretas, profundas/por estacas);
- Escavações subterrâneas (túneis, minas e armazéns);
- Pavimentos viários e obras de terraplenagem, incluindo cortes, aterros e enrocamentos;
- Tratamento, consolidação e impermeabilização de maciços (incluindo ancoragens e pregagens);
- Barragens de terra, de enrocamento e rejeitados.

Algumas situações ou mesmo patologias em fundações diretas, que podem criar graves problemas na vida útil de uma estrutura são as seguintes (Ferreira Gomes, 2002):

- Prospeção inadequada do terreno ou inexistência de estudos geológicos-geotécnicos;
- Interpretação incorreta dos resultados da prospeção ou utilização de parâmetros inadequados ou pouco realistas;
- Mau dimensionamento das sapatas e erros de cálculo para determinação das cargas ou tensões admissíveis;
- Erosão na base das sapatas;
- Modificação do estado de tensão no solo, após o início da obra;
- Modificação do estado de tensão do solo, por sobrecargas adicionais não previstas no projeto (aumento de um andar, por ex.);

- Escavações adjacentes às edificações existentes (reduzindo a capacidade de carga do solo de fundação por descompressão lateral);
- Propriedades expansivas do solo;
- Deslizamento de terras/rochas;
- Corrosão e deterioração das sapatas, por águas agressivas, solos orgânicos, ou com concentrações de substâncias nocivas ao betão, cimento, aço, madeira, entre outros;
- Posição do nível freático (atenção às subidas e descidas sazonais do nível freático, que pode alterar os solos/rochas de fundação, ou simplesmente reduzir a sua capacidade de carga; inundações de solos arenosos o perigo é muito grande);
- Rebaixamento brusco do nível freático, principalmente em solos com elevado índice de vazios; é costume construir barreira à circulação das águas à volta do perímetro do local a ser construído e apenas executar o rebaixamento (bombagem) no interior;
- Vibrações naturais ou induzidas, podem diminuir drasticamente a capacidade de carga de certos solos arenosos e siltosos quando equigranulares, liquefazendo-os;
- Pressões hidrostáticas que provocam o levantamento das fundações;
- Existência de cavidades cársticas, túneis de antigas minas, túneis de esgoto, condutas de cabos telefónicos, possíveis condutas provocadas por passagem ou bombagem de fluidos do solo (“pipping”);
- O congelamento do solo pode provocar pressões de levantamento que podem vir a danificar as estruturas da obra.

É de grande importância conhecer a fenomenologia da rutura das obras geotécnicas e, para tal, muito podem contribuir os sistemas de instrumentação juntamente com os procedimentos de observação permanente destas obras.

Na Tabela 1.1, são visíveis os principais acidentes ocorridos ao nível das fundações superficiais e a frequência dos mesmos.

Tabela 1.1 - Acidentes em fundações superficiais (Logeais, 1971)

Fenómeno	Frequência
Fundação assente sobre aterros recentes, insuficientemente compactado	25%
Afluxos intempestivos de água	20%
Fundações heterogeneamente solicitadas	20%
Profundidade insuficiente	10%
Assentamento elevados provocados pela construção de imoveis vizinhos	10%
Solos muito compressíveis (turfas, argilas moles, etc.)	10%
Construções sobre solos instáveis (próximos de taludes, de pedreiras, de minas, etc.)	5%

A Covilhã é uma cidade Montanha que genericamente foi instalada sem estudos geotécnicos nem grandes preocupações desta índole e essa é uma das razões que as estruturas muitas vezes não estão instaladas no local mais adequado, nem muitas vezes o mais adequadamente, e por isso são evidentes muitas patologias, nomeadamente associadas à instabilidade dos taludes, devido aos seus consideráveis declives em associação com as características geotécnicas que por vezes são muito modestas.

1.1.1. Geotecnia preventiva e geotecnia corretiva

Apesar de a geotecnia ser uma área do saber bem definida, as formas de a encarar variam conforme as circunstâncias que rodeiam as obras e os seus principais intervenientes. Em essência, tudo depende do posicionamento dos técnicos perante o equilíbrio segurança-economia: se é dada importância primordial à primeira, está-se perante uma visão preventiva, que justifica a utilização de metodologias de trabalho com o propósito de garantir a estabilidade a longo prazo das obras geotécnicas (Dinis da Gama, 1991). Quando, por outro lado, se se privilegiam as considerações económicas a curto prazo e os projetos são estabelecidos com base em critérios restritos de estabilidade, aceitando-se intervenções futuras destinadas a solucionar os eventuais problemas que venham a ocorrer, está-se perante uma abordagem corretiva da Geotecnia (Dinis da Gama, 1991).

Poder-se-á afirmar que o tipo e a dimensão das obras condicionam a posição que prevalece nesta opção a ser tomada, porém a realidade que caracteriza as obras executadas segundo um ou outro critério é consideravelmente diferente.

O primeiro aspeto conflituante é o que se refere à escolha dos fatores de segurança, quase sempre uma decisão com carácter de alguma subjetividade, afetada pelas circunstâncias de momento, e que não é estranha as intervenções dos donos de obra, dos projetistas, dos empreiteiros, das autoridades, cada um dos quais com pontos de vista distintos sobre o problema.

Segue-se o conceito da qualidade da obra, pois também é um atributo que sofre da influência óbvia das abordagens preventiva ou corretiva, muitas vezes sobrepondo-se ao próprio conteúdo dos regulamentos que sugerem determinadas orientações padronizadas. O recurso a índices económicos, como a relação benefício custo, permite limitar a variabilidade de pontos de vista a respeito da conceção de obras geotécnicas, uma vez que se pode identificar os

diversos níveis de qualidade e assim aproximar as abordagens preventiva e corretiva (Dinis da Gama, 1991).

1.2. Objetivos

O objetivo geral do trabalho é contribuir para o conhecimento da origem das patologias geotécnicas em edifícios, muros, arruamentos, taludes e de outras estruturas existentes na área urbana da Covilhã. As patologias encontradas agrupam-se em várias famílias e avançam-se com os modelos conceituais que estarão na base de cada uma, para numa fase seguinte, nas situações mais sistemáticas e mais importantes, se avançar com eventuais soluções conceituais sobre a sua remediação.

1.3. Organização do trabalho e aspetos metodológicos

O trabalho iniciar-se-á com uma pesquisa bibliográfica sobre situações clássicas de patologias geotécnicas de estruturas em meios urbanos. No seguimento haverá um exaustivo trabalho de campo, de modo a inventariar e caracterizar as patologias existentes das várias estruturas e infraestruturas de algumas zonas mais sensíveis da zona urbana da Covilhã. Numa segunda fase proceder-se-á ao estudo em gabinete, com análises e cálculos sobre os vários casos, de modo a elaborar uma adequada sistematização e classificação das patologias registadas. Por fim, e dependendo da complexidade das várias situações, adiantam-se soluções genéricas para minorar/resolver estas situações.

1.4. O conceito da Patologia na Engenharia Civil

Existem inúmeros conceitos de qualidade e de patologia aplicados a obras de engenharia em geral e obras geotécnicas em particular.

Salienta-se a importância de conseguir a satisfação do utilizador dessas mesmas obras, como critério essencial de garantia da qualidade, descrevendo-se as diversas formas de alcança-la, que vão desde a auto certificação (a cargo do fornecedor) à inspeção realizada pelo adquirente do serviço até à certificação efetuada por instituições independentes. As normalizações existentes e em vias de promulgação a nível comunitário e internacional são referidas, assim como as implicações de custos e benefícios associados à procura da qualidade no projeto e na execução de obras geotécnicas.

Na linguagem quotidiana, os termos qualidade e patologia têm um significado bem conhecido e cuja noção é difícil de entender nas obras de engenharia, no seu contexto geral, ou nas obras geotécnicas, em particular (Dinis da Gama, 1991).

A ampliação do conceito de patologia das obras de engenharia é procedente, na medida em que elas enfrentam dificuldades de sobrevivência ao longo do tempo, em condições de estabilidade decrescente que afetam os respetivos utilizadores. A proximidade do colapso, ou pelo menos, da situação de inadequação para os fins a que foram destinadas, leva as obras a serem consideradas como entidades cujo comportamento ao longo do tempo é suscetível de ser objeto de “diagnósticos” apropriados, capazes de justificar o seu abandono, ou a necessidade de reconstrução, ou simplesmente de reforço dos parâmetros mais representativos da estabilidade, ou seja, da sua segurança estrutural.

Encarado o problema de obras geotécnicas sob este prisma, verifica-se ser legítimo relacionar qualidade com patologia, na medida em que os diversos graus em que pode ser estabelecido o primeiro destes atributos vão influenciar as suas manifestações aparentes, que são típicas do segundo conceito. Nesta conformidade é legítimo esperar que duas obras similares, construídas sob critérios de qualidade distintos, possam demonstrar patologias diferentes quando submetidos ao mesmo efeito (seja o fator tempo, seja qualquer solicitação, como um abalo sísmico, por exemplo). Analogamente seria admissível esperar que uma obra de melhor qualidade (no sentido corrente do termo) apresente determinados índices patológicos ao fim de um tempo maior do que uma obra similar feita com menores preocupações de projeto, de execução e de manutenção.

Por se tratar de dois conceitos que envolvem elevadas cargas de subjetividade, não restam dúvidas que o estudo da correlação é um processo de difícil consecução. Para tentar abordá-lo à luz da metodologia geotécnica, procurar-se-á ilustrar tal correlação a partir de obras concretas e recorrendo a exemplos reais. Julga-se que só dessa forma poderá ser enfatizado o papel que desempenham os aspetos económicos sempre subjacentes à noção de qualidade e, também, os meios e as técnicas disponíveis para identificar as características patológicas das obras geotécnicas (Dinis da Gama, 1991).

CAPÍTULO 2

2. PATOLOGIAS COM ORIGEM GEOTÉCNICA EM MEIOS URBANOS

Dentro dos vários problemas que uma estrutura pode apresentar, as estatísticas demonstram que os problemas relacionados com as fundações são aqueles que implicam um maior custo na sua reparação por serem complexos de solucionar, porque implicam grandes alterações na envolvente da estrutura e podem provocar uma interrupção das funções para a qual a estrutura foi projetada. Estes problemas são designados comumente de patologias, representando uma grande importância em determinar as principais causas destas patologias para que possam ser significativamente reduzidas.

A análise deste tipo de patologias não é simples nem imediato, é necessário analisar todas as modificações que surgem na estrutura. As principais que se deve ter em conta são essencialmente as fissuras, deslocações, assentamentos e rotações que a estrutura possa sofrer e assim, a partir delas deduzir qual é a principal causa que as desencadeou. Ao nível da fundação existente, é extremamente importante fazer um reconhecimento geológico e geotécnico do terreno para desvendar as possíveis causas que originam os problemas nas fundações. É também importante analisar a relação estrutura-fundação-terreno, de forma que quando forem realizadas reparações, estas não sejam só estéticas ou superficiais, escondendo assim os verdadeiros problemas, o que só piora a situação porque interiormente a sua degradação avança de forma oculta e pode chegar até provocar o colapso da estrutura.

Uma vez conhecidas as causas que originam as patologias nas fundações, pode-se então adotar um conjunto de medidas para as solucionar. Estas podem ir desde a atuação sobre a estrutura propriamente dita até às modificações das propriedades geotécnicas do terreno (tratamentos de melhoria e reforço do terreno) (Carvalho, 2010).

Schnaid *et al.* (2005 *in* Carvalho, 2010), menciona as principais causas que originam os principais problemas em fundações, referindo que de uma forma geral, existem cinco fases em que os problemas podem acontecer ou ser originados:

- Caracterização do comportamento do maciço;
- Análise e projeto das fundações;
- Execução das fundações;

- Ações pós-conclusão das fundações;
- Degradação dos materiais constituintes das fundações.

A execução das fundações de uma estrutura abrange inúmeras etapas, em geral, desenvolvidas por profissionais de diversas áreas, o sucesso de um projeto de fundações depende do trabalho em equipa. Isto só pode ser alcançado quando existe comunicação entre os vários elementos que intervêm na execução, de forma que todas as etapas desde a conceção do projeto de fundações até a sua construção estejam interligadas e acompanhadas por esta equipa de profissionais (Carvalho, 2010).

2.1. Caracterização do Comportamento do Maciço

Sendo de facto consensual que as propriedades dos solos e das rochas têm grande influência sobre o projeto e técnicas construtivas, assim como os custos de execução e esperança média de vida das estruturas, é essencial o seu comportamento ao longo do tempo.

Em primeiro plano situa-se a durabilidade de tais materiais, que pode ser definida pela reação que eles oferecem às ações da meteorização, seja por alteração física ou por via química.

Seguem-se a resistência mecânica e abrasividade, caracterizadas pela oposição que os materiais oferecem às solicitações externas e às ações de abrasão, respetivamente.

Dado que os solos resultam na sua origem de processos de alteração de rochas, a sua durabilidade é desprezável face à das rochas, em termos de utilização para as obras geotécnicas. A baixa resistência que oferecem quando expostos às ações de erosão tornam os solos desaconselháveis para o revestimento exterior, a menos que sejam objeto de tratamentos superficiais ou de plantação de espécies vegetais apropriadas.

A durabilidade das rochas é uma propriedade utilizada para a sua aplicação em numerosas obras geotécnicas, sendo muito variável consoante a respetiva composição mineralógica, o seu estado de microfraturação natural e o seu passado geológico. A presença de minerais secundários, como as argilas, provenientes da alteração de silicatos nas fases iniciais das modificações químicas, dá origem a uma redução importante da resistência intergranular das rochas. Este processo é agravado pela existência de microfissuras que se representam como superfícies abertas no contacto com os agentes atmosféricos, variando consideravelmente com o tipo de clima (Dinis da Gama, 1991).

A investigação do subsolo ou a ausência dela é a causa mais frequente de problemas nas fundações. Uma vez que o subsolo é o meio de suporte de todas as cargas, a sua identificação e caracterização do seu comportamento é indispensável para a solução de qualquer problema que possa surgir.

Quanto maior for o grau de precisão na quantificação da alterabilidade, mais razoáveis poderão ser os coeficientes de segurança utilizados no dimensionamento das obras, o que resultará, na maioria dos casos, em custos finais mais baixos. Por outro lado, esta quantificação permitirá evitar certos problemas, ou mesmo acidentes, que ainda vão ocorrendo em obras, não tão raramente quanto seria desejável, por não ter sido levada em linha de conta a evolução da alteração, a qual se irá refletir na diminuição dos valores da resistência dos materiais onde são implantadas essas obras (Ladeira, 2000).

Segundo Schnaid *et al.* (2005 in Carvalho, 2010), a caracterização do maciço de fundações para ser eficaz deverá ser feita em função de alguns fatores tais como:

- Espessura e dimensão em planta de cada camada para a profundidade de interesse do projeto, além da caracterização de cada camada através de observações locais ou de resultados de laboratório;
- Profundidade do topo da camada rochosa ou do material impenetrável ao amostrador. No caso da rocha, o tipo e suas condições geológicas;
- Existência de água com a respetiva posição do nível freático no período da investigação e, se possível, sua variação durante o ano. Se for o caso indicar a existência de pressões artesianas;
- As propriedades do solo ou da rocha, tais como, permeabilidade, compressibilidade e resistência ao corte.

2.1.1. Ausência de investigação do subsolo

A investigação geotécnica do subsolo é o ponto de partida para a realização de obras civis. Entre as sondagens de reconhecimento, o ensaio de penetração dinâmica conhecido internacionalmente como (SPT) é o mais utilizado nas investigações geotécnicas para elaboração dos projetos de fundações no Brasil, bem como em muitas partes do mundo, não apenas pelo seu baixo custo e versatilidade, mas também pela grande biblioteca de informações acumuladas durante as décadas de uso (Bicalho, 2010).

A ausência de investigação é um problema típico de obras de pequeno porte e por vezes também é observado em obras de médio porte, a principal causa da ausência de investigação, geralmente, são motivos económicos. Muitas vezes são planeadas obras sem qualquer

caracterização dos solos, apenas tendo como base estudos realizados para construção de outras obras do mesmo gênero próximas do local de onde vai ser executado. A ausência de investigação é uma prática inaceitável e que aumenta os riscos de surgimento de problemas estruturais, é do bom senso do engenheiro realizar um estudo sobre as principais características geológicas-geotécnicas do solo (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010).

Um programa de investigação deve ter em consideração a importância e o tipo de obra, isto é, uma obra de maior complexidade como uma barragem, deverá ser efetuado uma investigação muito mais rigorosa do que uma de menor complexidade como, por exemplo, uma residência (Carvalho, 2010).

Segundo Milititsky *et al.*, (1986), o programa de investigação deve ser planeado por um engenheiro experiente na área, que seja capaz de identificar os problemas mais complexos que possam surgir. A maior parte dos problemas nas fundações têm origem na falta de caracterização dos solos, que é o resultado de uma investigação insuficiente ou com falhas, da má interpretação dos resultados da investigação ou da sua simples ausência.

Para Ortiz (1983), o solo com a sua deformabilidade e resistência é uma continuação para baixo da nossa estrutura, de forma global, pode-se dizer que o solo que serve de implantação para as nossas fundações é parte integrante da estrutura. Devido aos esforços transmitidos pela estrutura e ao impacto que causa sobre o solo de fundação, este deveria ser tratado com a mesma importância que os outros elementos estruturais, mas tal situação não se verifica.

O solo não é um material homogêneo, nem fabricado pelo homem sob um controlo de qualidade, ao contrário dos demais elementos estruturais. Trata-se de um material heterogêneo e de natureza incerta. A única forma de ter em consideração os efeitos que as nossas estruturas têm sobre os solos é mediante o conhecimento das características do solo, estas são difíceis de determinar devido a composição variável do solo.

Outro fator a ter em conta no programa de investigação é a natureza do subsolo, um solo que apresente características especiais tais como compressibilidade, permeabilidade, expansibilidade, entre outras, exige cuidados e técnicas diferentes das utilizadas em solos com um comportamento típico.

Os problemas que envolvem o comportamento do solo têm origem na má avaliação do desempenho e estimativa de parâmetros do solo, estes critérios só devem ser definidos por profissionais especializados e experientes. Exemplos de algumas das patologias mais comuns são apresentados por Schnaid *et al.* (2005): um dos exemplos comuns é a adoção do perfil do terreno otimista (Carvalho, 2010). Neste caso, a adoção do perfil do terreno otimista é feito sem a caracterização de todas as situações representativas do subsolo, como a localização das

camadas menos resistentes ou compressíveis, nível freático. Em certos casos o perfil do subsolo é caracterizado apenas por três perfis de sondagem.

Logeais (1982), no seu estudo sobre os problemas nas fundações em França, conclui que em mais de 80% dos casos onde se verifica um mau desempenho das fundações em obras de pequeno e médio porte, deve-se à total ausência de investigação do subsolo e como consequência, a adoção de soluções estruturais inadequadas ao solo onde vão ser implantadas, na Tabela 2.1 apresenta os principais problemas decorrentes da ausência de investigação.

2.1.2. Investigação insuficiente

Muitas vezes a investigação efetuada ao solo pode se mostrar inadequada ou insuficiente para a determinação das características essenciais para a conceção do projeto e execução das fundações. Dentro deste tópico pode-se destacar os casos mais típicos de investigação insuficiente:

- Número insuficiente de sondagens ou ensaios para áreas extensas ou para subsolos variados.

Pode-se considerar o seguinte exemplo, que se refere ao número insuficiente de sondagens. Considere o seguinte terreno na Figura 2.1, como se pode observar, existe uma área em que não foi executado qualquer tipo de sondagem (Carvalho, 2010).

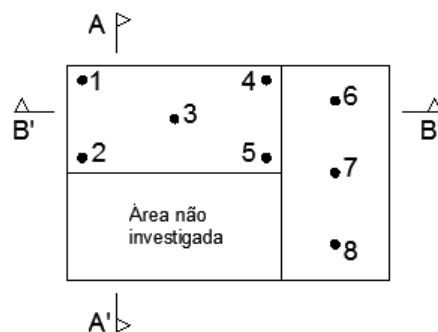


Figura 2.1 - Exemplo da distribuição inadequada das sondagens numa dada área de construção (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

Através do corte BB' (Figura 2.2) conclui-se que o terreno apresenta camadas com espessura regular ao longo do terreno.

Tabela 2.1 - Problemas típicos decorrentes da ausência de investigação (Schnaid *et al.*, 2005 in Carvalho, 2010)

Tipo de Fundação	Problemas típicos decorrentes
Fundações Superficiais	Tensões no solo excessivas, incompatíveis com as características reais do solo, resultando em assentamentos inadmissíveis ou rutura;
	Fundações em solos/aterros heterogêneos, provocando assentamentos diferenciais;
	Fundações em solos compressíveis sem estudos sobre os possíveis assentamentos, resultando em grandes deformações;
	Fundações apoiadas em materiais de comportamentos muito diferentes, sem junta, o que origina assentamentos diferenciais;
	Fundações apoiadas numa camada dura que esta sobreposta sobre solos moles, sem análise de assentamentos, ocasionando rutura ou grandes deslocamentos das fundações;
Fundações Profundas	Estacas inadequadas ao tipo de subsolo, geometria inadequada, comprimento ou diâmetro inferiores aos necessários;
	Estacas apoiadas em camadas resistentes sobre solos moles, com assentamentos inaceitáveis;
	Ocorrência de atrito negativo não previsto, reduzindo a carga admissível adotada para a estaca.

Pelo corte AA' (Figura 2.3) observa-se que a área que não foi alvo de investigação é uma área onde a camada firme do subsolo se encontra muito abaixo em relação às sondagens 1 e 2 e como as fundações são projetadas tendo em conta os dados resultantes das sondagens, logo poderá surgir graves problemas durante e após a implantação das sapatas na zona onde não foram executados estudos geotécnicos ao solo uma vez que a camada resistente encontra-se mais abaixo.

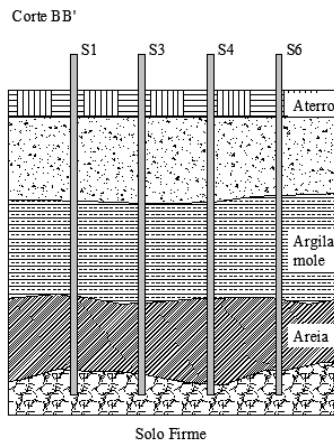


Figura 2.2 - Corte BB' do terreno (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

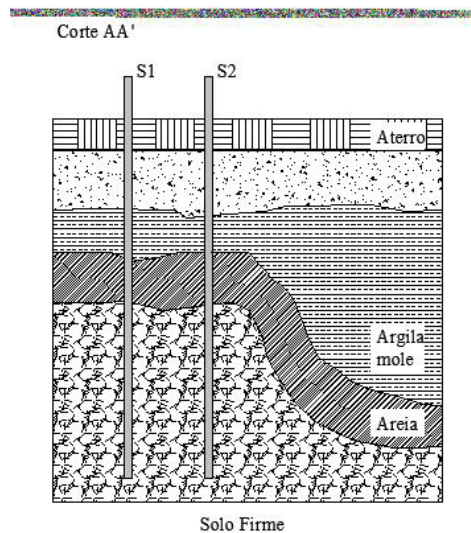


Figura 2.3 - Corte AA' do terreno (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

- Profundidade de investigação insuficiente, os ensaios e testes são feitos relativamente perto da superfície, mas o solo pode variar as suas características e propriedades na medida em que vai sendo aprofundado.

Na Figura 2.4 pode-se observar, a título de exemplo, que foram efetuadas sondagens ao solo, mas a profundidade de observação é insuficiente em relação à profundidade atingida pelo carregamento da sapata que vai ser implantada, a sondagem atinge uma camada de areia medianamente compactada, mas abaixo dela encontra-se outra camada de argila mole, isto poderá trazer problemas futuros de assentamentos graves da estrutura.

- Propriedades de comportamento não determinadas por necessitar de ensaios especiais, por exemplo, a determinação da expansibilidade dos solos;
- Situações com grande variação das propriedades, ocorrência de anomalias no terreno não identificado.

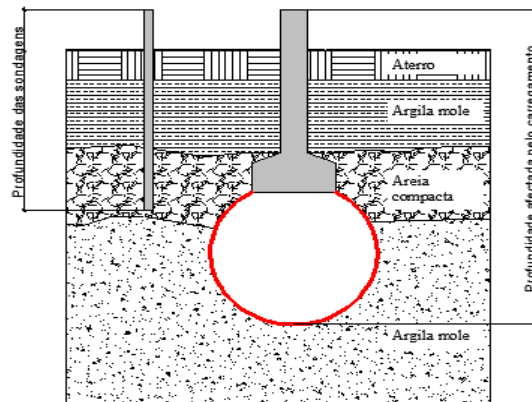


Figura 2.4 - Exemplo investigação do subsolo a uma profundidade insuficiente em relação à área afetada pela implantação da sapata (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

2.1.3. Investigação com falhas

Durante a caracterização geológica geotécnica dos solos, por vezes podem surgir erros que afetam os resultados e comprometem o bom funcionamento estrutural da edificação.

Na realização das sondagens é relativamente comum, erros na localização da obra, quando são executadas sondagens em locais fora do perímetro de obra e que não apresentam informações importantes para o projeto, erros de localização incompleta, quando não é definido o local exato da obra e ao fazer o estudo do subsolo poderão ficar zonas por investigar. Outros erros comuns nas sondagens são a adoção de procedimentos indevidos ou ensaios não padronizados, uso de equipamento defeituoso ou fora de validade, equipamento não calibrado, falta de nivelamento dos furos efetuados, má descrição dos solos, entre outros. Neste contexto também se pode integrar os procedimentos fraudulentos na geração de resultados, por exemplo, alterações nos resultados, furos de sondagens não realizados, no entanto são apresentados os resultados dos mesmos, entre outros (Schnaid *et al.*, 2005).

Este tipo de falhas origina problemas durante a execução das fundações devido à diferença entre os resultados obtidos nas sondagens e a realidade observada durante a execução. Os problemas mais comuns são os comprimentos de estacas diferentes dos projetados, presença de rochas em oposição, presença ou ausência de água no subsolo, tipos de solos e espessuras de camadas não descritas nas sondagens, entre outros.

Por exemplo, no caso de execução de sondagens mistas, sondagem rotativa em rocha e sondagem à percussão em solo mais brandos, é comum utilizar equipamento rotativo nas camadas mais duras, mas por vezes, ao passar para uma camada mais mole, o equipamento não é alterado e continuam a ser feitas sondagens rotativas, o que é errado porque nas camadas mais frágeis ou brandas deverá ser executado sondagens à percussão para possibilitar a identificação da sua resistência e natureza (Carvalho, 2010).

Um dos problemas na realização dos ensaios de laboratório é refletir os resultados obtidos no campo, isto é, os resultados alcançados nos ensaios de laboratório devem representar as condições que são encontradas no terreno.

A representação inadequada do comportamento do solo ocorre quando são usadas correlações empíricas ou semi-empíricas que não são aplicáveis no tipo de solo em questão. Isto acontece devido à determinação de tensões admissíveis do solo com base em ensaios *in situ* para grandes áreas ou pela extrapolação da correlação de materiais com comportamentos distintos.

Dois exemplos típicos deste tipo de erro:

- Estimativa da resistência ao corte em condições não drenadas de depósitos de argila mole através de ensaios SPT, cujos valores de penetração podem ser iguais ou próximos de zero, ou seja, os valores obtidos de penetração não podem nem devem ser utilizados na previsão da magnitude da resistência ao corte;
- Extrapolação da penetração de rochas alteradas para posterior estimativa da tensão admissível ou resistência de ponta no caso de fundações profundas.

2.1.4. Interpretação inadequado dos dados

A adoção de valores que não representam a realidade dos resultados ou ausência da interpretação dos problemas podem resultar no desempenho inadequado das fundações, por exemplo: presença de rochas no subsolo que faz aumentar os valores de resistência à penetração, mas que não aumenta a resistência do solo; valores muito baixos em argilas saturadas indicam a possibilidade de ocorrência de atrito negativo em estacas; solos que tornam-se instáveis na presença de água, por exemplo, os solos porosos tropicais com valores baixos no ensaio (NSPT) indicam a possibilidade de instabilidade quando saturados (Milititsky *et al.*, 1986).

É de realçar que nas obras de maior dimensão e complexidade deve-se fazer o cruzamento entre os dados obtidos no campo e os dados obtidos no laboratório para fazer uma comparação de dados e diminuir as probabilidades de ocorrência de erros na interpretação dos resultados (Carvalho, 2010).

2.1.5. Casos especiais

Nos itens anteriores referiram-se várias situações que podem levar a patologias nas edificações, no entanto nem sempre estas são fáceis de identificar e solucionar tais como: influência da vegetação nas fundações, solos expansivos, materiais cársicos, regiões de mineração, colapso do solo devido á extração de água ou combustíveis fósseis entre outros, que podem resultar em patologia de difícil reparação e elevados custos acrescidos (Palmar, 1997).

2.1.5.1. Influência da vegetação

As raízes da própria vegetação têm a propriedade de extrair água do solo para garantir a sua sobrevivência. Em consequência, a humidade do solo é alterada de forma significativa, em comparação com a humidade que teria se não existissem tais raízes; esta alteração da humidade dos solos causa, por sua vez, alterações no volume do solo em relação inversa com a sua permeabilidade, facto pelo qual os solos de origem argilosa são os mais afetados. Assim, as fundações apoiadas sobre os solos afetados sofrem movimentos que podem ser verticais ou, eventualmente, horizontais (Palmar, 1997).

Sistema de raízes: as árvores, dependendo do tipo de espécie, estendem uma rede de raízes primárias e secundárias até à quarta ordem, são estas raízes que estão encarregadas de extrair a água e os nutrientes do solo.

Profundidade das raízes: a profundidade das raízes varia de acordo com a espécie em causa, o tamanho da árvore e a profundidade do nível freático. Estas desenvolvem-se entre a superfície e a posição do nível freático, geralmente, não ultrapassando os 6 m de profundidade, nos casos em que a água é abundante, as raízes são superficiais, no caso de escassez, as raízes atingem estratos mais profundos, as raízes podem crescer até 20 mm por dia em busca de água e nutrientes.

Extensão das raízes: as raízes estendem-se lateralmente de forma a reproduzir a sombra da sua folhagem, não um critério padrão, visto que varia de espécie para espécie, algumas

estendem-se até uma vez e meia a altura da árvore, outras prolongam-se até uma vez e meia o diâmetro atingido pela folhagem (Carvalho, 2010).

A presença da vegetação pode trazer alguns benefícios próximas das construções e em taludes contudo por vezes leva a outros inconvenientes:

- Assentamentos: produzidos pelas árvores individualmente ou em conjunto, reduzindo o teor de humidade, o que em solos argilosos pode provocar a redução do volume e, consequentemente, assentamentos estruturais (Figura 2.5-A);
- Levantamento: no caso de existir um sistema equilibrado solo-vegetação, que ao ser subitamente retirada a vegetação, com o aumento do teor de humidade provoca um aumento do volume do solo que acaba por mover a estrutura (Figura 2.5-B);

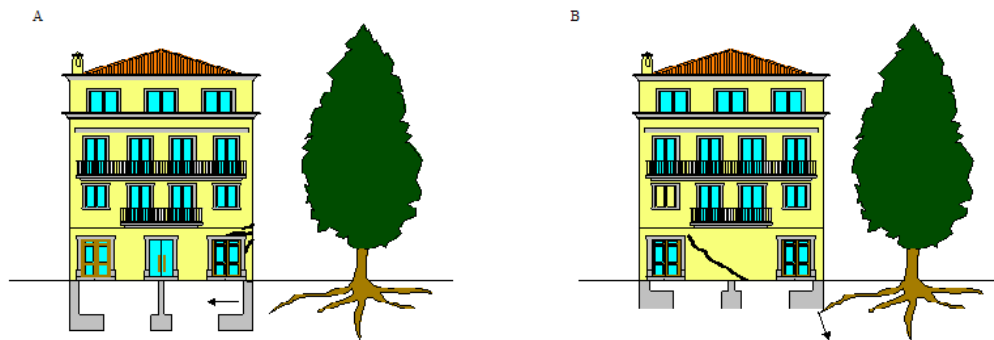


Figura 2.5 -A) as raízes exercem força sobre a estrutura, B) ação das raízes altera o teor de humidade e provoca movimentos no solo (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

Algumas medidas preventivas no caso da vegetação:

- Controlo de espécies agressivas e substituição das árvores que podem causar problemas nas edificações, pavimentos, redes de águas e esgotos;
- Poda contínua das árvores para manter a folhagem num tamanho adequado ao espaço disponível;
- Corte moderado das raízes das árvores que invadem os pavimentos, redes de águas e esgotos;
- Distribuição moderada de água, especialmente em estações mais seca, de forma a não criar desequilíbrios no sistema solo-vegetação.

2.1.5.2. Colapsibilidade

Durán (1992) define os solos colapsáveis como solos não saturados nos quais se produz um rearranjo das partículas e uma grande perda de volume por ação da humidade com ou sem cargas, este tipo de solos dificulta a implantação de edificações. Os solos colapsáveis são formados, geralmente, por depósitos de areia e silte, podem ser eólicos, depósitos aluvionares, solos residuais e tufos vulcânicos. A maioria destes solos é caracterizada por estruturas soltas de grãos do tamanho da areia e silte.

Barden (1973) atenção que este paragrafo tinha desaparecido define de uma forma geral, os solos colapsáveis são definidos como sendo aquele tipo de solo de estrutura com alta porosidade ou índice de vazios acima de 40%, composto basicamente de areia e silte, com ligações entre grãos formadas comumente por argilas. Os solos colapsáveis são solos não saturados, quando são submetidos ao aumento do tensão e/ou teor de humidade sofrem um rearranjo brusco das partículas e, conseqüentemente, redução do seu volume, devido à infiltração de água no solo sob carga fazendo com que sejam decompostas as ligações naturais entre os grãos diminuindo a resistência e provocando o colapso do solo depósitos aluvionares, solos residuais e tufos vulcânicos;

Teixeira (2006) acrescenta que existem solos não saturados que sofrem uma variação significativa do seu volume ao ser acrescentado água, independentemente de haver ou não um aumento de carga, essa variação no volume pode ser de aumento (expansão) ou de redução (colapso).

Alguns comportamentos dos solos colapsáveis (Sultan,1971):

- Alguns solos colapsáveis ao aumentar o grau de humidade sofrem colapso instantâneo, isto pode ser verificado em formações superficiais e formações profundas;
- Alguns solos podem sofrer o colapso após o rebaixamento do nível freático, ao ser retirada água do solo;
- Alguns solos sofrem expansão após saturação, quando aplicadas cargas externas, estes sofrem assentamentos substanciais, devido a presença de materiais altamente expansivos (ricos em montmorilonite);
- Alguns solos arenosos não recuperam a porção de volume perdido durante o colapso;
- Alguns solos argilosos recuperam parte do volume perdido durante o colapso, mesmo que ainda se encontrem sob a ação da carga que provocou o colapso.

Os danos que decorrem destas variações volumétricas podem ser evidenciados por fissuras nas construções, ruptura de aterros, deslizamento de taludes, danos estruturais de pavimentos, deslizamento de túneis, deformação excessiva do maciço compactado, colapso diferenciado

nas fundações, entre outros. A identificação de solos colapsíveis é de extrema importância para o desenvolvimento de projetos geotécnicos e ambientais, seguros e otimizados (Figura 2.6).

Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010) acrescenta que a ocorrência de acidentes de maiores proporções por colapso da estrutura do solo está normalmente associada a vazamentos de água de canalizações pluviais ou redes de esgotos, reservatórios, piscinas, neste tipo de situações a água é libertada no terreno em grande quantidade, ocasionando variações no teor de humidade e originando o colapso do solo (Carvalho, 2010).



Figuras 2.6 - Exemplos de danos provocados devido à variação volumétrica do solo (Carvalho, 2010)

2.1.5.3. Compressibilidade do solo

Sempre que se analisa determinado solo, deve-se fazer o estudo da compressibilidade, sendo este, um fator muito importante de modo a avaliar os assentamentos das fundações.

Quando se aplicam cargas nos solos estes têm deformações devido a três causas principais (Braja Das, 1994):

- Recolocação das partículas do solo com um rearranjo da sua estrutura (Assentamento instantâneo);
- Compressão dos espaços vazios do solo, com a consequente expulsão da água, no caso de solo saturado (assentamento primário);
- Compressão das partículas sólidas, com deformação das mesmas (assentamento secundário).

O efeito da compressibilidade dos solos resulta em assentamentos das fundações, ou seja, a deformação vertical de uma superfície no terreno.

Define-se compressibilidade do solo, como sendo a diminuição do volume do maciço sob a ação de cargas aplicadas, sendo os seus principais mecanismos a deformação do esqueleto do

solo, quebra de grãos e deslocamento relativo do solo. Em solos saturados a variação de volume está diretamente relacionado com a drenagem da água, sendo este fluxo governado pela lei de Darcy. O assentamento considera-se como sendo das causas mais encontradas nos problemas das fundações trazendo consequências que podem variar, desde fissuras simples, até mesmo à ruína da estrutura (Caputo, 1978).

No dimensionamento de fundações, a avaliação das deformações dos maciços (como uma consequência de ações que recebem da estrutura) devem ser bem analisadas de modo a que as deformações dos terrenos sejam compatíveis com as da estrutura, tanto em relação à segurança como em relação às exigências funcionais e estéticas (Ferreira Gomes, 2001).

Assim, em termos percentuais os problemas relacionados com as patologias em edifícios são organizados de acordo com o seguinte (Ferreira Gomes, 2001):

1. Cerca de 25 % dos problemas são devidos a assentamentos de aterros mal compactados, portanto impróprios para a construção. Este tipo de situação é muito vulgar na cidade da Covilhã, e noutras cidades de montanha, na sequência do nivelamento de terrenos, que conduzem a grandes espessuras de aterros e levam a situações como a que se observa na Figura 2.7, onde se apresenta o caso de uma estrutura com uma parte fundada sobre um aterro e outra sobre o solo natural escavado. Tal situação conduz geralmente a graves danos estruturais, dado que mesmo que o aterro seja controlado e bem compactado, surgem deformações do aterro e do solo de fundação, que no seu conjunto, originam por vezes assentamentos diferenciais apreciáveis. Geralmente a qualidade dos materiais dos aterros não é controlada, sendo constituídos nalguns casos por todo o tipo de materiais (lixo, pneus, resíduos industriais, entre outros), originando grandes deformações. Situações particulares têm-se encontrado em aterros de solos residuais graníticos, que mesmo bem compactados, sofrem apreciáveis deformações quando ficam saturados, e a situação ainda se agrava quando são atravessados por apreciáveis fluxos de água subterrânea em movimento;

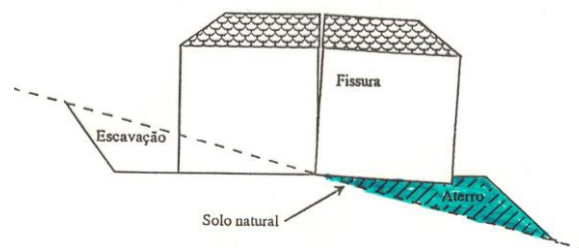


Figura 2.7 - Estrutura com uma parte fundada sobre um aterro e outra sobre o solo natural (Ferreira Gomes, 2001)

2. Cerca de 20% é o resultado de assentamentos diferenciais, provocados por heterogeneidades, que podem ser devidas às condições geotécnicas (variação de espessura de estratos) ou ao nível de cargas transmitidas às fundações;
3. Cerca de 10% dos danos, resultam da presença de solos altamente compressíveis que levam à ocorrência de grandes deformações e que não são compatíveis com o edifício;
4. Cerca de 10% devido à construção de obras junto de edifícios já existentes induzindo deformações diferenciais no solo de fundação do edifício existente;
5. Cerca de 20% dos danos são resultantes da redução das propriedades do solo devido à saturação; a saturação dos terrenos provoca incremento das tensões neutras e consequente diminuição das tensões efetivas, com a consequente redução da capacidade carga, aumentando o risco de rutura pela fundação;
6. Os restantes 15% são atribuídos a várias causas: insuficiente profundidade das fundações, subsidência geral (minas), rutura de taludes, instabilidade de estrutura de contenção.

Se se somarem as percentagens dos vários problemas ligados a assentamentos no ponto 1 a 6, que dá no total 65%, verifica-se a importância dos assentamentos na Engenharia de Fundações, entendendo-se porque é então comum dizer-se:

A Engenharia de Fundações pode assim, ser definida como a arte de aplicar economicamente cargas estruturais ao terreno, de modo a evitar deformações excessivas (Ferreira Gomes, 2004).

2.1.5.4. Rutura por cisalhamento

A rutura por cisalhamento ocorre quando se atinge a tensão máxima suportada pelo solo devido ao atrito e à coesão entre as partículas.

O tipo de rutura de uma estrutura devido à rutura por cisalhamento do solo argiloso subjacente a ela, mostrado na figura 2.8, não é um caso raro, o mesmo autor refere ainda que obteve fotografias de quatro outros casos semelhantes com uma característica comum: todas as estruturas eram constituídas de grandes silos ou depósitos construídos sobre solos coesivos e plásticos. Contudo, em nenhum destes casos existiam dados numéricos sobre a resistência ao corte da argila subjacente (Tschebotarioff, 1978).

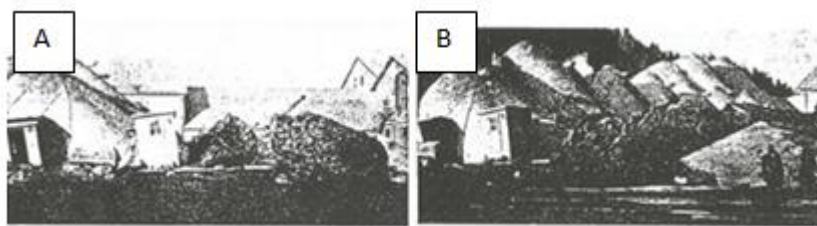


Figura 2.8 A e B - Ruína de silos em betão armado devido à rutura por cisalhamento do solo argiloso sob a fundação (Tschebotarioff, 1978)

2.1.5.5. Expansibilidade

A presença de solos expansivos, em obras de engenharia, pode causar sérios danos nas edificações quando não é analisada de forma adequada nas fases de projeto e de construção. Nos solos expansivos, uma das principais características morfológicas é a sua capacidade de contrair e fissurar com a secagem, com o humedecimento e com a expansão (Ferreira, 2010).

A edificação de obras de engenharia em solos que apresentam instabilidade volumétrica quando humidificados, pode causar sérios problemas. Em solos expansivos em campo, observam-se fissuras ou fendas características, nas estações secas, observam-se fissuras diagonais em baixo das janelas e acima das portas das edificações, ondulações e ruturas nos pavimentos, fissuras generalizadas longitudinais e transversais, entre outros (Ferreira, 2010).

Definem-se solos expansivos como sendo solos não saturados que sofrem uma considerável variação volumétrica quando sujeitos a variações do teor de humidade. Portanto, o seu comportamento é variável. Durante períodos de seca, encontram-se geralmente com retração elevada, o que lhes confere resistência relativamente alta, dificultando a sua escavação. Durante o período de aumento do teor de humidade (períodos chuvosos, infiltração de água decorrente de vazamentos, entre outros), esses solos podem experimentar valores de expansão bastante expressivos (Cavalcante *et al.*, 2006).

A expansão de um solo de fundação é capaz de provocar danos estruturais às edificações sobre ele apoiado, principalmente as mais leves, com custos de recuperação geralmente elevados (Figura 2.9). A compreensão dos fatores que levam à expansividade destes solos é de grande importância a fim de se tomar medidas que minimizem a ação ou anule os efeitos negativos (Carvalho, 2010).

Da Silva (2003) acrescenta que um solo expansivo ou potencialmente expansivo aos solos não saturados, quando sujeitos a alterações do teor de humidade varia o seu volume (aumenta ou diminui), sendo este fenómeno associado a presença de minerais argilosos.

Os fatores que influenciam a expansão dos solos podem ser de dois tipos, intrínsecos ou extrínsecos. Os intrínsecos estão relacionados com o solo, estrutura do solo, composição mineralógica, textura, entre outros. Os fatores extrínsecos estão relacionados com causas externas como o clima, hidrologia, vegetação, entre outros (Carvalho, 2010).



Figura 2.9 - Rutura de um pórtico causada por expansão de solos - Município de Poço Verde (Cavalcante *et al.*, 2006)



Figura 2.10 - Inclinação de pilares devido a expansão do solo de fundação - Município de Santo Amaro (Cavalcante *et al.*, 2006)

O controlo dos solos expansíveis não é simples, uma vez que não é fácil controlar as infiltrações de água. Carvalho (2010) define três tipos de medidas para controlar o fenómeno da expansibilidade:

- Isolar a estrutura dos solos expansivos através de materiais indeformáveis que são sujeitos às forças de expansão que os comprimem, mas estas forças não são transmitidas à estrutura, esta solução minimiza os efeitos da expansão, mas não os elimina por completo, por isso esta medida deverá ser acompanhada por outras soluções da engenharia;
- Equilibrar as forças de expansão, através de aterros de material inerte sobre o solo, o peso da camada de aterro equilibra as forças de expansão;
- Eliminar os efeitos da expansibilidade através de agentes alcalinos, como a cal, que neutralizam os efeitos da expansão.

Em algumas regiões onde ocorrem temporais sazonais muito intensos, como por exemplo na Birmânia, alguns solos argilosos expandem-se durante a estação chuvosa. Este facto ocorre preferencialmente na envolvente dos edifícios, visto que as paredes externas são suscetíveis à ocorrência de deformações excessivas levando a graves fissuramentos. Por isto, aumentam as pressões no terreno sob estas paredes, até ao limite compatível com a segurança contra a rutura por cisalhamento; contudo, este facto é apenas uma solução parcial, uma vez que as pressões de expansão de algumas argilas são extremamente elevadas. Entre outras medidas possíveis, pode-se tentar afastar a água das paredes externas mediante taludes adequados, ou pela colocação de revestimento impermeabilizante na superfície do solo e outras medidas análogas. Em casos de grandes edifícios empregam-se, às vezes, caixões que penetram através da camada ativa (expansiva) da argila, assentando-se com base alargada na zona inativa, convenientemente armados para resistir aos esforços de tração.

O padrão de inclinação do fissuramento das paredes que decorre desses levantamentos é semelhante ao que segue os assentamentos maiores no centro, devido ao adensamento normal das camadas mais profundas.

Uma situação inversa pode surgir em regiões de chuvas moderadas, quando o centro do edifício, apoiado numa argila quando esta se expandir, pode sofrer um levantamento durante épocas de chuva. Existem duas explicações possíveis para este fenómeno: a primeira está ilustrada na figura 2.11.

Os estudos teóricos e experimentais no campo da física dos solos indicam que a humidade tem uma tendência para migrar das zonas mais quentes para as zonas mais frias, fenómeno conhecido como termosose (Tschebotarioff, 1978).

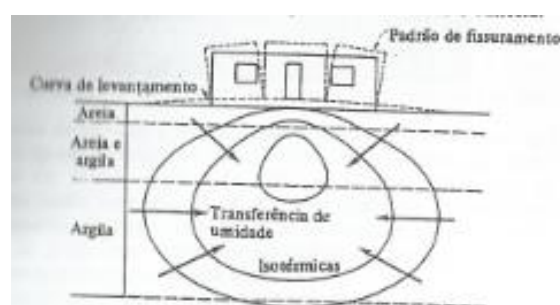


Figura 2.11 - Representação esquemática do levantamento de um edifício apoiado em argila ressequida (Tschebotarioff, 1978)

Nos climas quentes, a sombra produzida na superfície do solo pelo edifício arrefece as camadas abaixo dessa área, resultando na migração dessa água, empolando a argila seca e levantando a superfície do solo sob o edifício (Tschebotarioff, 1978).

Uma outra explicação para o facto é a de que um edifício apoiado diretamente na superfície do terreno impede a evaporação normal das camadas abaixo dele, especialmente se os seus pisos ladrilhados estiverem encerados, sem respiração ou arejamento das lajes (Figura 2.12).

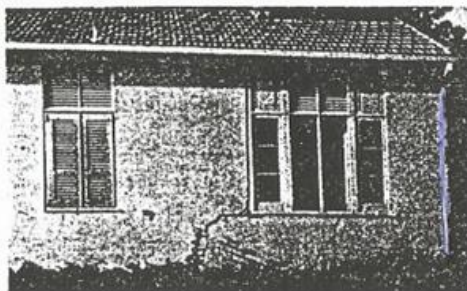


Figura 2.12 - Imagens sobre o aparecimento de fissuras nas paredes da uma casa devido a fenómenos de expansão (Tschebotarioff, 1978)

Este caso é ilustrativo dos graves fissuramentos que ocorrem em diversas casas situadas nas minas de níquel em Nícaro, na província oriental de Cuba. As casas foram construídas em sapatas isoladas apoiadas num manto de argila superficial, cujo mineral predominante era a montmorilonite, que possui alto poder de absorção e aumento do volume. Os índices de plasticidade dessa argila variam de $I_p=40\%$ até $I_p=50\%$ ($LL=70\%$ a 90% ; $LP=20\%$ a 30%). No lado exterior do edifício o teor de humidade natural estava exatamente acima do limite plástico. O manto de argila apoiava-se sobre uma rocha alterada, calcário e marga, conhecido no local como “coco”. A sua superfície era bastante irregular, possuindo algumas cavidades e erosões profundas preenchidas com argila (Tschebotarioff, 1978).

As paredes de algumas casas do mesmo tipo, construídas posteriormente, foram reforçadas com cintagem de betão armado, colocadas na altura das padieiras e peitoris das janelas. Alguns pisos sofreram um levantamento de até 7,6 cm no centro, porém não se observa o aparecimento de fissuras nas paredes reforçadas.

Portanto, é sempre aconselhável a colocação de uma cintagem para reforçar as paredes de casas construídas sobre argilas expansivas.

As argilas de alta plasticidade, com $LL > 50\%$ e teor de humidade natural próximo ao limite de plasticidade, estão particularmente sujeitos a expandirem-se durante os períodos chuvosos. Nas regiões semiáridas dos Estados Unidos esta situação verifica-se em algumas zonas do Texas (Tschebotarioff, 1978).

2.1.5.6. Subsidiência

A subsidiência é um fenómeno de rebaixamento da superfície do terreno devido a alterações ocorridas nas camadas subterrâneas subjacentes, ou seja, redução do nível do terreno devido à remoção de suporte subterrâneo. As causas mais comuns de ocorrência de subsidiência estão relacionadas com as intervenções humanas devido ao uso indiscriminado dos recursos naturais, com realização de galerias no sentido de explorar os mesmos.

O fenómeno da subsidiência pode classificar-se de acordo com a sua origem; a partir de dados recolhidos ao longo de duas décadas de estudos, segundo Carvalho (2010), este fenómeno pode ter origem endógena ou exógena (Figura 2.13).

As subsidiências de origem endógena são causadas por processos originários do planeta, por exemplo, falhas geológicas, vulcanismo, movimento de placas, entre outros; as subsidiências de origem exógena são causadas por processos que tem origem perto da superfície terrestre, por exemplo, remoção do suporte, enfraquecimento do suporte ou aumento das cargas (Carvalho, 2010).

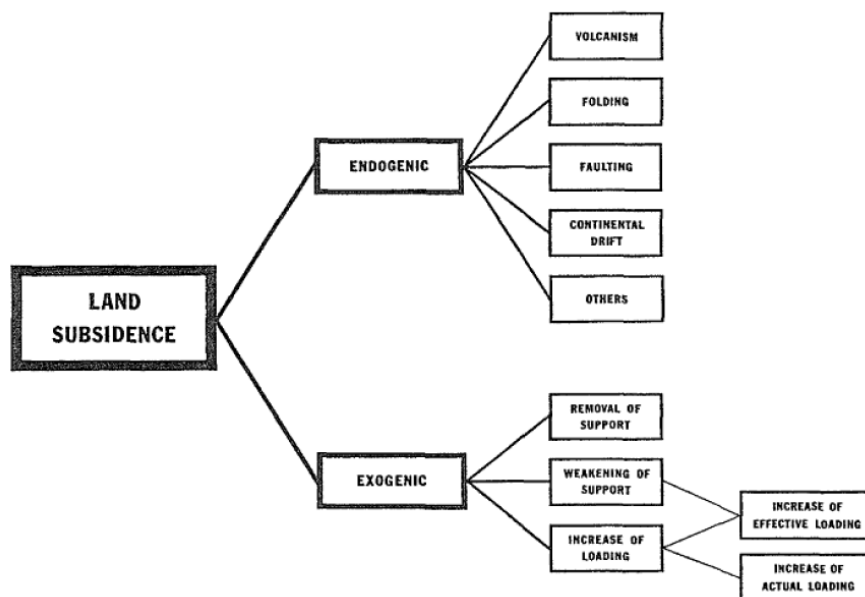


Figura 2.13 - Classificação da subsidiência de acordo com a origem (Prokopovich,1986 in Carvalho, 2010)

O fenómeno da subsidiência do solo, do ponto de vista do mecanismo causador, pode organizar-se em cinco grupos:

- i. Devido à hidrocompactação que compreende um fenómeno de saturação rápida em depósitos finos não saturados e mal compactados. Nesses materiais, ocorre um

rearranjo das partículas do solo devido à presença de água. O solo, então perde a sua capacidade de suporte resultando numa consolidação devido ao seu peso próprio. É um processo que pode atingir alguns metros de profundidade, comum em ambientes desérticos e em regiões semiáridas. Normalmente é provocada por atividades humanas como irrigação, construção de pequenos reservatórios artificiais de água, construção de canais, entre outros;

- ii. Devido à dissolução de rochas e sais, é o processo do meio físico que consiste na dissolução de rochas pelas águas subterrâneas e superficiais, que resulta no processo de formação de cavernas subterrâneas. É um processo comum de dissolução de rochas calcárias ou carbonatadas (calcário, dolomito, mármore), evaporativas (halita, anidrita) e, menos comumente, rochas de silicatos (granito, quartzito);
- iii. Devido à extração de água subterrânea, em aquíferos sedimentares porosos: resultante do bombeamento do fluido que reduz a pressão dos poros os quais ajudam a suportar as camadas sobrejacentes de solo. Essa redução de pressão dos poros é consequência do rebaixamento do nível da água e aumento de tensão vertical efetiva nos solos;
- iv. Devido à extração de petróleo ou gás, ocorre quase da mesma forma que o fenômeno relacionado com a extração de água. A pressão dos poros é reduzida pela extração de fluidos, à medida que a carga da rocha sobrejacente é gradualmente transferida às rochas do reservatório, produzindo sua compactação. O colapso diferencial é o efeito superficial mais comum associado a esse processo e tem origem praticamente no centro da área de produção, tal como acontece com um poço profundo;
- v. Devido à atividade mineira, ocorre devido ao colapso de materiais rochosos consolidados e/ou não consolidados, dentro das galerias subterrâneas. Por ser consequência da retirada do suporte subterrâneo em grandes proporções, a componente vertical do rebaixamento do solo é proporcional à altura da área de extração (Figura 2.14). O fenômeno não está relacionado a um tipo específico de solo, mas sim à presença de água, seja em forma de circulação ou pela flutuação do seu nível, em localidades de escavação de minas (Carvalho, 2010).

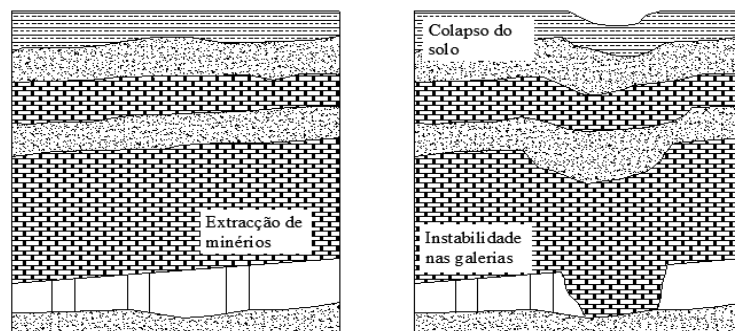


Figura 2.14 - Exemplo de colapso do solo devido aos trabalhos de mineração (Schnaid *et al.*, 2005, in Carvalho, 2010)

Um exemplo deste fenómeno foi o que aconteceu na Nova Zelândia no dia 13 de Dezembro de 2001, quando se formou uma subsidência com cerca de 40 metros de diâmetro que surgiu num quarteirão do distrito de *Hauraki*, uma pequena moradia ficou em ruínas e mais duas moradias vizinhas ficaram com grandes problemas estruturais (Figura 2.15). A razão do acidente deveu-se aos trabalhos executados na mina de ouro nessa região.



Figura 2.15 - Pode-se observar os efeitos da subsidência do solo devido aos trabalhos realizados numa mina (Eco denúncia, 2006, *in* Carvalho, 2010)

No projeto de estruturas em áreas de mineração, o primeiro problema a ser enfrentado é a identificação precisa dos túneis ou galerias de mineração enterradas, não só no que se refere à posição, como também à profundidade. Quando existentes, as plantas das minerações são imprecisas e servem geralmente como indicação preliminar para direcionar as investigações, não devendo ser consideradas fiáveis para a tomada de decisões importantes. A topografia utilizada na localização das galerias e túneis, geralmente, apresenta dificuldades evidentes na transferência das coordenadas da profundidade da mina para a superfície, outro facto é que na época da implantação das minas, geralmente, não existia a malha urbana no local e as alterações não registadas nos processos de extração e sua geometria fazem com que os registos não informem com segurança a verdadeira posição e condições das escavações realizadas. Assim, é importante, na etapa de projeto, realizar uma investigação detalhada das possíveis ocorrências na área por meio de sondagens geofísicas, para direcionar a amostragem até a profundidade adequada de investigação (Schnaid *et al.*, 2005)

2.1.5.7. Zonas cársticas

O fenómeno da carsificação como o processo físico que consiste na dissolução de rochas pelas águas subterrâneas e superficiais, que resulta no processo de formação de cavernas subterrâneas. A carsificação é o processo comum de dissolução de rochas calcárias ou carbonatadas, como: calcário, dolomito e mármore.

Neste contexto, os colapsos do solo e rocha e as subsidências, são decorrentes do estágio de evolução do modelado cárstico e do grau de dissolução da rocha, ligados à evolução de cavidades no subsolo que podem trazer riscos e prejuízos económicos e até mesmo perdas de vidas humanas, quando estas áreas são ocupadas (Carvalho, 2010).

Define-se o fenómeno cárstico como o conjunto de transformações que ocorrem numa região de rochas carbonatadas como consequência da circulação da água. Estas transformações são o que distingue o meio cárstico dos demais meios aquíferos e é o resultado da procura natural do equilíbrio químico entre a água e as rochas carbonatadas. Neste processo de transformação a água é o elemento ativo transitório e as rochas carbonatadas são o passivo permanente. Quando cessa a atividade da água, os fenómenos cársticos deixam de ocorrer e as rochas carbonatadas permanecem passivas e sujeitas a novas ações do elemento água. Estes fatores são variáveis ou cíclicos, o que provoca uma intermitência na circulação hídrica através das rochas e, conseqüentemente, uma ação descontínua nas transformações do meio cárstico

Acrescenta-se mais uma característica deste tipo de formações que é a ocorrência de camadas rochosas superficiais compostas de sedimentos não solúveis e solos residuais, escondendo cavidades abaixo das mesmas e dando aos projetistas de fundações uma falsa impressão de segurança. A Figura 2.16 mostra o esquema do colapso de uma fina camada de rocha calcária e, conseqüentemente, a subsidência do solo por cima da camada de calcário (Carvalho, 2010).

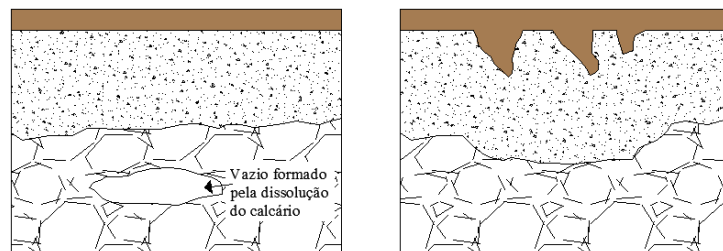


Figura 2.16 - Exemplo de subsidência devido a dissolução da camada de calcário (modificado de Schnaid *et al*, 2005, in Carvalho, 2010)

Rodrigues dos Santos (2002) cita exemplos de desastres ocorridos devido à ação da carsificação, entre eles o ocorrido a 12 de Agosto de 1986, no bairro Lavrinhas, em Cajamar, município integrante da Região Metropolitana de São Paulo, que foi afetado por fenómenos de colapso e subsidência de grandes proporções, com especial impacto devido ao facto de ocorrerem em plena área urbana. Cerca de 60 dias após os primeiros sinais, na principal área atingida três casas haviam sido engolidas numa cratera com cerca de 30 metros de diâmetro e 15 metros de profundidade (Figura 2.17), enquanto assentamentos e fissuras afetaram

dezenas de outros imóveis até distâncias de 400 metros do local. A Figura 2.18 esquematiza o modelo interpretativo dos fenômenos ocorridos em Cajamar.

Outro caso, deste gênero ocorreu em Março de 1988, no município de Sete Lagoas, Região Metropolitana de Belo Horizonte, um afundamento de cerca de 20 metros de diâmetro e 5 de profundidade engoliu parte das bancadas do Estádio Municipal, muros e paredes de edificações próximas, sendo observados sinais de movimentação em edificações situadas a um raio de 40 metros.



Figuras 2.17 - Imagens das consequências do colapso do solo - Município de Sete Lagoas (Modificado, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" in Carvalho, 2010)

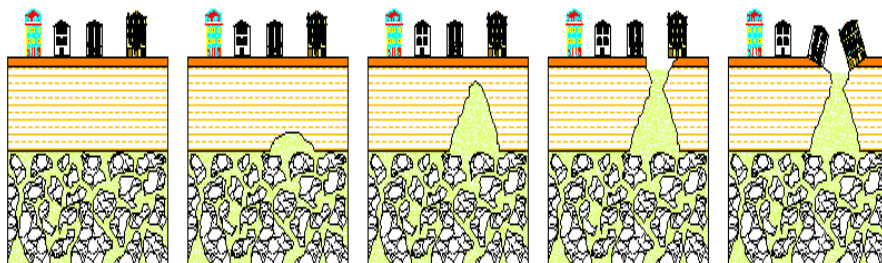


Figura 2.18 - Esquema que explica a origem do colapso do solo em Cajamar devido ao processo de dissolução das camadas abaixo do solo (Modificado, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" in Carvalho, 2010)

Em locais onde existe a possibilidade de ocorrência de rochas calcárias é necessária uma investigação geológica e geotécnica detalhada, para um projeto de fundações seguro e eficaz, incluindo fotografias aéreas para o reconhecimento da região, seguidas de ensaios geofísicos, medidas de condutividade eletromagnéticas e, finalmente, sondagens rotativas (Schnaid, 2005).

2.1.5.8. Ocorrência de blocos de rochas

Freitas Souza (2007), define os blocos de rochas (*boulders*) como grandes blocos rochosos ainda não decompostos, arredondados, de dimensões variáveis. São originados da alteração diferencial da rocha, ou por meio de movimentos de massa que resultam na deposição dos blocos superficialmente ou abaixo dela.

As áreas com presença de blocos de rocha devem receber uma atenção especial. O autor refere ainda alguns problemas condicionados a essa ocorrência:

- Dificultam a terraplenagem, pois são, quando grandes, impossíveis de remover com as máquinas;
- Em escavações, por vezes, exigem equipamentos extras para fragmentação dos blocos, tais como martelo hidráulico, compressores e explosivos;
- Durante a prospeção do solo, leva a pensar que a camada firme foi atingida;
- Quando identificados podem levar a alterações nos projetos em geral.

Schnaid (2005, *in* Carvalho,2010) refere que quando o número de sondagens executadas na fase de investigação é insuficiente, os blocos de rochas podem ser confundidos com uma camada resistente, induzindo a soluções construtivas incompatíveis com o perfil real do solo (Figura 2.19).

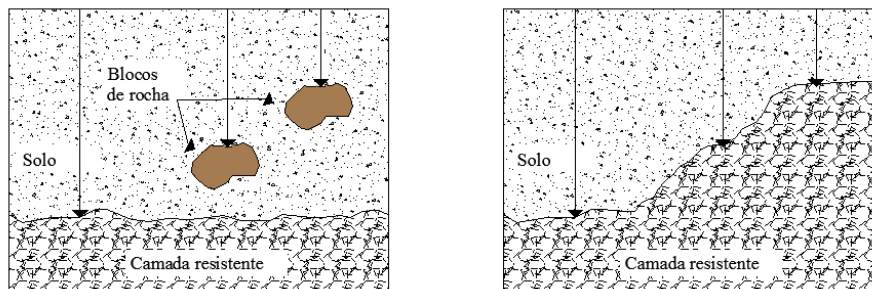


Figura 2.19 - Exemplo de adoção do perfil errado devido ao número insuficiente de sondagens realizadas no estudo do subsolo (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

O mesmo autor refere exemplos de implantações de fundações superficiais ou profundas sobre blocos de rochas, que apesar de ter grandes dimensões, podem ficar instáveis pondo em causa o bom funcionamento da nossa estrutura, por exemplo, durante a execução de fundações diretas, o surgimento de estes blocos de rocha dificulta a sua execução, impedindo que a fundação chegue ao perfil do solo pretendido, como mostra a Figura 2.20, sendo que não se deve apoiar fundações sobre blocos de rocha uma vez que estes podem ser instáveis e com a sobrecarga poderá originar assentamentos da estrutura.

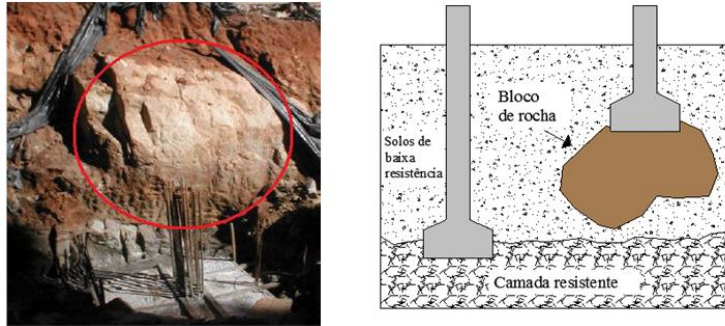
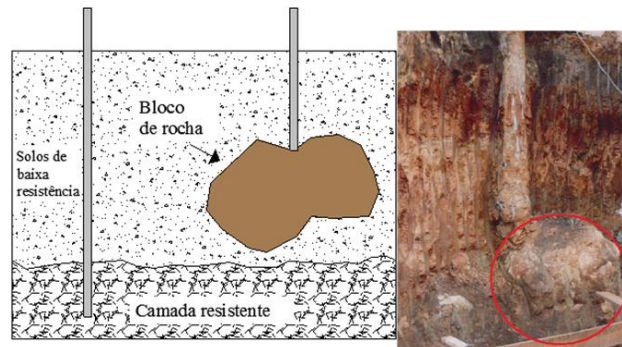


Figura 2.20 - Surgimento de blocos de rocha durante a execução de fundações superficiais (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

Durante a execução de fundações profundas, a presença destes blocos de rocha pode tanto resultar em elementos apoiados de forma não segura, como mostra a Figura 2.21, ou impedir a execução das estacas.



Figuras 2.21 - Blocos de rocha durante a execução de fundações profundas (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

2.2. Análise e Projeto das Fundações

Um projeto de fundações é calculado a partir da determinação das solicitações do projeto e da adoção de um modelo de subsolo que só pode ser adotado através de ensaios de prospecção geotécnica. Todas as informações são interpretadas e é feito o estudo do comportamento do solo sob a ação das cargas e a transmissão dos esforços ao solo.

A determinação dos esforços solicitantes deve definir não só as cargas permanentes e variáveis da estrutura, mas também deve incluir as solicitações referentes ao próprio comportamento do solo (impulsos, atrito negativo, entre outros), porque estas também vão acompanhar a estrutura durante a sua vida útil (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010).

O mesmo autor refere que após a definição de todas as solicitações que atuam na estrutura, o projetista tem de escolher o modo como vão ser transmitidas estas cargas ao solo, verificando sempre a segurança quanto à tensão admissível do solo, este processo é efetuado através do cálculo analítico do comportamento do solo, tensões, deformações e o comportamento do tipo de fundação adotada. Na definição da solução do problema das fundações, consideram-se fatores como adoção de valores típicos para os parâmetros de projeto, uso de soluções adotadas noutros casos semelhantes e correlações empíricas. Uma vez ultrapassada esta fase, o elemento fundação é desenhado estruturalmente, sendo enviado em plantas para o construtor da obra, estas plantas contêm todas as especificações construtivas, características da solução adotada e métodos de execução, assim como as normas aplicáveis (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010).

Antes da realização de um projeto de fundações é necessário definir qual o tipo de fundação a utilizar, pelo que são diversas as variáveis a serem consideradas para a escolha do tipo de fundação. Numa primeira etapa, é preciso analisar os critérios técnicos que condicionam a escolha por um tipo ou outro de fundação. Os principais características a serem consideradas são (Barros, 2011):

Topografia da área:

- Dados sobre taludes e encostas no terreno, ou que possam atingir o terreno;
- Necessidade de efetuar cortes e aterros;
- Dados sobre erosões, ocorrência de solos moles na superfície;
- Presença de obstáculos, como aterros com lixo ou blocos de rocha.

Características do maciço de solo:

- Variabilidade das camadas e a profundidade de cada uma delas;
- Existência de camadas resistentes ou compressíveis;
- Compressibilidade e resistência dos solos;
- A posição do nível freático.

Dados da estrutura:

A arquitetura, o tipo e uso da estrutura, por exemplo, se consiste num edifício, torre ou ponte, e ainda as cargas atuantes.

Realizado este estudo, descartam-se as fundações que oferecem limitações de utilidade para a obra, tendo-se, ainda assim, uma gama de soluções que poderão ser adotadas.

Alguns projetistas de fundação elaboram projetos com diversas soluções, para que o construtor escolha o tipo mais adequado de acordo com o custo, disponibilidade financeira e o prazo desejado.

Desta forma, numa segunda etapa, consideram-se os seguintes fatores (Carvalho, 2010):

- Dados sobre as construções vizinhas;
- O tipo de estrutura e das fundações vizinha;
- Existência de subsolo;
- Possíveis consequências de escavações e vibrações provocadas pela nova obra;
- Danos já existentes.

Nesta fase os problemas decorrentes, segundo Schnaid *et al.* 2005, *in* Carvalho, 2010), podem ser classificados como:

- Problemas envolvendo o comportamento do solo - onde as patologias são causadas pelo solo;
- Problemas envolvendo os mecanismos de interação Solo-Estrutura - problemas causados pela relação entre o solo e a estrutura;
- Problema envolvendo o desconhecimento do comportamento das fundações - cada tipo de fundação interage com as cargas de forma específica o que afeta o comportamento da estrutura;
- Problemas relativos a estrutura de fundação - problemas causados pelo projeto ou detalhes estruturais do projeto;
- Problemas envolvendo especificações construtivas - problemas causados pelo tipo de especificações construtivas ou sua ausência;
- Fundações sobre aterros - neste caso vão ser avaliados os problemas intrínsecos ao projeto de fundações sobre aterros.

2.2.1. Problemas envolvendo o comportamento do solo

Os problemas que envolvem o comportamento do solo têm origem na má avaliação do desempenho e estimativa de parâmetros do solo; estes critérios só devem ser definidos por profissionais especializados e experientes. Em seguida exemplificam-se algumas dessas falhas:

- Adoção de um perfil do terreno otimista;

Neste caso, a adoção do perfil do terreno otimista é feito sem a caracterização de todas as situações representativas do subsolo, como a localização das camadas menos resistentes ou compressíveis, nível freático, em certos casos o perfil do subsolo é caracterizado apenas por três perfis de sondagem (Figura 2.22). Um exemplo típico desta patologia acontece quando são feitas três sondagens ao subsolo em que duas das sondagens obtém-se a profundidade específica de projeto, e na outra sondagem indica que se tem uma situação especial, não é

feita mais nenhuma sondagem e o projeto de fundações é feito com base nas primeiras duas sondagens.



Figura 2.22 - Exemplo de adoção de um perfil de terreno otimista quando na realidade existe uma camada de argila que poderá provocar assentamentos na estrutura do prédio e, conseqüentemente, fissuras na estrutura (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

- Modelo inadequado do comportamento do solo;

A representação inadequada do comportamento do solo ocorre quando são usadas correlações empíricas ou semi-empíricas que não são aplicáveis no tipo de solo em questão. Acontece devido a determinação de tensões admissíveis do solo com base em ensaios *in situ* para grandes áreas ou pela extrapolação da correlação de materiais com comportamentos distintos.

- Adoção de fundações inadequadas;

Adoção de fundações inadequadas para o tipo de solo específico, como fundações diretas em solos muito moles, ou em entulhos, estacas cravadas em solos instáveis ou em presença de água, fundações em solos expansivos ou solos com probabilidade de colapso sem qualquer tipo de cuidados especiais.

2.2.2. Problemas envolvendo os mecanismos de interação solo-estrutura

A análise da interação solo-estrutura é extremamente importante para a escolha de uma fundação correta, mais propriamente, esta tem de ir ao encontro das exigências da estrutura, da capacidade de carga, da rigidez, da intensidade de carga e em geral das propriedades do solo.

Quanto mais rígido for o sistema menores serão os assentamentos da estrutura e assim sendo o ideal era fazer uma análise detalhada da interação Solo-Estrutura-Fundação, o que raramente acontece (Carvalho, 2010).

Quando uma fundação transfere a carga ao solo essa transferência é considerada isolada, mas quando à volta da nossa estrutura existem outras estruturas que transmitem cargas ao solo, acontece o fenómeno de sobreposição de esforços, conseqüentemente esta concentração de esforços pode provocar o assentamento das estruturas (Figura 2.23).

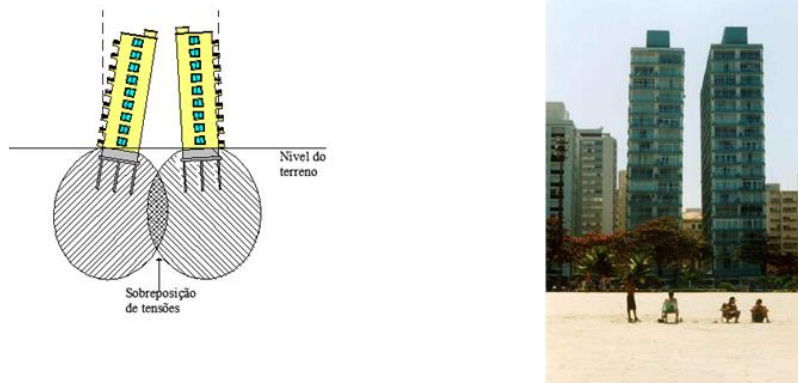


Figura 2.23 - Imagens evidenciando a sobreposição das tensões a partir das fundações de edifícios muito próximos (Schnaid, 2006, *in* Carvalho, 2010)

Para se ter percepção das tensões que são originadas na sobreposição bolbos pode-se observar a simulação realizada por Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010) recorrendo ao método dos elementos infinitos. No primeiro caso, apresenta-se um prédio isolado que transmite as cargas ao solo (Figura 2.24); no segundo caso, apresentam-se dois prédios próximos, onde se pode observar que as tensões transmitidas ao solo na zona de sobreposição aumentaram significativamente (Figura 2.25).

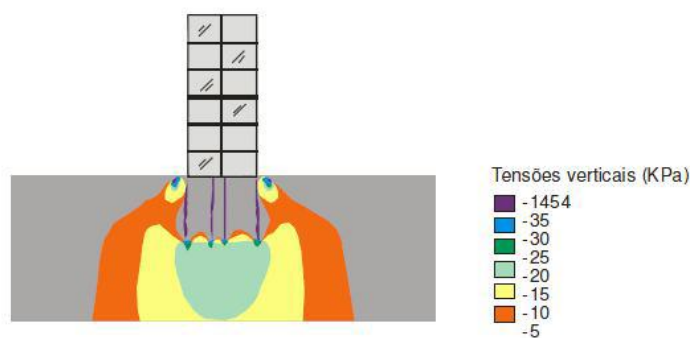


Figura 2.24 - Exemplo das tensões transmitidas ao solo pelo prédio representado num programa de elementos finitos (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

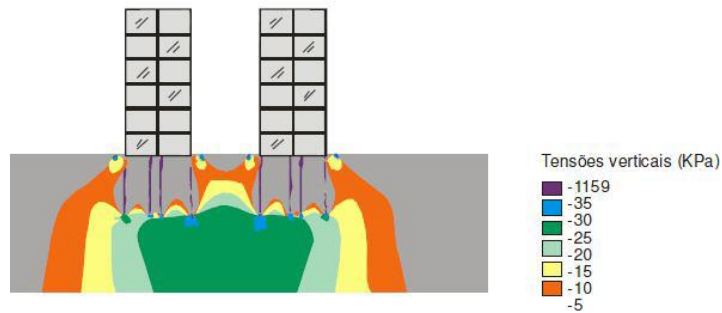


Figura 2.25 - Exemplo da sobreposição das tensões representadas num programa de elementos finitos (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

As estruturas também podem ser afetadas quando o solo não tem capacidade suficiente para resistir as cargas que são transmitidas, resultando em alguns casos assentamentos muito significativos, sem ocorrer o colapso total. O caso mais clássico desta patologia é sem dúvida o da Torre de Pisa em Itália. Sua construção foi iniciada em 1173, e terminada em 1350; desde o início, a torre apresentou assentamentos maiores de um lado do que do outro, que a levaram a inclinar-se (Figura 2.26).

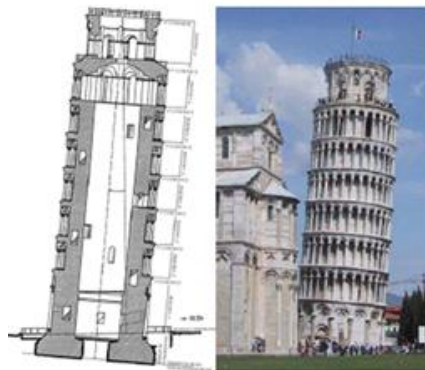


Figura 2.26 - A Torre de Pisa apresenta uma inclinação de 5,5° devido aos assentamentos da base (LMC, *in* Carvalho, 2010)

Os fatores que se destacam na interação solo-estrutura são (Reis, 2000):

- Rigidez relativa solo-estrutura;
- Influencia no bolbo de tensões do mesmo prédio com prédios vizinhos;
- Etapas de construção de reforço nas fundações com mudança de ambiente;
- Estacas apoiadas em camadas pouco espessas e sobrepostas em camadas frágeis.

Um caso típico desta patologia é quando há grupos de estacas apoiadas sobre camadas com pouca espessura e que, por sua vez estão sobrepostas numa camada argilosa mole. Pode dar-

se o caso da camada resistente ceder devido à compressão da camada de argila mole que não suporta as cargas (Figura 2.27). Outra patologia deste género verifica-se nos casos onde somente se calcula a capacidade de carga, sem analisar os assentamentos que podem surgir.

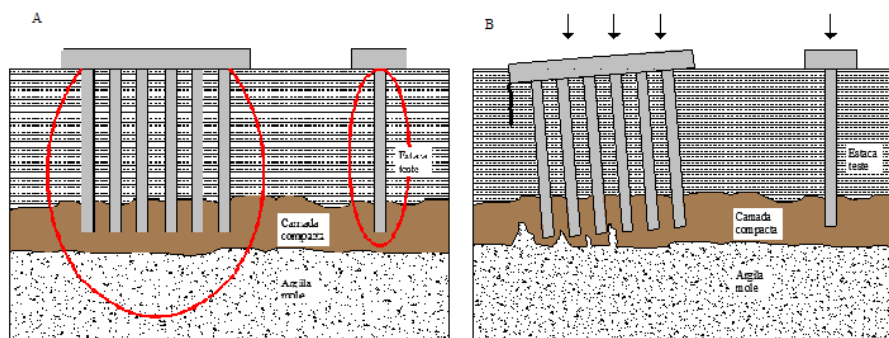


Figura 2.27 - Grupos de estacas apoiadas em camadas resistentes mas sobrepostas em solos moles, provocando no caso A rutura e no caso B problemas de assentamentos (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

1. Não consideração do atrito negativo em estacas.

Quando uma estaca é construída numa camada de solo compressível, pode ocorrer um fenómeno designado por atrito negativo, que acaba por ser uma ação do terreno sobre a própria estaca. No caso das estacas verticais, esse atrito é um acréscimo na carga axial proveniente do assentamento da camada compressível, no caso das estacas inclinadas pode surgir também esforços de flexão na estaca (*Efeito de Tschebotarioff*) (Figura 2.28).

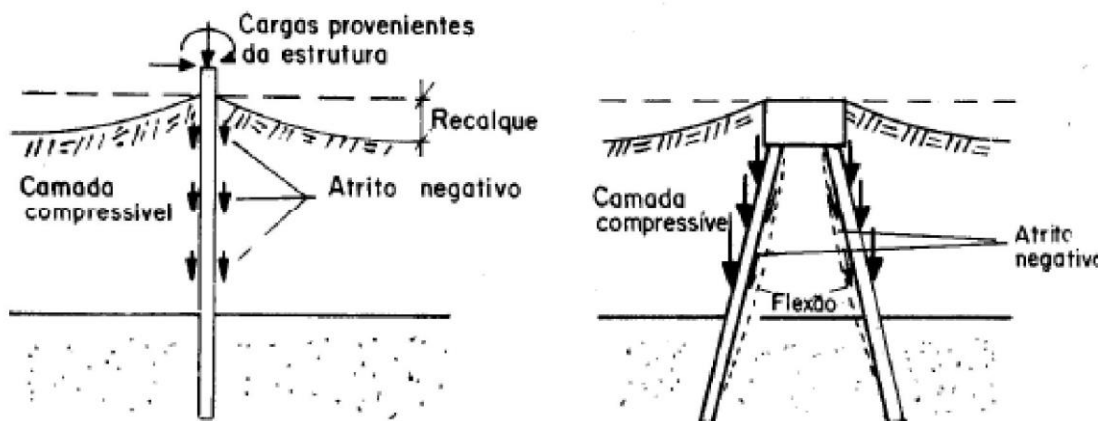


Figura 2.28 - Esquema de atuação do atrito negativo ao longo das estacas na vertical e com inclinação (Guimarães, 2003, *in* Carvalho, 2010)

Os assentamentos das estacas podem provir de um atrito negativo, que tem a sua origem ora em cargas excessivas produzidas sobre a terraplenagem, ora por aterros executados em volta da obra. Os assentamentos próprios do preenchimento aos que se têm que acrescentar os do

estrato de terreno compressível subjacente que produzem forças de atrito ao longo de toda a estaca, cuja resultante tem uma componente vertical dirigida para baixo (Figura 2.29). A não consideração deste efeito poderá provocar assentamentos, consequentemente, danos na estrutura.

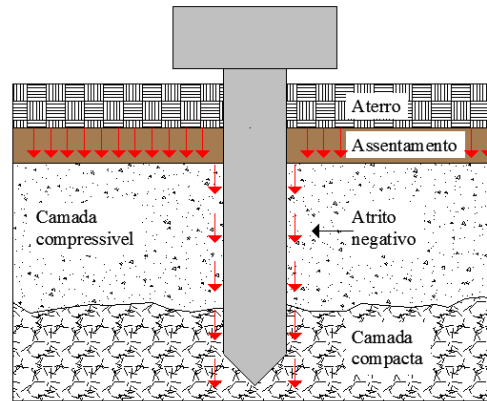


Figura 2.29 - Esquema de atuação do atrito negativo ao longo da estaca (Modificado, ASEFA, in Carvalho, 2010)

- Cálculo da tração de um grupo de estacas.

Quando o cálculo da tração de um grupo de estacas é feito a partir da soma das trações de cada estaca individualmente, o que difere da realidade, uma vez que a soma da tração em grupo é inferior à soma individualizada de cada estaca (Figura 2.30) (Schnaid *et al.*, 2005, in Carvalho, 2010).

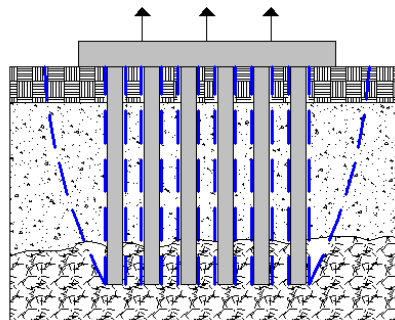


Figura 2.30 - Tração em grupo de estacas (Schnaid *et al.*, 2005, in Carvalho, 2010)

- Deformações horizontais em estacas.

Na presença de solos com camadas superficiais de baixa resistência ao implantar estacas é necessário fazer o travamento no topo destas. Quando o travamento não é feito, a estaca tende a deformar com flexão criando instabilidade na estrutura (Figura 2.31).



Figura 2.31 - Deformações das estacas por falta de travamento e flambagem (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

2.2.3. Problemas envolvendo o desconhecimento do comportamento das fundações

As patologias mais comuns sobre os problemas que envolvem o comportamento real das fundações são:

2. Sistemas de fundações diferentes na mesma estrutura.

Quando são adotados sistemas de fundações diferentes dependendo das variações das cargas, da variação da profundidade das camadas mais resistentes ou das restrições de acesso, sem que haja qualquer tipo de junta de dilatação a separar uma vez que cada fundação tem o seu próprio comportamento, este tipo de situações provoca assentamentos diferenciais e danos na estrutura (Figura 2.32).

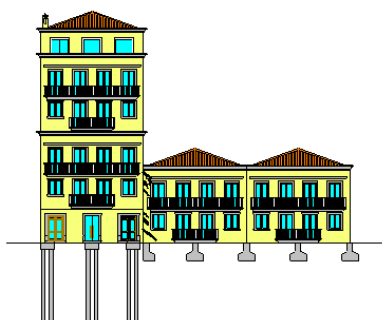


Figura 2.32 - Sistemas de fundações diferentes atuando em condições diferentes, não separados por uma junta provoca assentamentos diferenciais (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

3. Adoção de fundações profundas em solos com aterros compactados assente em camadas compressíveis, que suportam a estrutura interna.

Esta situação é comum na construção de pavilhões onde se opta por executar fundações profundas em solo com aterros compactados assente em camadas compressíveis, sendo que a estrutura interna do pavilhão está assente no piso apoiado diretamente no aterro. O aterro ao comprimir as camadas inferiores vai provocar o assentamento de toda a estrutura.

4. Deslocamento de estacas de grande secção.

É preciso que ter em conta os deslocamentos que as estacas sofrem, o deslocamento de uma estaca de grande secção é proporcional ao seu diâmetro. Em certas situações estes deslocamentos são esquecidos resultando na adoção de valores seguros de resistência da estaca, mas que provocam assentamentos e condicionam o bom funcionamento da estrutura.

5. Carregamentos assimétricos numa estrutura, com fundações sem junta de separação.

Os carregamentos assimétricos em estruturas são comuns em obras como torres que apresentam cargas elevadas e a região circundante apresenta carregamentos muito inferiores, mas ambas com o mesmo tipo de fundação, sem juntas de comportamento ou com pilares apoiados nas mesmas fundações, provocando assentamentos diferenciais e fendas em toda a estrutura (Figura 2.33).

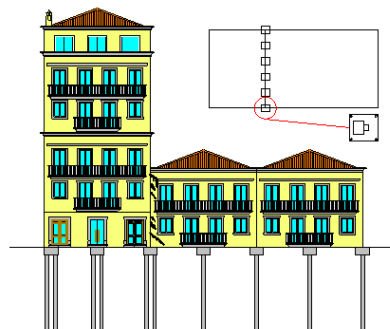


Figura 2.33 - Assentamentos e fissuras provocadas por carregamentos diferentes na mesma fundação sem junta de separação (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

2.2.4. Problemas relativos à estrutura da fundação

As principais patologias que envolvem a estrutura de fundação:

1. Determinação errada das solicitações atuantes nas fundações.

A determinação errada das cargas que atuam nas fundações está normalmente associada a obras pequenas, visto que possuem um menor controlo e fiscalização.

2. Fundações projetadas só com a carga atuante.

É um erro típico dos engenheiros com pouca experiência quando as estruturas são projetadas considerando apenas as cargas que vão atuar durante o período útil da estrutura, mas não são consideradas situações de sobrecargas variáveis que podem atuar por tempo indefinido na estrutura ou sobrecargas acidentais que apesar de terem uma baixa probabilidade de ocorrência elas existem e podem sempre afetar a estrutura. Mesmo durante a fase de construção podem acontecer sobrecargas na estrutura que ultrapassem a carga atuante, por exemplo, durante a montagem de elementos estruturais, estes podem sobrecarregar as sapatas da estrutura.

3. Erros na consideração das cargas.

O erro mais comum é a consideração das cargas máximas atuantes na estrutura durante o cálculo do projeto sem considerar as cargas mínimas, apesar do cálculo com base nas cargas máximas apresentar um nível de segurança estrutural elevado, ainda assim há casos em que isso não se verifica, como por exemplo, no dimensionamento de um reservatório metálico elevado, as fundações são projetadas apenas tendo em conta as cargas máximas, o que acontece só quando o reservatório se encontra cheio, mas quando o reservatório está vazio e sob efeito da ação do vento pode provocar esforços de tração nas fundações, como estas não foram projetadas para esse tipo de esforço o seu funcionamento poderá ser afetado.

4. Erros no dimensionamento de elementos estruturais nas fundações.

Os erros de dimensionamento de elementos estruturais tais como lintéis de fundação, sapatas, estacas, podem provocar esforços adicionais na estrutura e causar graves patologias.

5. Falta de armaduras secundárias.

As armaduras secundárias têm como função:

- Garantir o bom funcionamento das armaduras principais;
- Ajudar a rigidificar as malhas de armaduras;
- Controlar a fendilhação;
- Assegurar a ligação entre as partes de elementos que tem tendência a destacar-se.

A falta de armaduras secundárias provoca a abertura de fendas nos elementos estruturais, principalmente nas sapatas, estacas e vigas de fundação. O cálculo desta armadura é muito importante, visto que estes elementos se encontram num ambiente agressivo, em contacto com o solo e outros agentes que podem provocar a sua rápida degradação, colocando toda a estrutura em risco de colapso.

6. Falta de equilíbrio de esforços.

Quando temos soluções estruturais em que não se verifica o equilíbrio dos esforços atuantes, estes passam a ser suportados pela estrutura, o que pode provocar o aparecimento de patologias que afetam o bom funcionamento estrutural.

7. Má ligação entre elementos estruturais.

A má ligação entre elementos estruturais ou ausência dos pormenores de ligação entre elementos, por exemplo, ligação entre as estacas e o maciço de encabeçamento, lintel de fundação e as sapatas, etc., provocam degradação destes, especialmente em ambientes agressivos e condiciona o bom funcionamento estrutural a longo prazo.

8. Armaduras pouco eficazes.

Por vezes a colocação de armaduras menos eficientes nos elementos de fundação pode provocar diversas patologias, por exemplo, adoção de armaduras muito carregadas ou complexas pode provocar dificuldades construtivas como má execução, perda de recobrimento, entre outros, este tipo de situações afetam todos os elementos estruturais sobretudo as fundações profundas porque se encontram em ambientes mais agressivos.

9. Falha na consideração das cargas variáveis e permanentes na estrutura.

Ao projetar uma estrutura em determinadas situações, é necessário considerar esforços que podem atuar na estrutura só numa determinada altura da vida útil da estrutura, por exemplo, no dimensionamento de um muro de contenção de terras em betão ciclópico simples como mostra a Figura 2.34, em que numa dada época as terras que impõem o impulso passivo podem ser retiradas para, neste caso instalar uma vala.

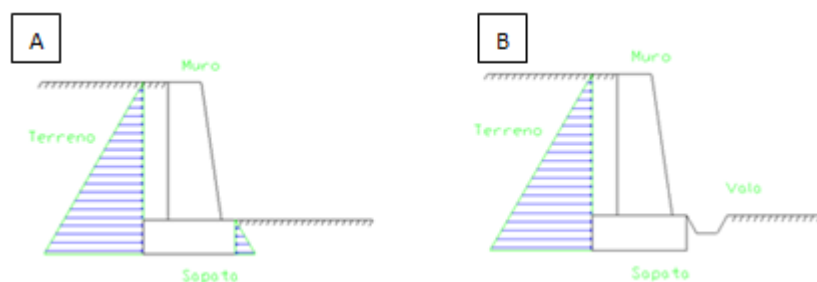


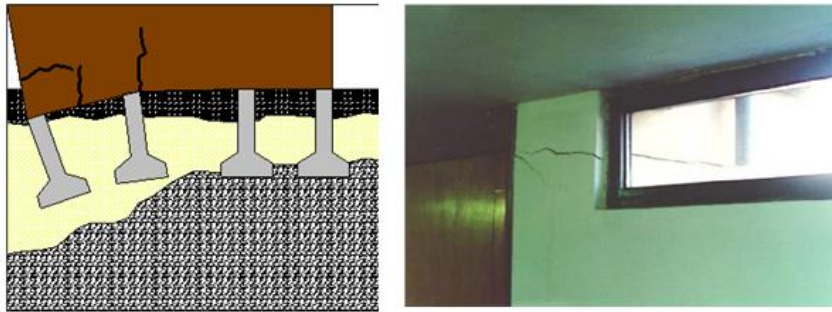
Figura 2.34 - Muro de suporte numa situação inicial (A) e numa situação posterior(B) em que é feita a vala, levando a retirar as terras que ajudavam a estabilizar o muro, pelo seu impulso passivo (a partir de Carvalho, 2010)

2.2.5. Fundações superficiais

Segundo Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010, as patologias associadas as fundações superficiais são principalmente causados pela ausência de especificações como:

1. Cota das fundações.

Por vezes as cotas onde devem ser implantadas as fundações não correspondem ao local onde na realidade deviam de ser implantadas (Figura 2.35).



Figuras 2.35 - Efeitos causados pela má definição da cota das fundações (Fritz, *in* Carvalho, 2010)

2. Tipo de solo onde vão ser implantadas as fundações.

O tipo de solo onde irão ser implantadas as fundações e as suas características devem ser indicadas pelo projetista mas, geralmente, o projetista não está qualificado para tal função, por isso torna-se necessário pedir a avaliação do tipo de solo e das suas características a um profissional.

3. Sequência de construção dos elementos estruturais.

A ordem de construção dos elementos estruturais está relacionado com as diferentes cotas das fundações, por exemplo, as primeiras a se executar são as que se encontrem a uma cota inferior, caso contrário, pode provocar o descalçamento das fundações superiores (Figura 2.36).

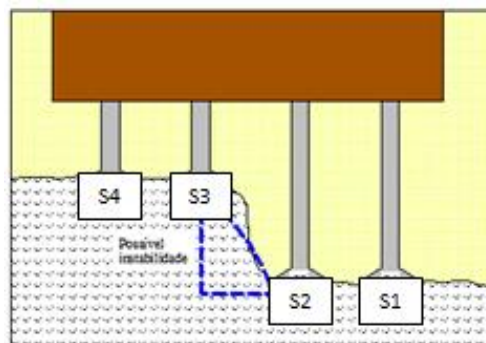


Figura 2.36 - Exemplo pelo qual se pode constatar a ordem pela qual devem ser realizadas as fundações (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

4. Características do betão.

As características do betão a aplicar na execução das fundações são indispensáveis para que os elementos estruturais possam obter a resistência prevista em projeto.

5. Recobrimentos das armaduras.

Deve ser especificado o recobrimento de todas as armaduras a utilizar no projeto de fundações (Figura 2.37), o recobrimento tem de ser garantido durante execução para proteger os elementos estruturais ao longo da sua vida útil.

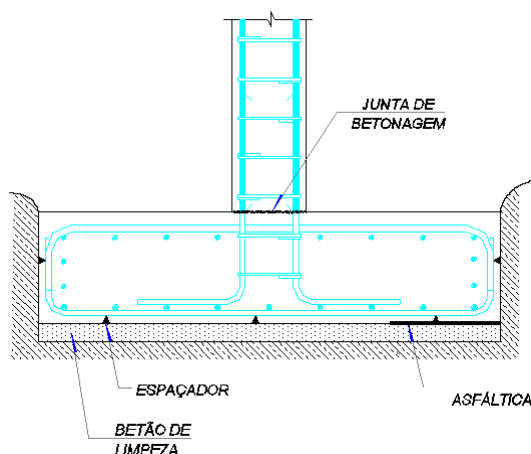


Figura 2.37 - Exemplo de como os recobrimentos dos elementos estruturais tem de estar indicados em projeto (Carvalho, 2010)

2.2.6. Fundações profundas

Segundo Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010), as patologias associadas as fundações profundas são principalmente causados pela ausência de especificações como:

1. Profundidades mínimas de projeto.

As profundidades mínimas têm de estar de forma explícita no projeto porque na fase de execução as fundações podem ficar a cotas diferentes das previstas em projeto, criando problemas ao nível de transmissão das cargas ao solo.

2. Características dos equipamentos de cravação de estacas.

As características dos equipamentos de execução, comprimentos mínimos, acessórios, ferramentas utilizadas, assim como o peso dos martelos utilizados na cravação têm de ser definidos em projeto, para evitar problemas de cravação ou destruição da própria estaca.

3. Tensões e características dos materiais das estacas.

As tensões das estacas e materiais de que são feitas têm de estar definidas em projeto, para evitar a construção de estacas de menor resistência, o que põe em causa a integridade e o bom funcionamento das estacas.

4. Detalhes das emendas necessárias.

Sempre que for preciso realizar qualquer tipo de emenda, por exemplo, em estacas é importante definir a forma de como devem ser executadas, de forma que não seja criado um ponto de fragilidade na estrutura.

5. Proteção contra a erosão.

Nos locais sujeitos a erosão é necessário determinar de uma forma eficaz para proteger a estrutura contra a erosão. A erosão a longo prazo pode diminuir a resistência das camadas do solo o que implica uma diminuição da tensão, o que pode provocar a flexão dos elementos esbeltos e por em causa a estabilidade da estrutura.

2.2.7. Fundações sobre aterros

Logeais (1971) define três tipos de aterros perigosos:

1. Os aterros recentes

Mesmo tendo sido compactados por camadas regulares, na altura da sua execução, os aterros não adquiriram o seu assentamento definitivo e, naturalmente assentam. Há numerosos exemplos de situações problemáticas provocadas pela construção de obras sobre aterro.

2. Os aterros de espessura variável

Como todos os aterros têm assentamentos, quanto maior é a espessura do aterro, maior será o assentamento. Se tivermos que construir sobre aterros de espessura variável, deve-se considerar que os assentamentos diferenciais não são negligenciáveis. Tem que se estudar não somente a rigidez da obra a construir, mas ainda a estabilidade do conjunto.

3. Os aterros sobre terrenos compressíveis ou instáveis

A construção em solos pantanosos ou aluvionares requer terraplanagens e uma proteção contra inundações, para isso os construtores constroem aterros com espessuras por vezes importantes. Frequentemente, este tipo de aterros realizaram-se com grande cuidado, muito bem compactados com meios capazes para tal. Não deixa de ser, apesar disso, extremamente perigoso construir-se edifícios de uma certa importância sobre esses aterros. Logeais (1971) define dois casos particularmente típicos.

4. Aterro sobre terreno compressível

Se o terreno natural é constituído por materiais muito compressíveis (turfas, vasas moles, argilas com forte teor de água, etc.), é totalmente desaconselhado sobrecarregá-los com aterros cuja influência só pode aumentar a amplitude dos assentamentos.

5. Aterro sobre terrenos inclinados

Os aterros sobre terrenos inclinados apresentam graves inconvenientes, destacando-se:

O papel do aterro é permitir a realização de uma plataforma horizontal, esse aterro tem uma espessura variável e são, portanto, de prever assentamentos diferenciais, se utilizarem esses aterros como base para fundações;

Se não for previsto nenhum dreno a montante, e sobretudo se não se tiver previamente decapado o terreno natural, as águas superficiais infiltram-se no aterro e podem provocar o seu assentamento ou o seu escorregamento em conjunto, quer seja mesmo perturbar o terreno natural, que pode, assim, tornar-se instável.

Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010) explica que os aterros não são muito recomendáveis porque para além dos problemas específicos de qualquer tipo de fundação é preciso cuidados acrescidos quanto aos possíveis assentamentos.

Os assentamentos devido ao peso próprio do aterro ou às cargas transmitidas pelas fundações ao solo podem ser diferenciais ou totais, ocorrem geralmente nos casos:

- Aterros executados de forma deficiente, por exemplo, aterros mal compactados que afetam principalmente os solos argilosos provocando assentamentos quando submetidos a carregamentos externos, ou aterros executados sem vibração do solo que afeta principalmente os solos arenosos, que sofrem um rearranjo das partículas provocando assentamentos (Tomlinson, 2001);
- Assentamentos devido a execução de aterros hidráulicos, segundo Tomlinson (2001), a ocorrência de assentamentos das camadas de areia que são colocadas acima do nível consolidem diminuindo o seu volume ocupado. Esta camada de areia, quando depositada, pode apresentar uma estrutura frágil suscetível a assentamentos quando submetida a carregamentos externos;
- Execução de aterros com compactação deficiente pode ter origem no equipamento utilizado para realizar a compactação, por exemplo equipamentos que não tem capacidade de compactação necessária para o tipo de solo utilizado no aterro ou a compactação de camadas com elevada espessura, o que dificulta a sua compactação;
- Execução de aterros com materiais inadequados para esse efeito, por exemplo, solos orgânicos. Os materiais utilizados em aterros devem possuir resistência ao corte e a

deformabilidade adequadas; na Tabela 2.2 apresentam-se os vários tipos de materiais que compõem os solos e a sua classificação quanto à sua aplicação em aterros;

- Execução de aterros com materiais heterogéneos, por exemplo, solos contendo resíduos de construção como resíduos de alvenarias, betão, madeira, etc. Este tipo de solos é extremamente difícil de compactar e susceptível a assentamentos, pelo que não deve ser utilizado como aterro para fundações;
- Execução de aterros sobre solos frágeis ou moles pode apresentar problemas de rutura ou graves assentamentos;
- Execução de aterros sobre outros aterros do tipo sanitários. O principal problema em obras realizadas sobre aterros sanitários são os assentamentos que a estrutura pode sofrer devido a degradação do material existente; outro problema associado a construção sobre aterros sanitários é a possibilidade de formação de gás metano devido a degradação dos resíduos orgânicos existentes, a concentração de gás metano pode provocar explosões.

Tabela 2.2 - Classificação dos solos quanto a sua aplicação em aterros (Tomlinson, 2001)

	Permeabilidade	Suporte da fundação	Base para pavimentação	Expansível	Dificuldade de compactação
Seixo	Muito alta	Excelente	Excelente	Não	Muito fácil
Areia	Media	Boa	Boa	Não	Fácil
Silte	Media baixa	Pobre	Pobre	Um pouco	Um pouco
Argila	Nenhuma	Moderada	Pobre	Difícil	Muito difícil
Orgânico	Baixa	Muito pobre	Não aceitável	Um pouco	Muito difícil

2.3. Execução das Fundações

As falhas devido a execução não adequada de fundações constituem a segunda maior causa de aparecimento de patologias nas estruturas (Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010)) As patologias associadas aos problemas construtivos de fundações podem ser divididas em dois grupos:

- Problemas de execução em fundações superficiais;
- Problemas de execução em fundações profundas.

2.3.1. Problemas de execução em fundações superficiais

Segundo Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010), os problemas de execução de fundações superficiais ou fundações directas são classificados quanto à origem que pode ser relacionada

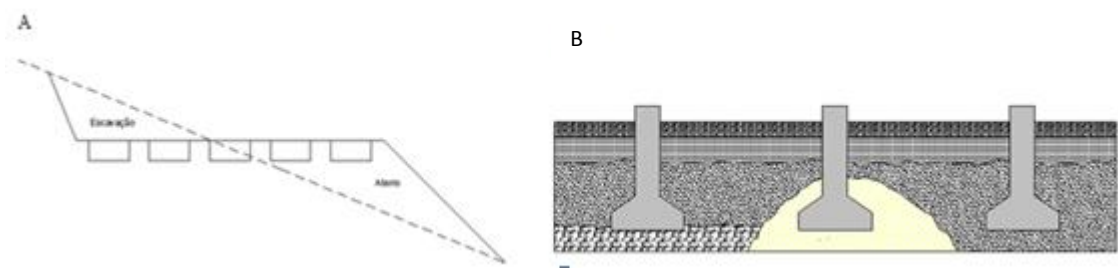
com o solo sobre o qual são assentes ou problemas com origem nos elementos estruturais da fundação.

As fundações superficiais apresentam maior número de patologias devido ao facto de serem as mais utilizadas e fáceis de implementar. As obras de pequeno porte são, geralmente, as mais suscetíveis a estas patologias. As fundações deste tipo de obras são executadas sem qualquer projeto ou são realizados por pessoas inexperientes e/ou sem capacidades para o efeito. Ainda assim, em muitos casos são executados projetos de fundações com base nos projetos de obras semelhantes, à falta de execução de ensaios aos solos, entre outros.

1. Problemas envolvendo o solo

De acordo com Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010), as patologias relacionadas com o solo onde são implantadas as fundações mais importantes são:

- Construção de elementos estruturais assentes em solos diferentes e com comportamentos diferentes, bastante comum nos casos onde são feitas escavações para depois serem aterradas noutra local para executar fundações à mesma cota de implantação (Figura 2.38A), resultando na implantação de fundações em materiais diferentes de aquelas em que foram projetadas ou alteração da profundidade de implantação como resultado da variação da cota da camada resistente (Figura 2.38B). Estas situações podem provocar assentamentos diferenciais ou mesmo o colapso da estrutura;



Figuras 2.38 - Exemplos de fundações da mesma estrutura apoiadas em solos com diferentes características: (A) em solo virgem em zona de escavação e aterro; (B) em solos sedimentares com diferentes características (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

- Problemas relacionados com a escavação do local onde serão implantadas as fundações, por exemplo, destruição da camada de apoio das fundações, escavação excessiva, o que implica a execução de um aterro até a cota pretendida, consequentemente, redução da resistência do solo, desmoronamento das paredes

laterais da escavação, entre outros. Este tipo de patologias provoca assentamentos na estrutura;

- Situações de substituição do solo por material não apropriado ou por material que não foi devidamente compactado;
- Sapatas executadas em cotas diferentes onde ocorre o descalçamento das sapatas que estão implantadas numa cota superior devido a escavação das sapatas que se encontram numa cota inferior;
- Sapatas executadas numa cota superior à passagem de canalizações especificadas em projeto ou já existentes no terreno. Ao realizar as escavações é preciso ter atenção ao vazamento das canalizações que pode provocar perda de resistência do solo.

2. Problemas envolvendo os elementos estruturais da fundação

Dentro das patologias relacionadas os elementos estruturais das fundações as mais importantes são (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010):

- Resistência do betão insuficiente, casos em que o betão apresenta uma resistência menor do que a tensão especificada em projeto;
- Ausência da camada de betão de limpeza, a não colocação da camada de betão de regularização ou de limpeza possibilita o imediato contacto das nossas fundações com o ambiente agressivo durante a betonagem das sapatas contaminando o betão. Outra consequência de falta de regularização do solo é a perda de garantias de um recobrimento adequado nas fundações;
- Execução de elementos de fundação com dimensões e geometrias incorretas, o que resulta em tensões diferentes das calculadas no projeto, este tipo de problemas pode provocar assentamentos, efeitos de punçoamento e colocar em risco o bom funcionamento da estrutura;
- Presença de água durante a betonagem, o que afeta as qualidades do betão. As betonagens devem ser executadas sem nenhum tipo de vazamento de água para o interior, no caso de existir água tem de ser colocadas bombas para a extrair (Figura 2.39);



Figura 2.39 - Abaixamento do nível freático com ajuda de bombas durante a betonagem (Carvalho,2010)

- Vibração insuficiente do betão resulta em elementos com geometrias diferentes das previstas e perda de recobrimento (Figura 2.40);

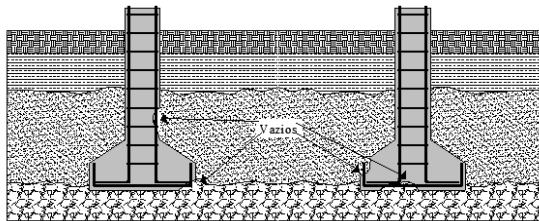


Figura 2.40 - Consequências da má vibração do betão durante a betonagem (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

- Problemas relacionados com a disposição de armaduras, armaduras muito densas, mal colocadas, insuficientes ou estribos mal colocados, que enfraquecem a estrutura. A falta de limpeza antes da betonagem provoca problemas de estrangulamento das secções, consequentemente, betonagem deficiente dos elementos estruturais e perda do recobrimento (Figura 2.41);

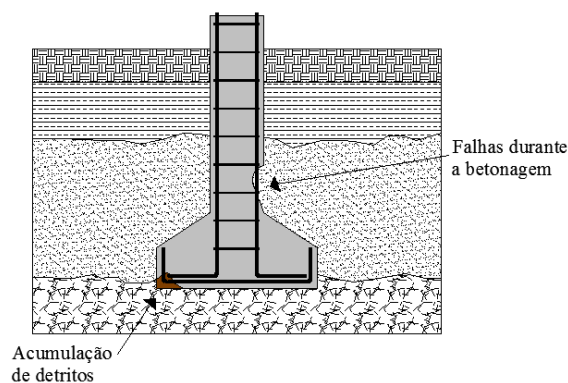


Figura 2.41 - Aparecimento de problemas durante a betonagem devido a detritos que não foram limpos ou má disposição das armaduras (modificado de Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

2.3.2. Problemas de execução em fundações profundas

Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010) refere que o sucesso da execução de fundações profundas está relacionado com as características de execução de cada tipo de fundação profunda, a escolha do perfil típico do solo e a análise através de métodos específicos e cálculos.

Os processos e métodos construtivos das fundações profundas têm de ser aplicados de forma que as condições no terreno sejam as mesmas que as que foram previstas no projeto.

A execução de fundações profundas é um processo que depende das variabilidades das condições encontradas no campo, como variação das características do subsolo, limites de equipamento, entre outras, este tipo de condições pode, muitas vezes, obrigar a alterações no projeto original.

Durante a execução de fundações profundas deve-se ter em consideração que a execução de uma fundação afeta o solo e as fundações vizinhas existentes, provocando alterações nas condições iniciais do projeto.

Posteriormente serão abordadas as patologias mais frequentes, relacionadas no geral com as fundações profundas. Ainda assim serão estudados casos de fundações executadas com recurso a estacas cravadas e moldadas.

1. Problemas genéricos em fundações profundas

As patologias mais comuns em problemas que ocorrem na execução de fundações profundas (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010) são as seguintes:

- Erros de localização, por exemplo, implantação de estacas fora dos locais definidos em projeto, o que pode causar solicitações não previstas em vigas de equilíbrio ou nos maciços de encabeçamento;
- Patologias devido a desvios de execução, por exemplo, o desvio das estacas devido a presença de blocos de rocha sólidos ou outro tipo de obstruções. Também podem ser incluídos os erros provocados por distrações ou negligência durante o início da execução dos elementos;
- Erros na geometria dos elementos a executar, os mais comuns são os erros nos diâmetros das estacas, principalmente onde há redução do diâmetro em relação ao projeto, o que pode diminuir a resistência da estrutura;
- A alteração efetuada sem indicação no projeto, como substituição dos elementos projetados por outros equivalentes, devido á ausência de meios para a sua execução, por exemplo, estacas cravadas a uma cota menos profunda devido a obstruções, substituição de estacas pré-moldadas por duas estacas de diâmetro inferior, sem qualquer tipo de cálculo, provocando alterações no centro de gravidade das peças e distribuição de cargas diferentes das previstas em projeto;

- Problemas relacionados com a inclinação final dos elementos executados serem diferentes da inclinação indicada em projeto devido a dificuldades construtivas ou erros, que podem provocar uma distribuição de cargas diferente do projetado e, conseqüentemente, instabilidade na estrutura;
- Problemas na ligação entre as estacas e o maciço de encabeçamento, uma das principais causas dos problemas na ligação têm a ver com a falta de limpeza das cabeças das estacas antes da betonagem, o que pode originar deformações durante o carregamento da estrutura;
- Problemas na ligação entre secções de elementos diferentes ou a amarração entre eles, tem de ser respeitadas as normas e utilizar o bom senso na ligação entre elementos estruturais diferentes e execução de emendas;
- Erros devido a defeitos de posicionamento das armaduras dos elementos estruturais que provoca uma má transmissão das cargas;
- Características do betão utilizado inadequadas como, por exemplo, a utilização de betão com uma resistência inferior á especificada no projeto, sendo esta situação mais típica nas estacas moldadas.

2. Problemas em estacas cravadas

As estacas cravadas são inseridas no terreno com recurso a equipamento mecânico, são fabricadas com antecedência e transportadas depois para a obra.

Guerra e Miranda (2006), refere que as estaca cravadas em solos que apresentam uma camada de fraca resistência, sobrepostas às camadas resistentes, o comprimento das estacas cravadas pode atingir os 50 metros, sendo que não devem ser aplicadas em maciços cascalhentos. Através de este processo podem ser criadas plataformas estáveis de forma a minimizar os assentamentos diferenciais. As estacas funcionam através de atrito lateral e/ou resistência de ponta.

O equipamento usado para a cravação deste tipo de estacas é, geralmente, uma máquina de rastos com torre vertical, provida de guias laterais onde encaixa a estaca pré-fabricada, a cravação é feita mediante o golpe de um martelo com peso variável entre 4 e 6 toneladas, acionado mecanicamente ou por ação da gravidade (Figura 2.42 A).

As estacas pré-fabricadas são constituídas por betão e uma armadura em ação composta por varões longitudinais e estribos helicoidais, conforme o tipo de estaca. A secção é geralmente quadrada com dimensões que vão desde os 235 mm x 235 mm até os 400 mm x 400 mm e comprimentos variáveis de 6 a 12 m. Na ponta da primeira estaca é colocada uma ponteira

metálica que se encontra ligada à armadura longitudinal, nas extremidades das demais estacas são colocadas chapas de ligação entre estacas (Figura 2.42 B).



Figura 2.42 - (A) Equipamento utilizado para a cravação de estacas pré-fabricadas; (B) pormenor da ligação entre estacas (Guerra e Miranda, 2006)

Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010) refere as principais patologias devido a execução de estacas cravadas no solo, de acordo com o seguinte:

- Baixa energia de cravação, pode ser causada pelo peso insuficiente do martelo, baixa energia do sistema de cravação em relação à estaca cravada ou baixa energia de cravação necessária para ultrapassar obstáculos ou camadas mais resistentes, o que resulta em elementos cravados a uma profundidade menor do que a especificada em projeto;
- Excesso de energia de cravação pode ser causado pelo uso de martelos muito mais pesados ou altura de queda excessiva, este tipo de problemas pode causar danos estruturais nos elementos cravados, causando mau desempenho das fundações (Figura 2.43);



Figura 2.43 - Imagens que evidenciam o excesso de energia de cravação, com graves danos estruturais nas estacas (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

- Dificuldade de cravação em grupos de estacas devido ao espaçamento reduzido entre estacas, ou seja, durante a cravação de uma estaca esta provoca uma movimentação da massa do solo comprimindo o terreno à volta, ao cravar a segunda estaca vamos encontrar uma maior dificuldade de cravação devido a compressão do solo provocada pela outra estaca, e assim sucessivamente, este fenómeno pode provocar dificuldades de cravação das estacas seguintes e obrigar a um aumento do espaçamento entre estacas ou a execução de um pré-furo para possibilitar a cravação das estacas a profundidade pretendida, um efeito benéfico deste problema é o aumento de resistência de cada estaca;
- Levantamento de elementos estruturais já cravados, típico de maciços com varias estacas, ao fazer o levantamento de uma estaca provoca o deslocamento do solo exercendo forças em direção a superfície que afeta as estacas vizinhas provocando o levantamento das estacas vizinhas ou diminuindo a resistência do solo envolvente. Outro efeito do levantamento de estacas é o deslocamento na lateral que pode provocar nas estacas vizinhas;
- À medida que a estaca vai sendo cravada no solo, através de um pilão, que se move hidraulicamente na calha vertical da vara da máquina, vão sendo adicionados outros elementos pré-fabricados até se atingir a “nega”, quando se verifica a “nega” quer dizer que a estaca atingiu uma zona de solo rígido, a nega verifica-se através da determinação do número de pancadas aplicadas na estaca sem provocar alteração da cota da estaca. Por vezes pode-se deparar com uma “falsa nega” quando aplicamos várias pancadas sem que haja alteração da cota da estaca mas passado um curto espaço de tempo ao fazer uma recravação a estaca penetra no solo facilmente, por isso é extremamente importante fazer uma recravação das estacas após 24 horas para verificar se esta realmente numa camada firme;
- Flexão dos elementos ao serem cravados, o deslocamento lateral das estacas durante o processo de cravação pode afetar o desempenho reduzindo a resistência lateral e provocar danos no elemento estrutural como esforços de flexão para o qual a estaca não foi dimensionada para suportar;
- Amolgamento dos solos argilosos durante a cravação e conseqüente redução da resistência.

3. Problemas em estacas de madeira

Guerra e Miranda (2006), refere que as estacas de madeira são utilizadas em terrenos permanentemente secos ou saturados, visto que as estacas em madeira não suportam variações de humidade. As estacas são cravadas recorrendo a equipamento estático ou dinâmico, através de um impulso provocado por um peso que atua na cabeça da estaca.

As estacas recebem na extremidade inferior uma ponteira de aço que serve para proteção da cabeça da estaca e facilitar a penetração no solo, na extremidade superior é colocado um anel de aço para a proteger das pancadas aplicadas pelo martelo. O material utilizado para as estacas é a madeira dura, roliça, porém descascada. O diâmetro utilizado varia entre os 18 e 35 cm, sendo que o comprimento varia entre 5 a 8 metros.

Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010) define que no caso de optar madeira como elemento de fundação é necessário ter cuidados especiais na adoção do tipo de material e geometria a utilizar, as patologias mais comuns são:

- Uso de material de baixa resistência e elevada e possibilidade de degradação ou elementos sem a geometria adequada para servir de elemento de fundação;
- Falta de proteção na cabeça da estaca durante a cravação, pode provocar danos no elemento e amortecimento durante a cravação;
- Danos na ponta da estaca provocados por obstruções existentes e pela contínua cravação na tentativa de ultrapassar esses obstáculos;
- Utilização de emendas inadequadas que diminui a resistência de cravação e a resistência aos esforços de serviço.

Salienta-se por fim que as estacas de madeira podem ser alvo de ataque por parte de fungos, se uma parte da estaca fica exposta ao ar livre, bem como, em meios marinhos, podem ocorrer organismos que se alimentam da madeira das estacas, acabando por destruí-las.

4. Problemas em estacas metálicas

Guerra e Miranda (2006), menciona que as estacas metálicas/estacas prancha tem uma função, geralmente, temporária servindo como entivacão de valas, galerias ou obras definitivas, como contenções diversas de taludes, canais a céu aberto, mas correntemente usadas na construção de ensecadeiras de sapatas, funcionando como elemento provisório.

O mesmo autor refere as vantagens e desvantagem deste material:

Vantagens:

- O material pode ser várias vezes aplicado;
- Podem ser emendados ou cortados facilmente;
- Suportam elevados esforços de cravação sem danos.

Desvantagens:

- Sujeitas a corrosão em estruturas marítimas;
- Estacas de secção longas e esbeltas podem ser sujeitas a desaprumos durante a cravação.

- Para o processo de cravação pode ser utilizado um vibrador ou um martelo (Hidráulico, diesel ou a vapor), ou ainda através de uma prensa hidráulica (Figura 2.44).



Figuras 2.44 - Imagem sobre a cravação de estacas metálicas (Guerra e Miranda, 2006)

Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010) enumera os problemas mais comuns em estacas metálicas:

- Problemas de soldagens entre elementos, uso de elétrodo inadequado ou técnica de soldagem ineficaz podem levar a quebra do elemento metálico ou a transmissão ineficaz das cargas;
- Problema de emendas nas estacas metálicas pode resultar na perda de resistência durante a cravação ou baixa resistência aos esforços das solicitações especialmente esforços de tração;
- Elementos metálicos muito esbeltos podem facilmente dobrar devido a presença de obstáculos ou desviar devido a camadas resistentes inclinadas, acabando por não atingir a profundidade desejada (Figura 2.45);

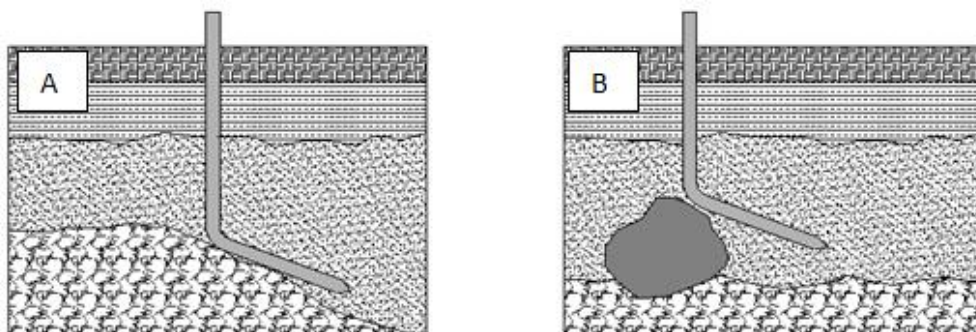


Figura 2.45 - Esquemas sobre deformação das estacas metálicas esbeltas: (A) devido a inclinação da camada resistente; (B) devido a ocorrência de blocos de rocha sólida (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

- Estacas muito esbeltas cravadas em solos de fraca resistência ou solos moles podem apresentar problemas de flexão;
- Excesso de energia de cravação, problemas de excentricidade do choque do martelo na estaca e obstruções, podem resultar em danos estruturais nas estacas (Figura 2.46).



Figura 2.46 - Estacas metálicas com elevados danos estruturais (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

5. Problemas em estacas pré-moldadas de betão

As estacas pré-moldadas podem ser de betão armado vibrado ou centrifugado, devendo ser utilizado o betão da classe adequada e o tempo de cura necessários para que estas tenham uma resistência de acordo com os esforços decorrentes do transporte, manuseamento e instalação, bem como a resistência aos esforços de cravação e aos ambientes agressivos.

Segundo Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010), os problemas mais comuns em estacas pré-moldadas de betão são:

- Estacas cravadas com betão de baixa resistência ou mistura inadequada das quantidades dos inertes e cimento podem provocar fissuras ou até mesmo a rutura da estaca (Figura 2.47);

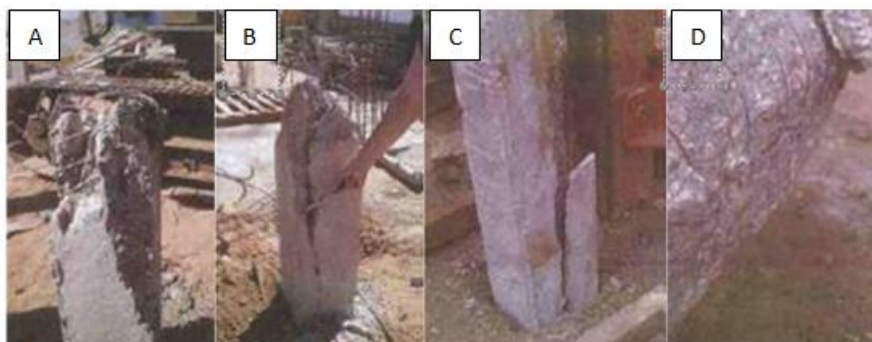


Figura 2.47 - Exemplos de danos em estacas pré-moldadas devido a utilização de betão de baixa resistência (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

- Danos durante o manuseamento de estacas, carga e descarga, colocação no equipamento de cravação, entre outros, podem provocar fissuras e colocar em causa a sua utilização (Figura 2.48).

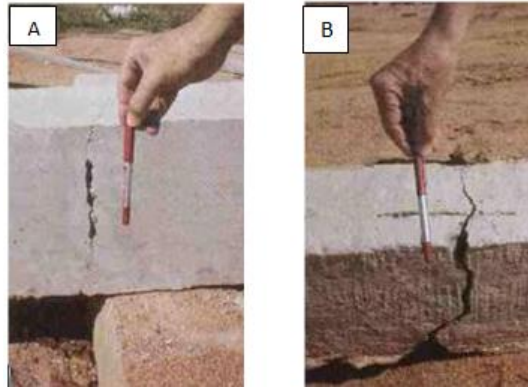


Figura 2.48 - Danos devido ao manuseamento incorreto das estacas (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

6. Problemas em estacas moldadas

De acordo com Guerra e Miranda (2006), as estaca moldadas “*in situ*” são executadas com recurso a equipamentos que abrem buracos no solo e é colocado armadura para depois serem betonadas, sendo as paredes do furo a cofragem da estaca. Dependendo das características do terreno podem-se executar estacas com diâmetros entre 450 mm e os 2600 mm, por rotação com ou sem utilização de lamas bentoníticas ou polímeros, entubadas ou não com tubos metálicos.

Segundo Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010), as principais razões das patologias relacionadas com as estacas moldadas são:

- Integridade comprometida (Figura 2.49); quando este tipo de problemas não é detetado pode pôr em causa o bom funcionamento das fundações. A betonagem deste tipo de estacas deve ser executada em compatibilidade com os processos construtivos e materiais utilizados acompanhados de uma fiscalização rigorosa para garantir a qualidade da estaca;
- Betão com resistência inferior à especificada no projeto ou mistura inadequada das quantidades dos inertes e cimento pode dar origem a estacas com baixa resistência ou problemas de integridade;

- Armaduras mal posicionadas ou muito densas o que dificulta o processo de betonagem;

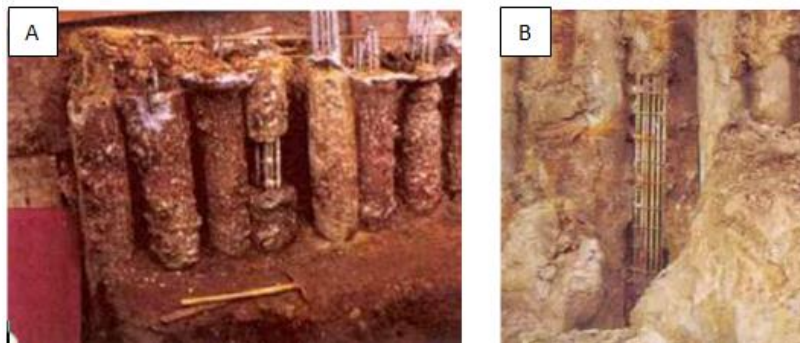


Figura 2.49 - Exemplos de graves problemas de integridade em estacas moldadas (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

- Limpeza inadequada da base o que permite o contacto entre o betão e o solo que pode degradar a estaca e diminuir a resistência de ponta;
- Desabamento das paredes do furo durante a betonagem, o que pode contaminar o betão diminuindo a sua resistência;
- Presença de água durante a betonagem sem utilização de lamas bentoníticas o que pode diminuir a resistência da estaca ou criar problemas de integridade;
- Variação do diâmetro da estaca pela presença de solos muito moles, incapazes de resistir a pressão exercida durante a betonagem;
- Redução da resistência lateral devido ao amolgamento do solo durante a colocação do revestimento da estaca ou devido ao lubrificante usado entre o revestimento e o betão da estaca;

Uma das formas de detetar defeitos ou problemas de execução das estacas moldadas é a realização do controlo preciso do volume de betão utilizado durante a betonagem e fazer a comparação com o valor teórico.

2.4. Patologias pós-conclusão das Fundações

As patologias que surgem nos casos em que as fundações da estrutura já estão executadas e a funciona de forma correta mas, por causa de eventos pós-conclusão, estas passam a ter problemas no desempenho das suas funções pondo em causa a estabilidade da estrutura. Alguns destes eventos podem ser previstos durante a fase de conceção do projeto podendo ser adotadas medidas preventivas, outros são imprevisíveis e acabam por ser designados como

acidentes. As patologias mais comuns neste tipo de casos podem ser separadas em três grupos (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010):

- Alterações no carregamento da estrutura;
- Movimentos do solo devido a ações externas;
- Vibrações e choques.

2.4.1. Alterações no carregamento da estrutura

Alterações significativas no carregamento de uma estrutura podem levar ao surgimento de problemas nas fundações causando instabilidade na estrutura; este tipo de problemas tem como origem nas alterações das funções para a qual a estrutura foi projetada inicialmente ou modificações não previstas em projeto.

Quando são feitas alterações no uso de uma estrutura as solicitações também são alteradas, podendo representar um incremento significativo nas cargas a suportar pelas fundações e causar problemas que podem levar ao surgimento de patologias. Este tipo de situação é típica de prédios comerciais e industriais onde surgem alterações das funções que tinham sido projetadas inicialmente ou pelo incremento de novas instalações para desenvolvimento de outras atividades que provocam um aumento das cargas nas fundações. A colocação de equipamentos e materiais pesados sobre uma estrutura também provoca o aumento das cargas sobre as fundações, todas estas situações põe em causa o bom funcionamento das fundações e, conseqüentemente, a estabilidade da estrutura (Figura 2.50).

Por isso é extremamente importante antes de fazer qualquer tipo de alteração na estrutura verificar as condições para as quais as fundações foram efetivamente projetadas, desta forma é possível saber se a estrutura funcionara de forma segura quando forem efetuadas alterações.

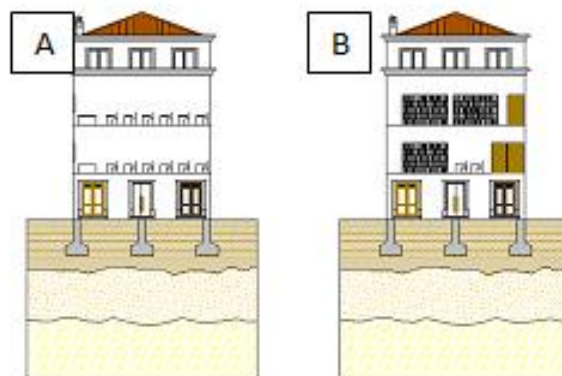


Figura 2.50 - Exemplo de alteração do uso da estrutura, onde o projeto inicial era uma escola (A), mas foram feitas modificações para o prédio ser usado como uma biblioteca (B) (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

Por vezes podem ocorrer modificações não previstas inicialmente em projeto, levando ao aumento das cargas devido a alterações ou ampliações na estrutura, logo a estrutura não apresenta capacidade para resistir, acabando por surgir assentamentos, fissuras ou outro tipo de patologias. Estas situações são comuns em prédios que sofrem reformas e prédios comerciais que aumentam a sua área comercial, sem que haja qualquer tipo de reforço nas suas fundações.

2.4.2. Movimentos do solo devido a ações externas

As movimentações do solo por fatores externos causam alterações no comportamento do solo sobre o qual estão as fundações. Os Deslocamentos do solo estão associados a atividades da construção como, por exemplo, escavações, explosões, rebaixamento do nível freático, tráfego pesado, demolições, implantação de fundações profundas, compactação de solos, de entre outros.

1. Alterações no uso dos terrenos vizinhos

Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010) define dois tipos de patologias relacionadas com o uso dos terrenos vizinhos:

- Construção de uma nova estrutura sem que haja o cuidado de criar uma junta de separação entre a nova estrutura e a existente. Outra situação do género é a construção ou ampliação das obras sem que haja uma junta de separação entre elas, estas situações são muito comuns e podem provocar sérios danos nas estruturas (Figura 2.51);



Figura 2.51 - Problemas causados pela construção de novas estruturas vizinhas sem junta de separação (Schnaid, 2006)

- A construção de grandes estruturas ou a colocação de grandes quantidades de materiais pesados à volta de obras com fundações superficiais, podem provocar um aumento das tensões no solo e assentamentos na estrutura antiga.

2. Execução de grandes escavações próximas à construção

- A execução de escavações provocam movimentos no solo alterando as tensões iniciais assim como pode alterar o nível freático. Tais alterações podem ter efeitos sobre as fundações existentes nas proximidades, aumentando a possibilidade de ocorrência de assentamentos das estruturas. Tanto as fundações superficiais como as profundas podem sofrer as consequências das alterações na massa do solo.

Os movimentos do solo devido a escavações são causados pelas alterações na massa do solo, pela alteração do nível freático, pelo adensamento do solo, pela construção de muros de contenção e pela retirada das contenções provisórias, todas estas atividades relacionadas com a escavação provocam efeitos como translações, rotações, distorções que danificam a estrutura devido a fatores como (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010):

- Variação das tensões no solo devido à escavação;
- Resistência e rigidez do solo;
- Variação das condições do lençol freático;
- Rigidez do sistema de suporte;
- Forma e dimensão da escavação;
- Qualidade de execução dos trabalhos;
- Outros efeitos como preparação do local, execução de fundações profundas, entre outros.

Um exemplo deste tipo de patologia foi o que aconteceu no dia 27 de Junho de 2009, um edifício residencial de 13 andares situado em Xangai desabou (Figuras 2.52). Segundo consta, os trabalhadores da construtora executaram uma escavação próxima do edifício com o objetivo de construir um parque de estacionamento subterrâneo, sendo que todo o volume de terra escavada foi colocado do outro lado da estrutura. As tensões provocadas pelo peso da terra de um lado e o alívio das tensões no solo devido a escavação do outro lado da estrutura acabaram por expor as fundações, gerando o desabamento. Também é preciso ter em consideração o mau estado do terreno envolvente devido as chuvas, enchentes do rio próximo da construção, a fraca qualidade das fundações executadas, betão de fraca resistência e problemas nas paredes de contenção do rio. Na Figura 2.53 apresenta-se um esquema sobre as situações que levaram ao desabamento da estrutura.



Figuras 2.52 - Desabamento de um prédio em Xangai (Foncillas, 2009)

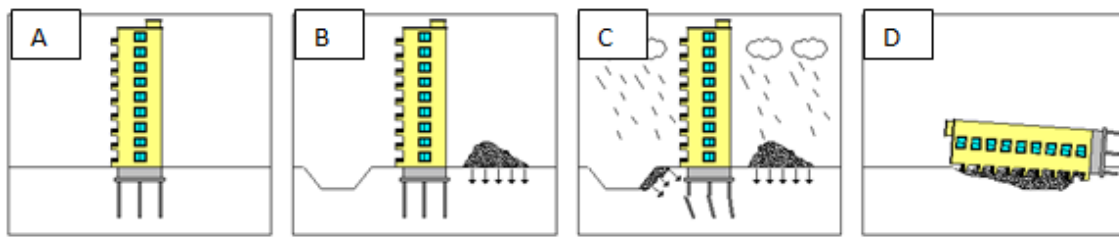


Figura 2.53 - Esquema das causas que originaram o desabamento do prédio em Xangai (Foncillas, 2009)

3. Escavações não protegidas

As escavações de pequena dimensão e executadas junto a obras existentes causam vários acidentes e provocam instabilidade (Figura 2.54). Quando são executadas escavações próximas de fundações é sempre necessário tomar medidas de prevenção de instabilidade da estrutura, pois as fundações superficiais são as mais afetadas devido a serem as mais sensíveis ao alívio de tensões.



Figura 2.54 - Descalçamento das fundações da estrutura devido a escavações próximas (Schnaid, 2006)

4. Instabilidade de taludes

A instabilização dos taludes surge geralmente na sequência da atuação dos processos geológicos, nomeadamente dos mecanismos de alteração e de erosão, sendo a instabilização muitas vezes desencadeada por uma ocorrência ou conjunto de situações invulgar, tais como uma precipitação excecional, um sismo ou pela intervenção humana. De entre os fatores com importância na estabilidade dos taludes podemos considerar os fatores condicionantes ou passivos: geológicos, hidrogeológicos e geotécnicos, que são intrínsecos aos materiais naturais, e os fatores ativos: cargas estáticas ou dinâmicas, mudanças nas condições hidrogeológicas, fatores climáticos e variações na geometria ou nos parâmetros resistentes dos terrenos. O conjunto dos vários fatores atuantes influencia o comportamento dos materiais e os mecanismos de deformação e de rutura.

Escavações decorrentes do processo de construção ou provocadas por fenómenos naturais, como a erosão, alteram o equilíbrio dos esforços no talude e provoca eventuais deslizamentos pontuais que danificam as fundações ou dependendo da magnitude do deslizamento e a profundidade da fundação, podem provocar o deslizamento completo da estrutura. Muitos dos problemas devido aos deslizamentos pontuais de encostas são provocados pela ausência de verificação da estabilidade do talude sob o efeito da sobrecarga provocada pela estrutura sobre o talude como se pode observar na Figura 2.55.

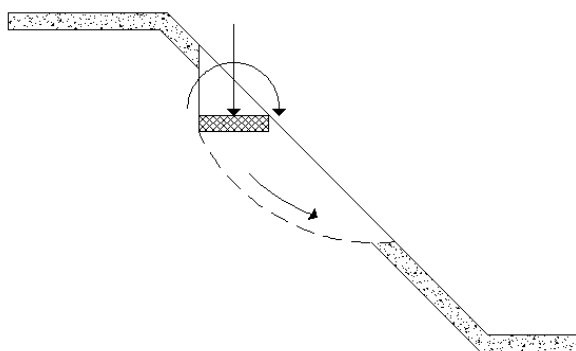


Figura 2.55 - A construção de uma estrutura provoca esforços no solo e problemas de estabilidade pontual do talude (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

Existem também os problemas de estabilidade geral das encostas naturais, que provocam deslizamentos de grandes massas de solo, cuja dimensão engloba a obra e as suas fundações (Figura 2.56), por isso é fundamental que o projeto contemple não só cálculo da transmissão das cargas ao solo mas também os efeitos e mecanismos do escorregamento da massa do solo e as suas consequências à obra a ser projetada.

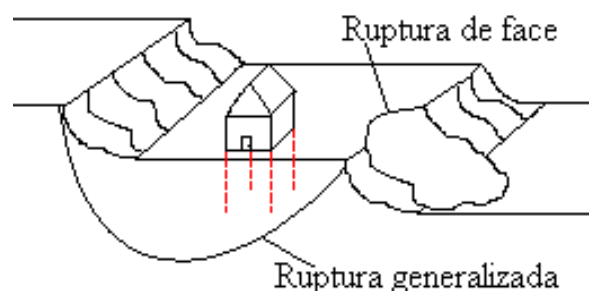


Figura 2.56 - Esquema mostrando a instabilidade dos taludes naturais e colocar em risco a estrutura (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

Os problemas da estabilidade de taludes em Portugal têm-se vindo a agravar porque as construções vão invadindo áreas com estabilidade precária, de modo a permitir a implantação, principalmente de edifícios e de vias de comunicação. Por outro lado, o abandono de terrenos agrícolas e florestais faz com que serviços de estabilização tradicionais conduzidos pelas populações, como a manutenção de obras de drenagem subterrâneas (principalmente minas de água), canaletes de encaminhamento de águas pluviais nas encostas, a reconstrução de muros de pedra arrumada, argamassada ou não, e a manutenção do próprio coberto vegetal, estejam a ser negligenciados (Leal Gomes e Quinta-Ferreira, 2010).

5. Vazamento de água no solo

Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010) menciona que a rutura de canalizações enterradas provoca problemas de erosão no solo, transportando as partículas do solo e deixando vazios que originam assentamentos estruturais. Em solos frágeis, situações de rompimento de canalizações podem provocar grandes danos nas estruturas.

Situações onde acontece uma grande acumulação de água num determinado local do solo, inexistente antes da implantação das estruturas construídas, podem afetar a estabilidade e a segurança das fundações. Casos em que há derrame contínuo de água de um reservatório ou vazamento de grandes tanques ou grandes coberturas que não tem um sistema de recolha de águas, podem provocar a saturação do solo, erosão e nos solos mais frágeis pode provocar movimentos de massa que origina assentamentos nas estruturas, especialmente em fundações superficiais.

6. Variação do nível freático

Quando ocorrem variações no nível freático não consideradas no projeto inicial pode dar origem a solicitações que causam danos na estrutura. Este tipo de problemas é comum nos

casos em que não é feito o registo do nível freático nas sondagens devido a se encontrar mais abaixo ou nos casos das estações de chuva e estações de seca o nível freático oscilar.

A presença de água nos solos não considerada em projeto provoca uma série de novos impulsos sobre a estrutura que não foi projetada para os suportar, o que pode provocar a rutura dos elementos enterrados (Figura 2.57).

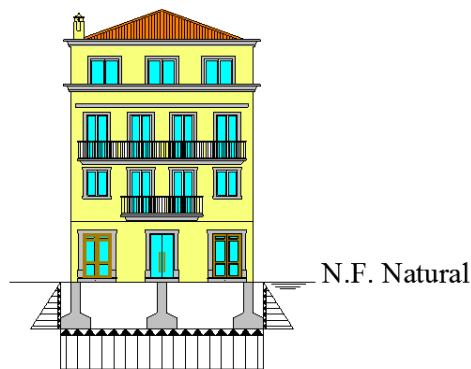


Figura 2.57 - Impulsos provocados pela água presente no solo sobre uma estrutura (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010)

Para efetuar construções abaixo do nível freático é recorrente utilizar métodos para baixar o nível freático. Sempre que o nível freático é rebaixado a tensão vertical efetiva do solo varia, resultando em deformações do solo que originam assentamentos nas estruturas.

O rebaixamento do nível freático também afeta as fundações das construções vizinhas, especialmente as que possuem fundações superficiais em solos granulares provocando assentamentos. Solos compactos ou medianamente compactos, são afetados nos casos em que o rebaixamento do nível freático provoca a perda ou movimentação de material do solo, mas os seus efeitos são pouco significativos. No caso dos solos argilosos, estes efeitos são mais significativos. Em solos orgânicos os efeitos são rápidos enquanto nos solos com argilas de baixa permeabilidade os efeitos dependem do tempo em que o rebaixamento ocorre. Um rebaixamento prolongado do nível freático pode provocar efeitos de adensamento do solo e assentamentos.

7. Erosão nas fundações

O fenómeno de erosão nas fundações atinge principalmente as fundações executadas dentro de leitos onde existam correntes de água, este fenómeno é bastante comum em pontes construídas sobre rios onde as suas fundações encontram-se no leito do rio e devido às

correntes de água, o material do fundo do rio é arrastado, deixando as fundações à superfície, este fenómeno consegue alterar o perfil do rio ao longo dos anos (Figura 2.58), e por isso tem muita importância e deve ser considerado no projeto de fundações.

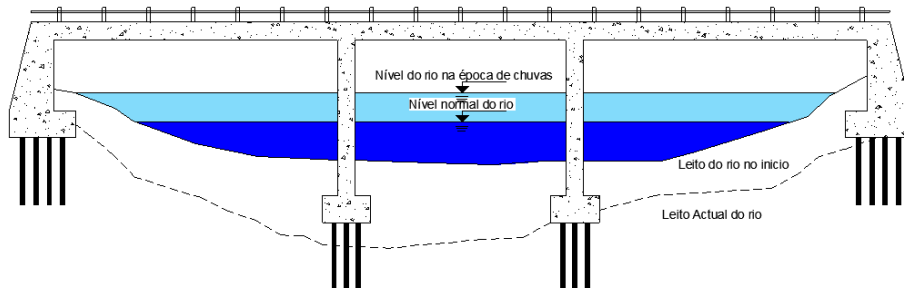


Figura 2.58 - Exemplo da alteração do fundo do leito do rio devido a erosão, deixando as fundações da ponte ao descoberto o que pode provocar instabilidade ou colapso da ponte (Muñoz *et al.*, 2006)

O fenómeno da erosão coloca a descoberto as fundações, o que aumenta a sua instabilidade e no caso de serem elementos esbeltos aumenta as possibilidades de haver flexão dos elementos estruturais o que pode levar ao colapso da estrutura. É extremamente importante a realização de vistorias a estruturas que possam sofrer problemas deste tipo (Figuras 2.59).

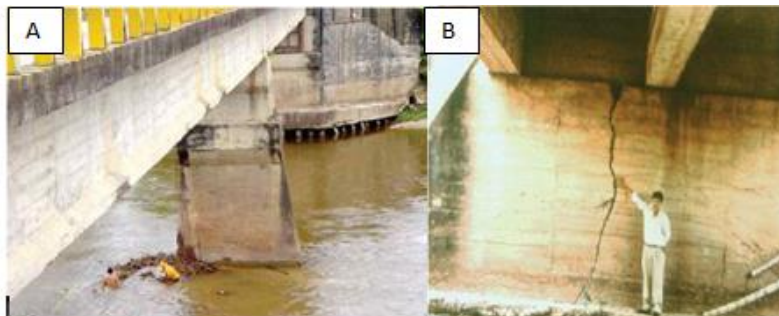


Figura 2.59 - Imagens onde é visível a erosão que a ponte sobre o rio está a sofrer (A), e fissuras como uma consequência de tal fenómeno (B) (Muñoz *et al.*, 2006)

Um exemplo do poder destrutivo deste fenómeno foi o que aconteceu em Portugal na ponte de Entre-os-Rios, que ligava Eja (Penafiel) a Sardoura (Castelo de Paiva). Esta ruiu a 04 de Março de 2001 devido à cedência do pilar P4, após cinco grandes cheias no Douro (Figura 2.60). O colapso da ponte foi provocado pela erosão junto ao pilar e pela extração de areias, acelerando o processo de descalçamento da fundação do pilar P4. Segundo o relatório do LNEC um reforço no pilar P4 teria sido suficiente para evitar o colapso da ponte.



Figura 2.60 - Ponte de Entre-os-Rios em ruína devido essencialmente à erosão nos seus pilares (TVI24)

8. Vibrações e choques

As acções exteriores que provocam vibrações ou choques como compactação dos solos, explosões para desmonte de rochas, equipamentos de cravação, equipamentos industriais que podem estar dentro ou fora da estrutura, entre outros, podem provocar o surgimento de patologias na estrutura. Este tipo de ação afecta principalmente as fundações superficiais assentes em solos arenosos saturados; as vibrações podem provocar o rearranjo das partículas e diminuição do índice de vazios o que pode provocar assentamentos estruturais, e até colapso brusco em caso de liquefação do solo.

Os Equipamentos industriais que produzem vibrações, como equipamentos de corte, equipamentos de moldagem, etc. provocam o surgimento de problemas nas fundações da estrutura. Para este tipo de estrutura é necessário estudar soluções de isolamento que anulem as vibrações produzidas, por exemplo, máquinas de grandes dimensões como geradores normalmente são criadas fundações separadas por juntas, amortecedores ou molas para evitar a transmissão de vibrações.

No caso de cravação de estacas metálicas ou pré-moldadas através de esforços dinâmicos pode ocorrer deslocamentos da massa do solo, bem como o uso de equipamento de vibração pode alterar as tensões do maciço devido ao rearranjo das partículas, podendo afetar as fundações das construções vizinhas. Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010) propõe um conjunto de medidas para reduzir os efeitos da cravação de estacas:

- Execução de pré-furos;
- Cravação através do uso de jato de água em areia compactas;
- Uso de estacas com menor secção possível;
- Iniciar os trabalhos de cravação a partir das estacas mais próximas das estruturas existentes;

- Evitar a cravação através de métodos vibratórios em solo argilosos;
- Utilizar estacas moldadas quando existir risco de assentamentos nas estruturas vizinhas.

A compactação de solos através de equipamentos vibratórios ou de percussão pode provocar efeitos nas estruturas vizinhas através da propagação das vibrações na massa do solo. Este tipo de atividade deve ser executada fazendo uma previsão do melhor equipamento adequado à situação para evitar danos significativos. Equipamentos com carga superior a 50 KN não devem ser utilizados em centros urbanos.

O uso de explosivos para remoção de rocha ou explosões para demolição de estruturas de betão armado provoca vibrações, pressões sonoras, lançamento de detritos, que causam danos às estruturas. Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010) explica que o planeamento de explosões deve incluir as seguintes etapas:

- Avaliação do local onde são executadas as explosões e a determinação do perímetro no qual as ondas de choque se propagam;
- Investigação do estado de estabilidade e as condições em que se encontram as fundações das estruturas que se encontrem no perímetro de risco, verificação de todas as fissuras que as estruturas possuem e fazer um registo fotográfico para evitar situações de aproveitamento por parte dos moradores das estruturas vizinhas;
- Avaliações da forma como as estruturas respondem à vibração, assim como os equipamentos que se encontram no interior destas;
- Avaliação das obras subterrâneas como túneis, reservatórios, etc. Que pode ser danificada com as explosões;
- Informação às povoações envolvidas sobre os riscos das explosões e as consequências das mesmas.

2.5. Degradação dos materiais das Fundações

A degradação dos materiais e dos elementos estruturais que estão em contacto com o solo e a água ao longo do tempo deve ser considerada na fase de projeto de forma a garantir a integridade da estrutura ao longo dos anos. A ação dos elementos naturais sobre as fundações obriga a um estudo sobre os seus efeitos e os possíveis danos que possam vir a causar.

Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010) defende que durante a fase de prospeção dos solos devem ser identificados os materiais mais agressivos ou contaminantes para que seja encontrada uma solução para o problema. As principais características que devem ser

verificadas num ambiente agressivo são o pH do solo, teor de sulfatos e o teor de cloretos. Aterros com resíduos industriais, locais de depósitos de elemento potencialmente agressivos ou de natureza desconhecida têm de ser alvo de uma avaliação dos seus efeitos a longo prazo. As principais indústrias que desenvolvem atividades que podem contribuir para a degradação dos materiais são as indústrias químicas, petroquímicas, de fertilizantes, laticínios, açucareira, vitivinícola, entre outras.

Neste tópico vão ser estudadas as principais patologias decorrentes da degradação dos materiais utilizados nas fundações como o betão, o aço, a madeira e a rocha.

2.5.1. Betão

Segundo *Moreira et al.* (2007, in *Carvalho, 2010*) os elementos de betão ao longo da vida útil devem estar aptos a cumprir com os requisitos, a nível de segurança, qualidade das condições de serviço e a durabilidade, definidos em projeto. Infelizmente, muitas estruturas de betão, por diversos motivos, são alvo de intervenções de manutenção ou reparação após poucos anos em serviço. As causas da degradação do betão têm principalmente duas origens: erros humanos e causas naturais.

Em relação aos erros humanos *Moreira et al.* (2007, in *Carvalho, 2010*) menciona que estes podem surgir quer na fase da conceção de projeto da estrutura, quer na fase da construção. O engenheiro durante a conceção do projeto deve ter em conta não só as cargas que atuam nas fundações da estrutura, mas também tem de ter em conta o tipo de ambiente onde vão ser implantadas. Esta classe de exposição ambiental define a dosagem mínima de ligante e a máxima relação água/ligante do betão. Só depois de conhecer o tipo de ambiente pode-se definir a classe de resistência que devemos considerar para o betão.

Na fase de execução das fundações devemos ter em consideração a composição, tempo de cura e compactação do betão, recobrimento das armaduras, má interpretação do projeto e deficiente qualidade dos materiais utilizados (Figura 2.61).

Em relação às ações naturais *Moreira et al.* (2007, in *Carvalho, 2010*) organiza-as em três grupos, as ações químicas, ações físicas e ações biológicas.

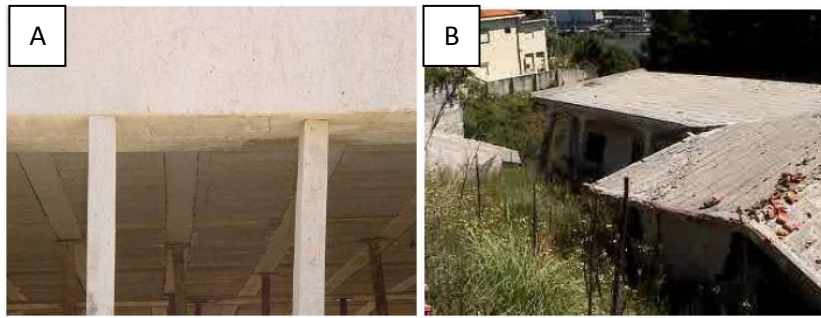


Figura 2.61 - (A) fissuras numa viga; (B) colapso de uma estrutura (Moreira *et al.*, 2007, *in* Carvalho, 2010)

- **Ações químicas:**

Carbonatação - É a reação química entre a cal (desenvolvida durante a hidratação do cimento) e o dióxido de carbono presente no ar. Esta reação forma carbonato de cálcio.

Após esta reação há a redução do pH do betão de 13,5 para valores inferiores a 9.

Agressão por iões de cloro - Podem ser devido a:

- Cloreto de sódio - Este sal desenvolve diferentes formas de agressão contra o betão. O cloreto de sódio pode causar corrosão nas armaduras de reforço. Este fenómeno é caracterizado por um grande aumento de volume podendo originar expansão;
- Cloreto de cálcio - Reage sempre com a pasta de cimento criando um perigoso composto: oxiclreto de cálcio. Caracteriza-se por um grande aumento de volume podendo originar expansão.

Agressões por sais sulfatados - Os sais sulfatados encontram-se no solo, na água do mar e nos materiais constituintes do betão. Em presença da humidade estes reagem com a pasta de cimento. Os fatores que influenciam o ataque dos sulfatos:

- A quantidade e natureza do sulfato existente, quanto maior for a concentração de sulfatos no solo ou na água mais severo será o ataque;
- O nível freático e a sua variação;
- Fluxo de água subterrânea e porosidade do solo;
- Forma da construção e qualidade do betão utilizado.

Álcali (Na e K) - agregado - Reação dos álcalis (sódio e potássio) do cimento com diversas formas de sílica amorfa presentes em alguns agregados. Esta reação causa tensões que podem originar expansão e fissuras no betão.

- **Ações físicas:**

Ciclo de gelo/degelo - Quando a água congela, o seu volume sofre um incremento de 9%, que provoca tensões, fissuras e desagregações. Uma solução é introduzir 4-6% de ar no betão (em função da classe de exposição ambiental).

Retração - A retração origina forças de tração; quando estas forças superam a resistência à tração do betão surgem fissuras.

Temperaturas elevadas - A camada de recobrimento tem que proteger a armadura metálica de reforço e tem de evitar que a sua temperatura máxima exceda os 500°C em qualquer ponto. O betão pode resistir, sem danos, até uma temperatura máxima de 500°C.

Abrasão - A abrasão consiste no desgaste por atrito da camada superficial do betão. Baixa relação água/cimento melhora a resistência do betão à abrasão assim como a utilização de agregados resistentes à abrasão e a prescrição de um betão, pelo menos, da classe de resistência C30/37.

Erosão - Fenómeno que resulta da ação de agentes dinâmicos externos (ar, vento, água, gelo, seres vivos, etc.). O grau de erosão depende do tipo e potência do agente erosivo e da qualidade do betão.

Cavitação - Fenómeno físico que ocorre em canais quando a velocidade da água é superior a 12m/s e as superfícies de contacto são irregulares. As variações de pressão causam desagregações das superfícies do betão.

- **Ações biológicas:**

O fenómeno mais importante a considerar é a ação dos esgotos, devido à presença do enxofre que é transformado em ácido (sulfídrico, sulfúrico) ou sulfatos, pela presença de micro-organismos. Outras ações a considerar são as de origem vegetal (raízes ou fungos) e as de origem animal.

A utilização de fossas sépticas, valas de infiltração e sumidouros produzem na projeção da edificação, dentro dos limites do próprio terreno uma distribuição dos efluentes de maneira praticamente uniforme pelos elementos de fundação. Este efluente é constituído de substâncias químicas agressivas como são os casos das provenientes de materiais de limpeza e de matérias orgânicas. Além disso, a região situada abaixo da laje de impermeabilização que veda o ambiente definido pelo espaço situado no entorno dos elementos de fundações, cintas, pescoços de pilares e reservatório fica permanentemente húmida. Esta condição favorece a deterioração dos materiais e cria situações propícias para a proliferação de micro-organismos com a conseqüente colonização destes materiais que certamente contribuirão para a deterioração acelerada dos elementos das fundações. Estes fenómenos têm contribuído para a redução da vida útil dos componentes construtivos já tendo ocorrido, inclusive, acidentes com vítimas fatais (Zarzar Júnior, 2010).

2.5.2. Aço

A maioria dos metais encontram-se na natureza sob a forma de compostos (salvo raras exceções como ouro, platina, entre outros), estes compostos podem ser óxidos, sulfuretos, entre outros. Tais compostos são as formas mais estáveis para os mesmos. O processo de corrosão pode ser entendido como a forma que um metal tem para retornar a um composto mais estável. Por exemplo, quando uma peça de aço enferruja, o ferro (principal componente), está retornando à forma de óxido de ferro.

Paiva Martins (1983) define a corrosão dos metais como o “Regresso às origens”, ou mais propriamente dito, a reposição no universo das formas. O processo tem lugar sob a forma de reações químicas do tipo heterogêneo e desenvolve-se através do contacto metal-meio envolvente. Se esse contacto estiver isento de humidade, trata-se de uma corrosão seca, caso contrário será uma corrosão húmida.

Soares (2008), apresenta quatro tipos de corrosão dos metais:

Corrosão pelo ar - A maioria dos metais tende a se combinar com o oxigénio do ar, produzindo os respetivos óxidos. Não considerando a ação de vapores contidos no ar (de água, etc.), esse processo se dá de forma lenta para o ferro em temperaturas usuais de ambientes.

Entretanto, em alguns metais como o alumínio a corrosão é rápida mas acontece o fenómeno da apassivação: a camada de óxido formada na superfície isola o oxigénio e impede a continuação do processo.

A presença de vapor de água acelera a corrosão e ainda mais se tais vapores contêm substâncias agressivas como sais ou ácidos. Ocorre em muitos ambientes industriais, locais próximos ao mar, entre outros.

A prevenção e o combate dependem de cada caso. Métodos comuns são, por exemplo, uso de tintas protetoras, tratamentos superficiais como niquelagem, cromagem, entre outros.

Corrosão por ação direta - Pode-se incluir neste item os casos em que o metal está diretamente em contacto com substâncias que o atacam. É comum em processos industriais. Exemplos: soluções químicas, sais ou outros metais fundidos, atmosferas agressivas em fornos, etc. A prevenção e controle são específicos para cada caso.

Corrosão biológica - Refere-se a corrosão e perda de metal causada por microrganismos. É caracterizada por pequenas colónias dispersas. Por exemplo, corrosão da hélice de barcos

quando microrganismos a ela se agregam, liberando ou absorvendo oxigénio. Este fenómeno é particularmente observado em indústrias de conservas alimentícias.

Corrosão galvânica - É provavelmente o tipo mais comum, porque a corrosão em função da água quase sempre se deve ao processo galvânico. Estruturas expostas ao tempo, submersas ou subterrâneas. Nessas condições, há a presença, constante ou não, de água, que favorece a formação de células galvânicas.

Na prática, as células galvânicas formam-se devido às diferenças de materiais existentes como soldas, conexões ou simples diferenças superficiais no mesmo metal. O eletrólito pode ser a água contida no solo ou em contacto direto com o líquido.

Corrosão que ocorre quando metais ou ligas com potenciais eletroquímicos diferentes é acoplada um ao outro. Ferreira acrescenta mais três tipos de corrosão para além dos referenciados por Soares (2008):

Corrosão por sais fundidos: Corrosão de metais devido à ação de vapores de sais fundidos. Ex. Instalações de tratamento térmico de metais onde o aquecimento é feito através de sais fundidos.

Corrosão por metais líquidos: Degradação corrosiva de metais em presença de certos metais líquidos como mercúrio, zinco, chumbo e cádmio. Esta ação corrosiva pode provocar: dissolução química metal/metal, fragilização e quebra.

Corrosão devido a altas temperaturas: Corrosão pela reação de metais expostos a agentes oxidantes a altas temperaturas provocando: Oxidação, Carbonização e outras formas menos comuns. Por exemplo, metais ou ligas quando aquecidos a partir de um combustível contaminado, por exemplo, com enxofre.

Schnaid *et al.* (2005, *in* Carvalho, 2010) refere que as estacas metálicas executadas em solos naturais em contacto com água e ar podem estar sujeitas à corrosão e devem ser por isso devidamente protegidas. A corrosão do aço também pode ocorrer se os elementos de fundação estiverem em contacto com solos contendo materiais agressivos ou aterros, se tiverem em ambientes aquáticos ou submetidos a efeitos de variações do nível de água. A ação da corrosão ocorre em função da temperatura ambiente, nível de pH do solo, oxigénio e elementos químicos que se encontrem no ambiente.

Estruturas de fundações metálicas requerem atenção especial quando instaladas em zonas marinhas ou ambientes fluviais. Estas estruturas podem estar localizadas em três tipos de regiões (Schnaid *et al.*, 2005, *in* Carvalho, 2010);

- Zona atmosférica - acima do contacto com a água;
- Zona de variação - zona exposta a variações do nível de água;
- Zona de imersão - zona que fica sempre abaixo do nível mínimo de água.

Dentro dos três tipos de regiões a mais afetada pela degradação é a zona de variação entre o nível de água e a presença de oxigénio, sendo que a corrosão não é uniforme ao longo da estaca metálica em ambientes marinhos.

O mesmo autor refere que geralmente estacas metálicas quando enterradas por inteiro em terreno natural dispensam de qualquer tratamento especial, independentemente do nível freático. Havendo, porém, um trecho da estaca desenterrado ou enterrado em aterro que possa conter materiais que atacam o aço, é importante fazer a proteção da estaca.

2.5.3. Madeira

Araújo (2005), *in* Carvalho (2010), refere que os materiais de construção são degradados pelos efeitos de condições ambientais adversas e a extensão dos danos consequentes depende quer dos materiais, quer da sua condição. A madeira permanece um dos materiais mais úteis num mundo de recursos decrescentes e é um componente de primeira importância nas edificações históricas. Ela tem muitas propriedades estruturais e estéticas positivas, assim como é um recurso energeticamente eficiente e renovável. No entanto, a madeira proporciona nichos ecológicos especializados e muitos organismos evoluíram para a usarem como alimento. Os mais vulgares destrutivos para a madeira são a podridão seca, a podridão húmida, o caruncho. A Tabela 2.3 mostra os principais agentes que causam degradação nas madeiras:

Tabela 2.3 - Principais causas da degradação da madeira (Araújo, 2005, *in* Carvalho, 2010)

Tipo	Agente	Factores ambientais
Biológicos	Fungos (podridão seca, podridão húmida, bolores e outros); Bactérias; Actinomicetes; Líquenes, musgos e algas; Larvas de insectos xilófagos (caruncho vulgar, caruncho <i>death watch</i> e outros), caruncho das alcatifas, traças, bibliófagos e térmitas "peixe de prata".	Humidade atmosférica e dos materiais; Movimento do ar; Temperatura; Luz; Poeira; Fonte de alimentação.
Químicos	Ácidos, álcalis e solventes	Polluição Tratamentos curativos
Físicos	Abrasão mecânica Desgaste por utilização e outros Decomposição por agentes físicos, tais como aquecimento, fogo e humidade prolongada	Uso normal Desgaste pelos visitantes Danos acidentais Luz do sol Aquecimento Fogo Humidade
Radiação	Raios ultravioletas	Exposição à luz solar

CAPITULO 3

PATOLOGIAS COM ORIGEM GEOTÉCNICA NA COVILHÃ

3.1. Introdução

Após uma descrição das diversas patologias ocorridas de origem geotécnica por diversos autores procedeu-se a uma avaliação com algum pormenor em situações ocorridas na cidade da Covilhã. A Covilhã encontra-se numa encosta de declives acentuados com desenvolvimento para uma planície aluvial denominada Cova da Beira.

A Covilhã tem um significativo desenvolvimento ao nível urbano/industrial, associado à realização de novas vias de comunicação; estas situações têm levado a problemas ligados a fundações e instabilidade de taludes, quer por escavação quer de aterros (devido à sua não adequada compactação) que na generalidade das situações têm ocorrido por fraco conhecimento das características geotécnicas destes solos, que muitas vezes “para dificultar” não se comportam segundo as teorias clássicas da Mecânica dos Solos, devido à existência de “descontinuidades residuais” preenchidas com material silto-argiloso, que associadas aos fluxos subterrâneos provocam rupturas inesperadas; o comportamento dos maciços neste tipo de situações ainda é pouco conhecido, mesmo a nível mundial (Pastore e Cruz, 1993, *in* Ferreira Gomes *et al.*, 1995).

Com uma área total de 55600 ha, o concelho da Covilhã possui uma população urbana e suburbana de cerca de 54000 habitantes, e integra 31 freguesias.

A densidade populacional é de 69 hab/km², valor próximo para a região centro do país (73 hab/km²) mas bastante inferior à média do território nacional de 106 hab/km².

Desde os primórdios da civilização que a Engenharia de Fundações é ponto assente e fulcral na evolução das construções. Direta ou indiretamente, com o nome que hoje lhe é atribuído, ou outros, a Engenharia de Fundações foi acompanhando a evolução das estruturas (Pinheiro, 2013).

A par da evolução da civilização, bem como a par do desenvolvimento tecnológico, principalmente na segunda metade do século XX surgiram novas necessidades e exigências até então não verificadas (Cavaleiro, 2001).

Surge uma necessidade de expansão dos núcleos urbanos, das infraestruturas e superestruturas nestes inseridos. Com isto, são criados novos critérios de qualidade, conforto e segurança a todos estes níveis.

É neste ponto que faz sentido o enquadramento do tema do presente trabalho.

À luz do que se verifica em todos os núcleos, também na cidade da Covilhã surgiu a necessidade de expandir o edificado a novas áreas, de construir em áreas até então impensáveis, no sentido de defender os interesses e novas exigências das populações (Pinheiro, 2013).

3.2. Enquadramento Geográfico

A cidade da Covilhã, hoje sede de concelho do distrito de Castelo Branco ocupando uma área de aproximadamente 42km², encontrando-se o centro da Covilhã, a 40° 17' 29'' de latitude Norte e a 7° 30' 30'' de longitude Oeste, na vertente SE da serra da Estrela. O relevo da Cordilheira central, é descontínuo e alongado segundo a direcção ENE - WSW, e constituído por várias zonas montanhosas oblíquas que se alongam de NE para SW (Figura 3.1). Esta vê-se estendida por cotas que variam entre os 450 e 800 metros de altitude, na encosta Sudeste da Serra da Estrela, o mais alto sistema montanhoso da área continental.

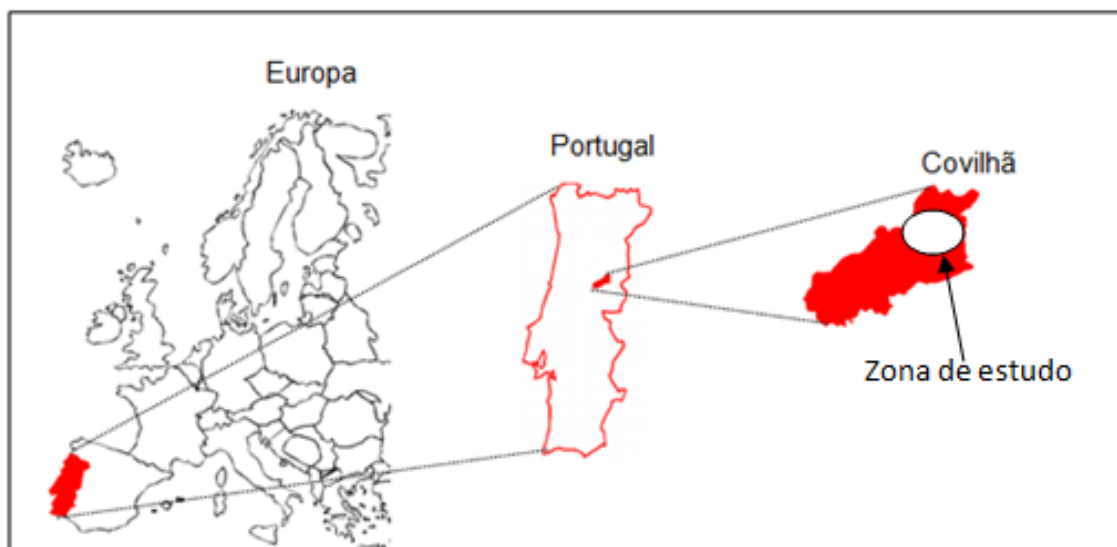


Figura 3.1 - Enquadramento geográfico do local de estudo, Covilhã, Portugal (Adptado de Pinheiro, 2013)

3.3. Caracterização Geomorfológica e Geológica

A nível regional a zona em estudo insere-se na unidade morfológica da Cova da Beira (figura 3.2). Esta caracteriza-se por uma depressão de bordos assimétricos, com cerca de 30 km de comprimento e 12 km de largura, orientado segundo NE-SW (Nordeste-Sudoeste). A zona em estudo revela um declive bastante acentuado, oscilando entre os 672 m e 628 m, respetivamente.

A Covilhã sendo uma cidade de montanha, por si só, leva a que existam diversas patologias originadas pela escavação-aterro para criar plataformas, desvio ou obstrução de linhas de água, erosão, heterogeneidade dos solos, blocos de rocha, falhas, entre outras. Durante o longo caminho realizado ao longo das ruas envolventes da cidade é fácil verificar algumas destas situações e com alguma frequência.

Segundo Teixeira *et al.* (1974), a geomorfologia que caracteriza o maciço resulta essencialmente de movimentos tectónicos ocorridos entre o Miocénio Superior e Pliocénio, acompanhados de um processo erosivo vincado pela ação dos glaciares que cobriam a parte mais alta da Serra da Estrela há cerca de 18.000 a 20.000 anos. Também as linhas de fraturas condicionaram o relevo e a estrutura morfológica da serra, assim como o desenvolvimento da rede hidrográfica.

Geologicamente, no contexto regional, caracteriza-se essencialmente por ocorrerem granitos e xistos, e em menor expressão aluviões, depósitos de vertente, terraços fluviais, e depósitos fluvio-glaciários e glaciários. A zona em estudo dominante é um granito porfiróide (Granito da Covilhã), de grão grosseiro de duas micas, especialmente o biotítico, com andaluzite e silimanite frequentes e alguma turmalina (Cavaleiro, 2001).

Durante o mês de Agosto ocorrem com certa frequência, nesta área, chuvas acompanhadas por “trovoada” com grande poder destruidor, ficando a dever-se à própria exposição da região da Covilhã, na vertente leste do maior acidente topográfico no continente - a serra da estrela (Cavaleiro, 2001).

Dado ser uma área com declives bastante acentuados (Figura 3.2), rapidamente estas enxurradas abrem sulcos nos taludes, desprovidos de vegetação, e em poucos minutos, arrastam consigo enormes quantidades de materiais que se desagregam facilmente e se propagam pelas zonas de declive mais baixo. Este tipo de enxurradas permitem a obstrução das condutas de águas pluviais devido aos detritos que os mesmos transportam e faz com que a água circule por caminhos secundários, que por vezes não se encontram devidamente preparados para tal.

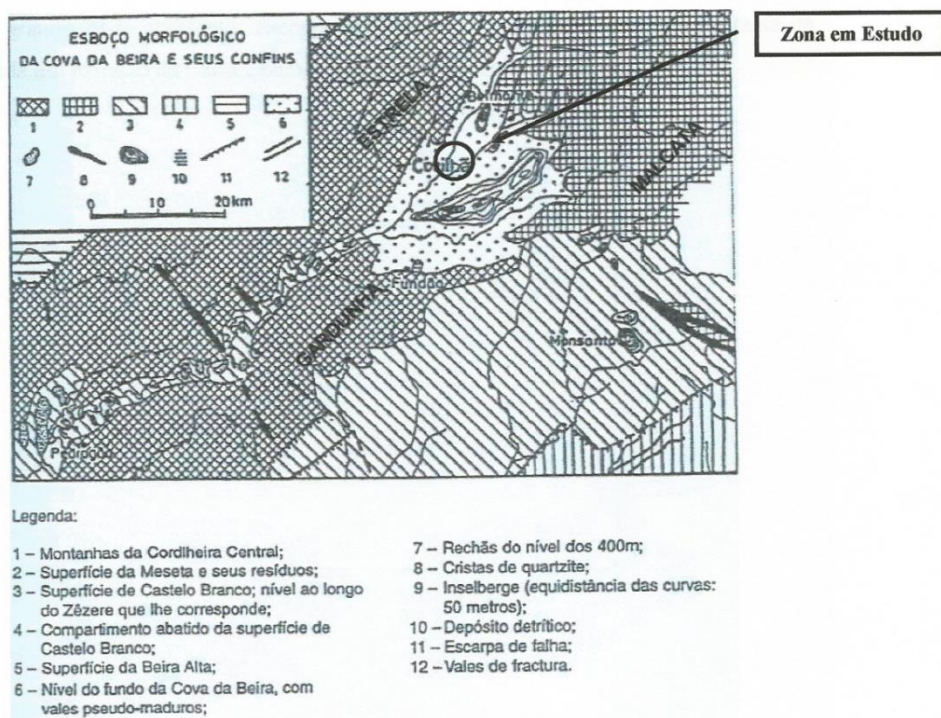


Figura 3.2 - Esboço geomorfológico da Cova da Beira e região envolvente (Marques *et al.*, 2006)

A cidade da Covilhã é propícia, durante 6 meses do ano, a temperaturas muito baixas e com geada. Estas temperaturas mínimas, próximas dos 0°C, não deixam de contribuir para desencadear processos erosivos ao nível do solo, resultantes da alternância gelo-degelo, como é comum nas zonas periglaciares (Cavaleiro, 2001).

Cavaleiro (2001) refere as condicionantes impostas pelos declives demasiado acentuados à expansão de núcleos urbanos, e conseqüentemente à Engenharia Civil, tais como o aumento de movimentação de terras, o aumento do volume das fundações dos edifícios, a exigência de fundações especiais, em muitos casos, a necessidade de construção de estruturas de contenção e outras obras geotécnicas. Em seguida encontra-se a carta de declives aplicadas à região da Covilhã (Figura 3.3).

Relativamente ao número de dias com geada ou neve, embora não sendo elevado, pode desenvolver processos de fluência (“creeping”) observáveis, nomeadamente, nas vertentes de maior declive e desprovidas de vegetação, quer pelos motivos de incêndios que lavraram nos últimos anos, quer por “conquista” dos solos para a construção ou reflorestação (Cavaleiro, 2001).

A maior parte das construções em análise encontram-se assentes em solo arenoso resultantes da alteração do granito da Covilhã, de espessura variável, com heterogeneidades verticais e laterais e ainda em zonas com consideráveis declives, com zonas aparentemente menos bem

compactadas ou em blocos de rocha, o que se torna propícia ao fenómeno escavação e aterro.

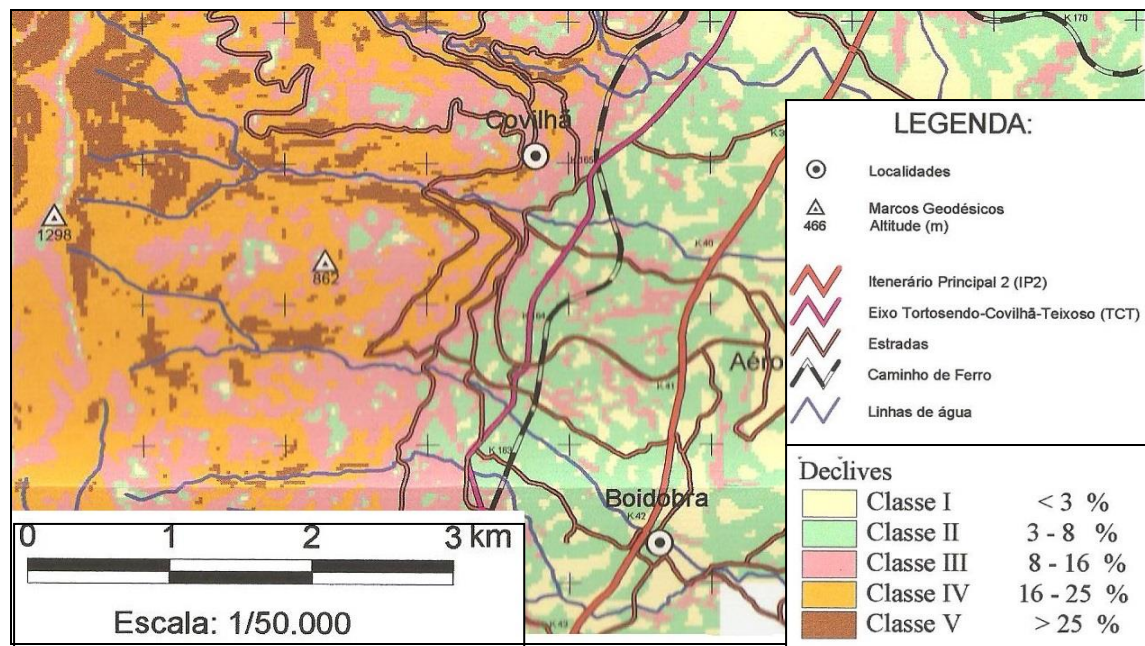


Figura 3.3 - Excerto da Carta de Declives da Região da Covilhã (Cavaleiro, 2001)

Os deslocamentos verticais de maior magnitude ocorrem, normalmente, numa zona de maior espessura de aterro. Por vezes também pode haver lubrificação das areias de aterro com a subida do nível freático ou possíveis infiltrações no subsolo, estas infiltrações levam à erosão interna do aterro.

Em termos de estabilidade de terrenos, o declive, só por si, pouco poderá dizer com rigor, já que se deve entrar em consideração com outros aspectos como a constituição litológica, a estrutura geológica do substrato e as características geotécnicas, no entanto os custos totais de construção e das instalações de infra-estruturas, com segurança, pode ser muito significativo. Assim, o declive elevado implica custos adicionais por um conjunto de factores (Cavaleiro, 2001):

- I. Aumento de movimentação dos terrenos;
- II. Aumento do volume das fundações dos edifícios;
- III. Exigências, em muitos casos, de fundações especiais;
- IV. Necessidade de construção de muros de suporte, e outras obras geotécnicas de reforço e contenção.

Em termos geológicos apresenta-se um extrato da carta geológica de Portugal, para a região da Covilhã, na Figura 3.4. O tipo litológico dominante é um granito porfiróide, de grão

grosseiro, de duas micas, essencialmente biotítico nos mais variados estádios de alteração designado pelo Granito da Covilhã.

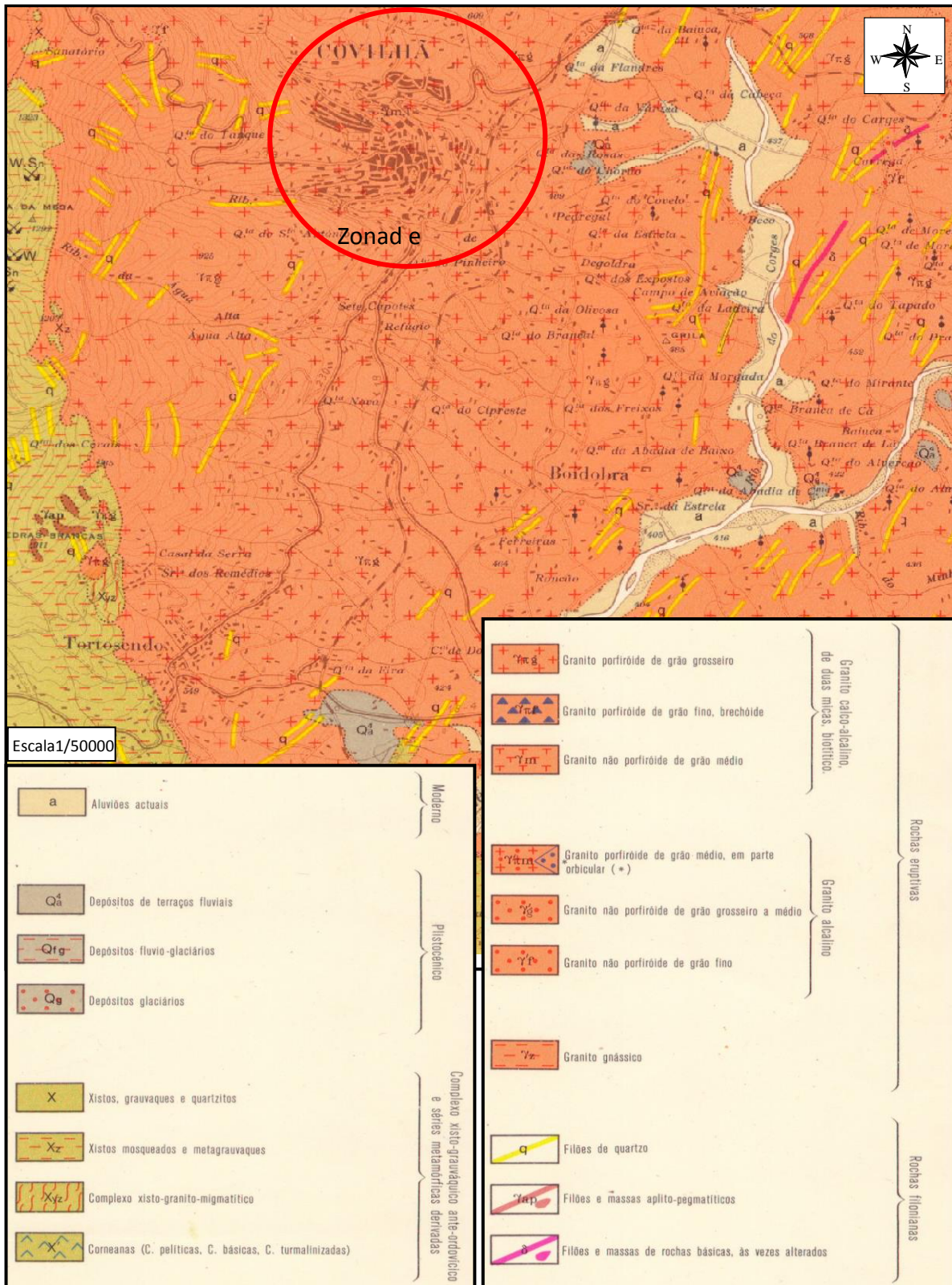


Figura 3.4 - Localização da zona de estudo em extrato da Carta Geológica da Covilhã (carta nº 20-B Covilhã, Escala 1/50000, Teixeira *et al.* 1974)

3.4. Caracterização Geotécnica da Zona Urbana da Covilhã

As grandes obras de engenharia tanto superficiais como subterrâneas, cada vez mais arrojadas e envolvendo por vezes sofisticadas técnicas e métodos construtivos ao longo das últimas décadas, ficam também como marcos de uma época em que o crescimento desorganizado das grandes cidades provocou problemas de difícil resolução. Para que o progresso e o desenvolvimento possibilitem uma melhoria nas condições de vida das populações, é necessário que evoluam de uma forma correta, para o que se exige uma contribuição geológica e geotécnica de cada técnico-científico e cada vez mais pormenorizada, aplicada ao planeamento regional e urbano (Cavaleiro, 2001).

O PDM da Covilhã publicado em 1999 no Diário da República, e à semelhança do que, infelizmente, acontece em outros concelhos do País, não incorpora qualquer estudo de índole geotécnica. Em consequência, o previsto em termos de ocupação urbana e de áreas industriais, com certas estruturas pesadas, por vezes não é nos locais mais adequados devido a terem características geotécnicas deficientes. Daí a necessidade de mapas geotécnicos e em especial para as principais zonas urbanas do País. Nesse sentido, Cavaleiro (2014) apresentou a carta geotécnica para a zona urbana da Covilhã. Na Figura 3.5 apresenta-se a carta litológica da zona da Covilhã, ocorrendo principalmente três tipos de formações litológicas principais:

- I. Formações recentes (complexo aluvionar, depósitos fluvio-glaciares e terraços fluviais);
- II. Solos residuais (granitos e granodiorito e de xisto);
- III. Rochas Graníticas (porfiróides de grão grosseiro, granitos não porfiróides de grão médio/fino e granodioritos).

Os solos residuais de granito ocupam 57% da área estudada, seguindo-se as rochas graníticas da Covilhã com 32%.

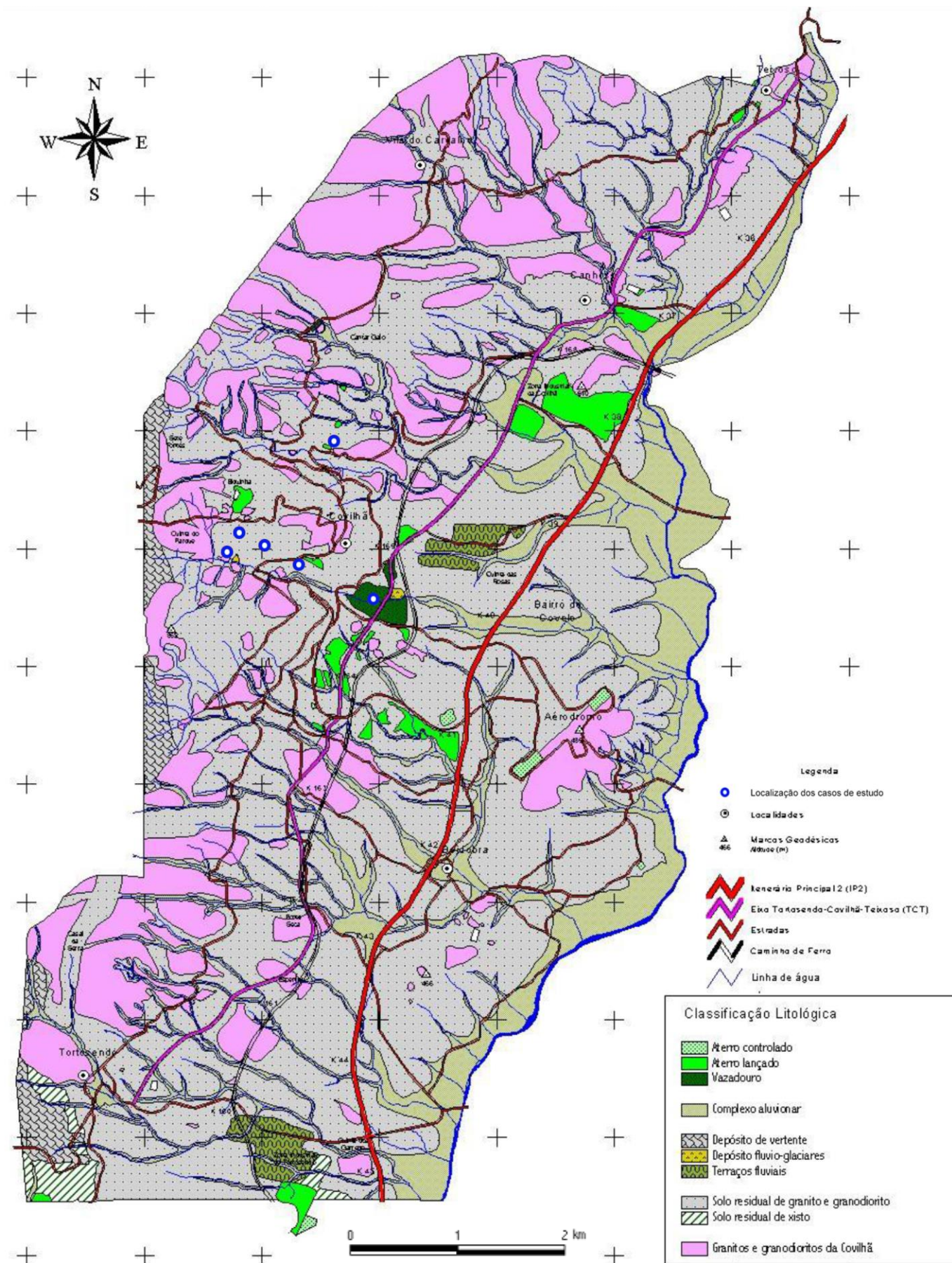


Figura 3.5 - Carta das Unidades Litológicas da Região da Covilhã (Cavaleiro, 2014)

Com base nesta caracterização, os casos em estudo no trabalho encontram-se praticamente todos em solo residual de granito, o que vai ao encontro dos problemas evidenciados nos mesmos.

No sentido de completar a informação geotécnica para a zona em estudo, apresenta-se a Tabela 3.1, com as principais características geotécnicas para as várias unidades litológico-geotécnicas.

Tabela 3.1 - Síntese das características das Unidades Geotécnicas (Adaptado de Cavaleiro, 2001)

Unidade Litológico-Geotécnica	Unidade Litológica	Classificações		Características Gerais						Propriedades Físicas				Características de resistência	
		Unif.	AASHTO	LP (%)	LL (%)	IP (%)	g _s (kN/m ³)	Exp (%)	K (m/s)	EA (%)	W _n (%)	γ _n (kN/m ³)	γ _{dn} (kN/m ³)	W _{opt} (%)	Φ (Graus)
Aterros Controlados - (G10-C)	Aterro	SW	A-1-a(0)	-	NP a 34	NP	-	-	1.5x10 ⁻⁴	36 a 37	7.0 a 7.1	21.6 a 22.3	20.0 a 20.8	6.7 a 9.2	-
Aterros Lançados - (G10-L)	Aterro	SWSM	A-1-(0)	-	NP a 30	NP a 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vazadouros - (G10-V)	Aterro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solos arenosilto-argiloso - (G9-Tipo I)	Aluvião	SC SM SP-SM SW	A-6(3) A-6(4) A-6(2) A-2-4(0)	7.0 a 20.5	24.5 a 31.0	5.2 a 19.6	26.1 a 27.1	5.0 a 10.0	-	-	16.7	-	14.5	-	27-34
Areias grosseiras, seixos e calhais - (G9-Tipo II)	Aluvião	GW	A-1-b(0)	NP	NP	NP	-	-	10 ⁻⁵	91	-	-	-	-	-
Solos residuais de granito e granodiorito - (G5)	Granito e Granodiorito da Covilhã	SM SP-SM SW SC SWSM SP SW-SC SP-SC GC	A-1-b(0) A-2-4(0) A-1-4(0) A-2-6(0) A-4(1) A-4(3) A-4(8) A-4(0) A-2-6(1) A-2-6(4) A-2-7(1) A-2-7(4) A-1(0)	8.8 a 38.7	22.0 a 44.0	NP a 28.0	26.0 a 27.0	7.1 a 14.5	1.6x10 ⁻⁴	12.0 a 76.0	8.4 a 21.4	18.5 a 21.1	16.1 a 18.6	8.5 a 11.0	26.9-45.0

Em termos de ocupação urbana, existe a necessidade da delimitação de zonas com potencial risco de instabilidade de taludes, com reduzida capacidade de carga, e com elevado risco de assentamentos.

No sentido de organizar o território da Covilhã em função da favorabilidade de ocupação urbana, Cavaleiro (2001) elaborou a carta geotécnica de aptidão para a construção,

retomando estudos de mesma índole em 2014 (Cavaleiro *et al.*, 2014). Na Figura 3.6 apresenta-se o referido mapa, com o território classificado em 3 classes: Boa aptidão, Zona com aptidão condicionada e não adequada.

Salienta-se que das zonas em estudo no presente trabalho, 4 casos ocorrem na Zona I (não adequada) e 2 casos na zona II - (condicionada) de aptidão à construção, o que explica os fenómenos observados quando foi realizado o levantamento em campo.

A zona urbana da Covilhã está localizada em muitas áreas potencialmente instáveis e naturalmente que ao longo do tempo resultam patologias nas várias estruturas. Daí a necessidade de estudos da índole do presente trabalho.

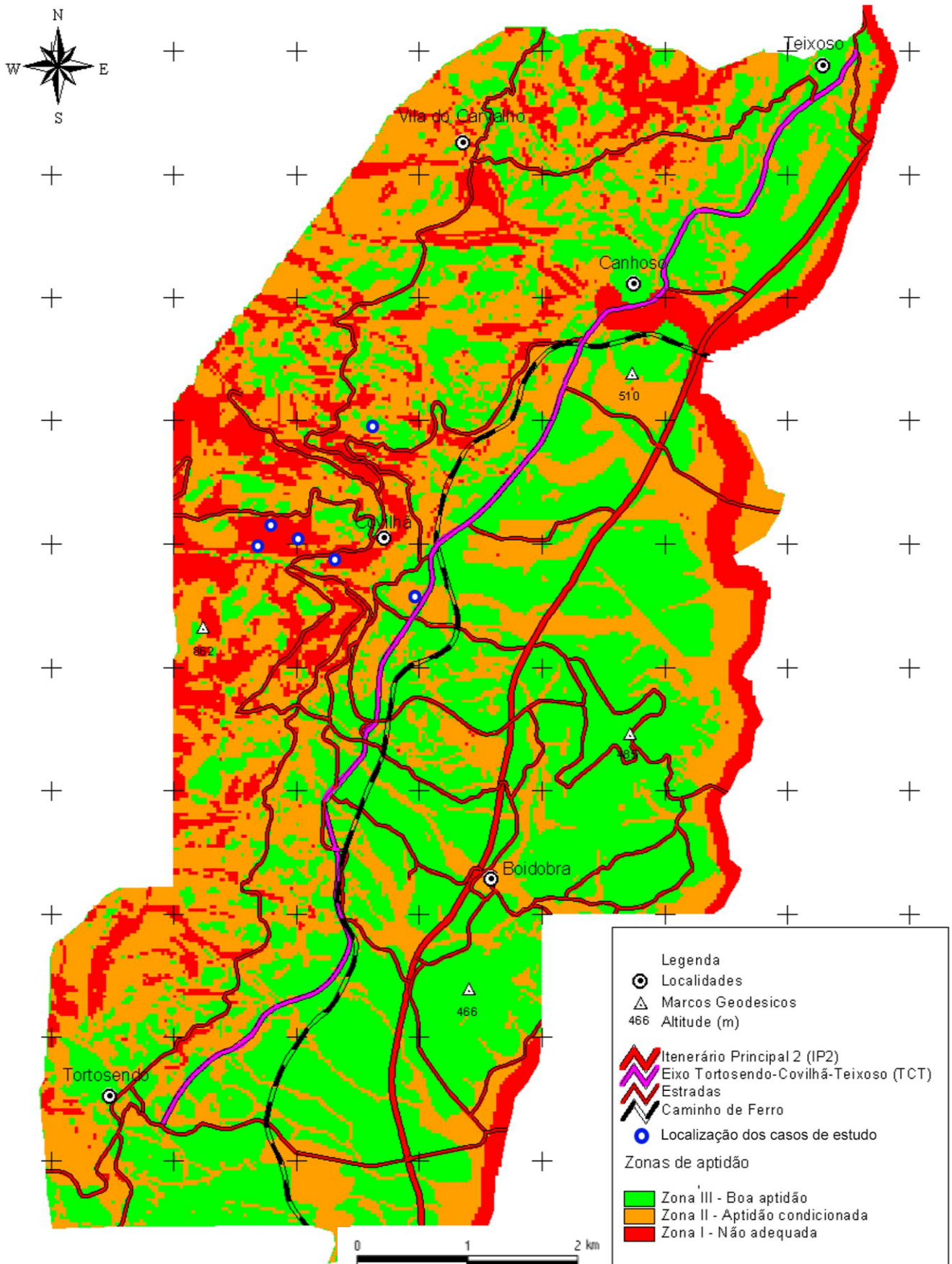


Figura 3.6 - Carta geotécnica de aptidão para a construção (Cavaleiro, 2014)

3.5. Casos de estudo

3.5.1. Introdução

Após uma análise geral da zona urbana da Covilhã tendo em consideração o objetivo da presente dissertação, entendeu-se selecionar 6 casos, ou 6 zonas, para uma análise detalhada, de modo a mostrar as patologias existentes e refletir sobre a sua origem, de modo a que haja eventuais intervenções para as sarar, ou minimizar no tempo. Os casos estudados são os seguintes (Figura 3.7):

- ❖ Caso 1 - Zona dos Penedos Altos (Especial atenção Piscinas Municipais e Pavilhão Desportivo);
- ❖ Caso 2 - Zona Envolvente do Jardim de Infância/Biblioteca Municipal;
- ❖ Caso 3 - Zona Envolvente ao Lar de Santo António (Largo Eduardo Malta);
- ❖ Caso 4 - Edifício contíguo ao elevador, Ruas José Ramalho e Jardim da Goldra;
- ❖ Caso 5 - Saudade;
- ❖ Caso 6 - Envolvente à Faculdade das Engenharias (U.B.I).

3.5.2. Caso de Estudo Nº1- Zona dos Penedos Altos

O caso de estudo Nº1 (Figura 3.8) situa-se na zona dos penedos Altos. Esta zona tem desenvolvimento desde o ponto *a* (Piscinas Municipais), Ponto *b* (Pavilhão Desportivo) que se localizam numa encosta de grande inclinação virada para SE, até aos outros pontos *c*, *d* e *e* numa vertente mais suave que a anterior a inclinar genericamente para NE.

Nas Figuras 3.9 a 3.12 apresentam-se imagens das principais patologias registadas nos vários locais de estudo e outras complementares poderão ser observadas no Anexo I. Na Figura 3.13 e 3.14 apresentam-se esquiços sobre o entendimento das origens das várias patologias, em especial para o setor mais da zona das Piscina (setor SE) e para a zona da vertente mais suave (setor a NE).

O setor SE corresponde a uma encosta que inclina para Sudoeste, tendo sido parcialmente horizontalizada por intermédio de um aterro. Para suporte deste mesmo aterro existe um muro construído em blocos de granito, com altura aproximada de 8.5 metros, encastrado cerca de um metro na sua base como é visível na Figura 3.15.

A parte Noroeste do terreno é constituída por terreno natural (solos residuais graníticos e granitos alterados, bastante resistentes); a parte Sudeste é constituída por aterros, mal compactados, que deram origem a assentamentos diferenciais, sendo visíveis diversas fraturas, no piso envolvente às piscinas (Figura 3.9 A e B).

O processo descuidado na forma como estes aterros são executados poderá levar, na maioria dos casos, ao aparecimento de problemas relacionados com a estabilidade, deformações e durabilidade do próprio aterro, podendo também afetar estruturas vizinhas.

Contudo, após uma conversa com os responsáveis pela manutenção na piscina, estes mesmos dizem que nos últimos anos têm-se estabilizado os sucessivos assentamentos que aconteciam com frequência, ou pelo menos, depois de realizada a ponte pedonal (que pode funcionar como escora ao talude da piscina) e o reforço realizado no muro de alvenaria que suporta a plataforma da piscina. Não se pode dizer que se verifica o mesmo no caso do pavilhão desportivo.

No pavilhão desportivo (Ponto b) existem na sua envolvente e interior, fraturas em todo o seu comprimento indicadoras da instabilidade do aterro e que têm provocado deslocamentos no muro e no pavimento onde são muito bem visíveis (Figura 3.10 A e B).

As infiltrações dentro e fora de ambos os pavilhões permitem por vezes a infiltração de água no aterro, tornando a situação mais instável e a possibilidade de ocorrência de rutura no muro de suporte do aterro e eventualmente num escorregamento global como um talude tal como foi elucidado nas Figuras 3.13 e 3.14.



Figura 3.7 - localização dos casos em estudo de patologias de origem geotécnica da zona urbana da Covilhã



Figura 3.8 - Locais de estudo individualizado no Caso Nº1: Zona dos Penedos Altos (Ponto a- Piscinas Municipais, Ponto b - Pavilhao Desportivo, Ponto c - Igreja, Ponto d - Jardim das Tílias, Ponto e- Rua Bairro dos Penedos Altos)

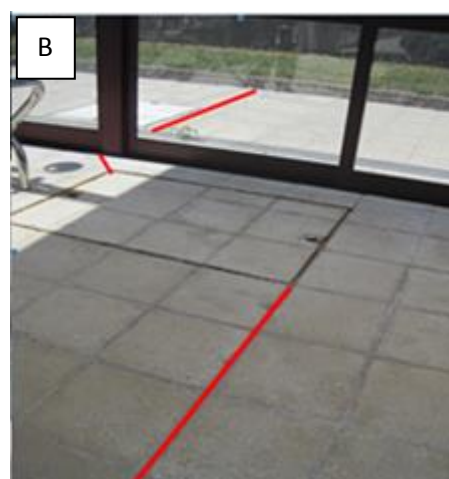


Figura 3.9 - Deformações nas piscinas contínuas exteriormente (A), interiormente (B) (ponto a)

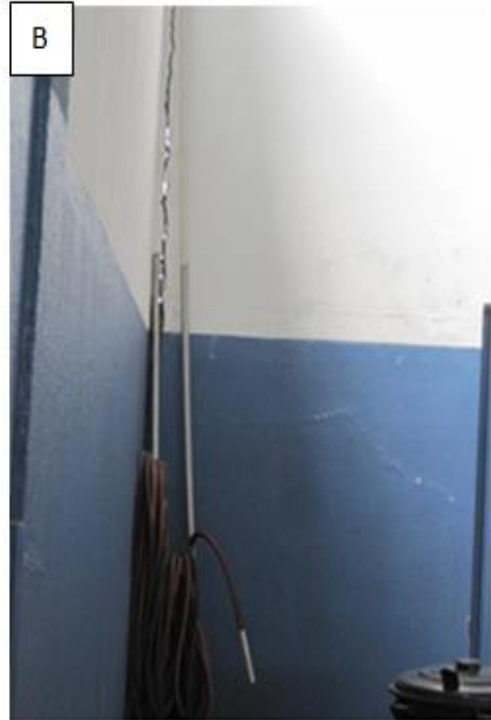


Figura 3.10 - Deformações no pavilhão desportivo - A) fissura no horizontal no piso, B) fissura vertical continua desde A (ponto *b*)



Figura 3.11 - Deformações da zona envolvente dos penedos altos (entre o ponto *b* e *c*)

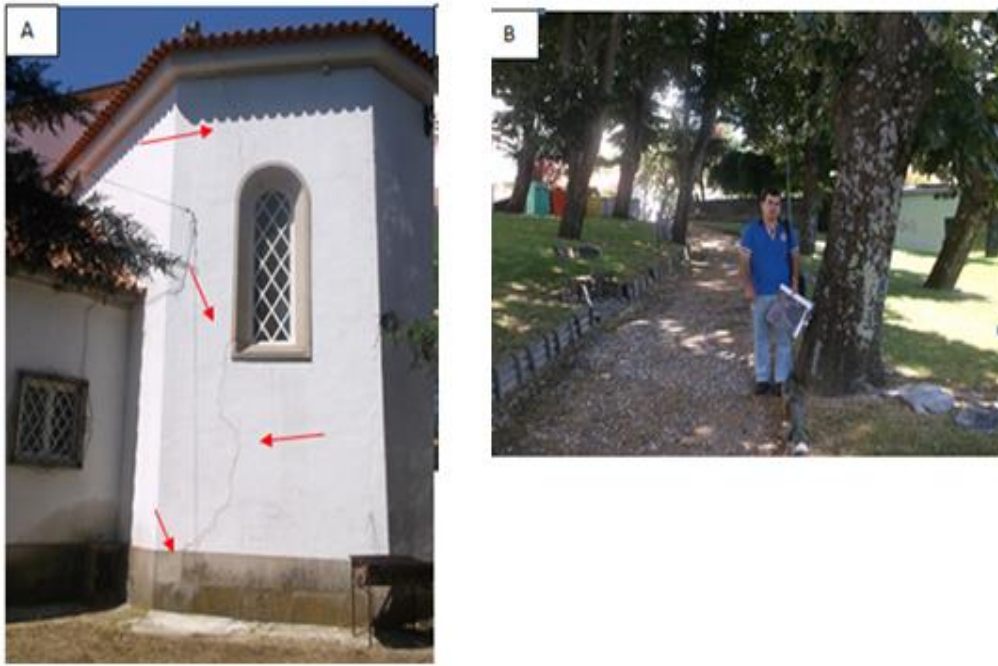


Figura 3.12 - A) deformações na igreja (ponto c); B) Inclinação das Tílias, no jardim das Tílias (ponto d)

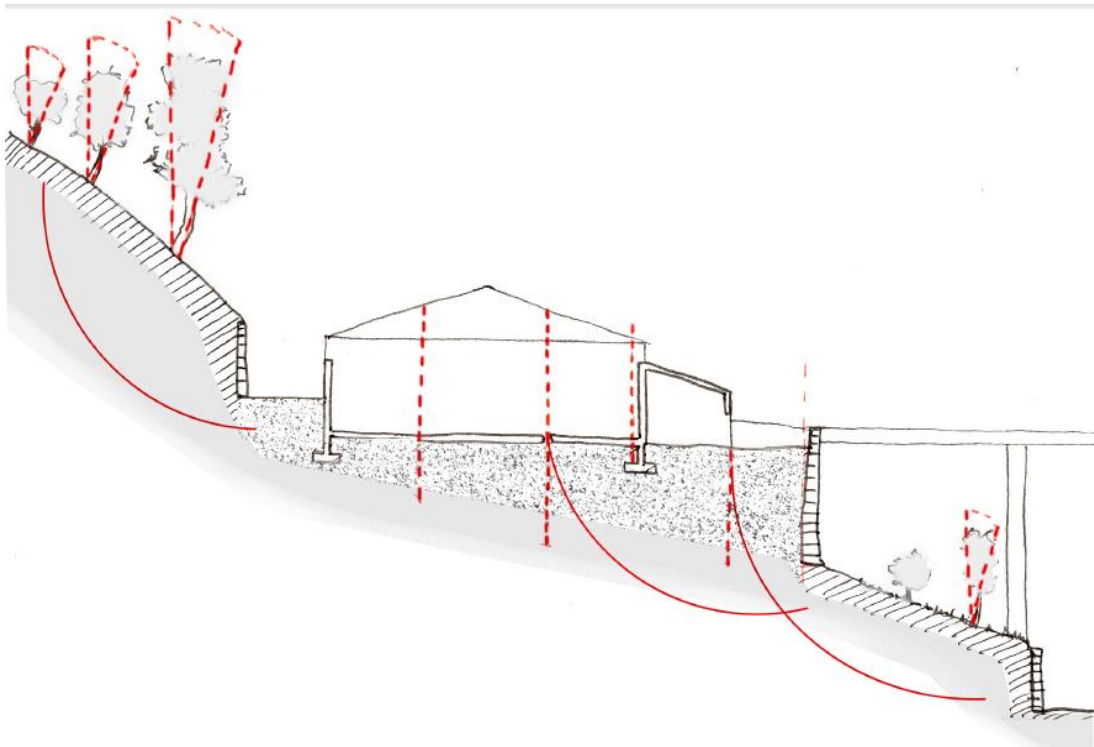


Figura 3.13 - Esboço elucidativo das possíveis superfícies de rutura potenciais nas piscinas Municipais (NW-SE)

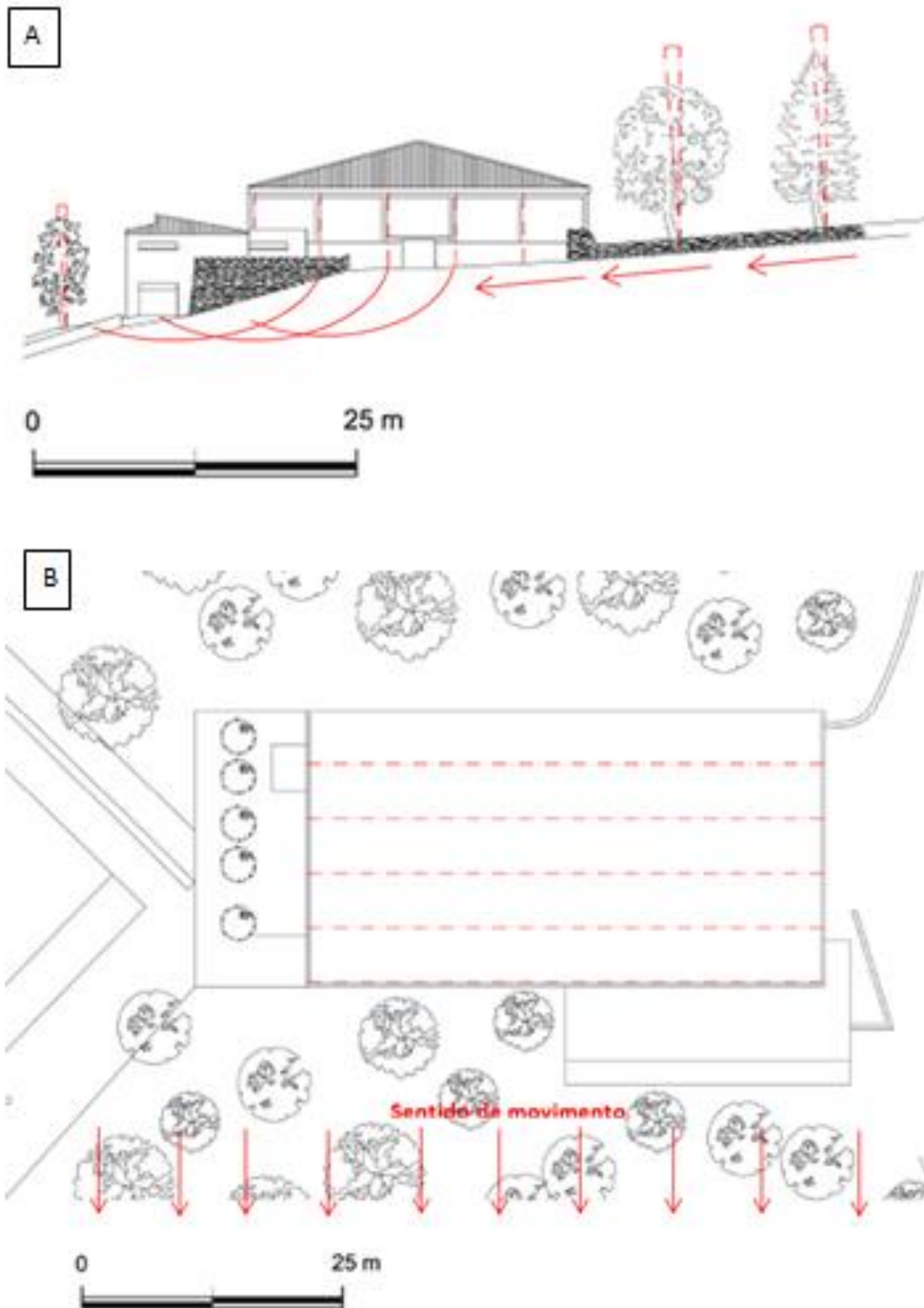


Figura 3.14 - Esboço em corte (A) e em planta (B) das deformações no clube desportivo e envolvente (ponto b), bem como representação de algumas superfícies de rutura potencial

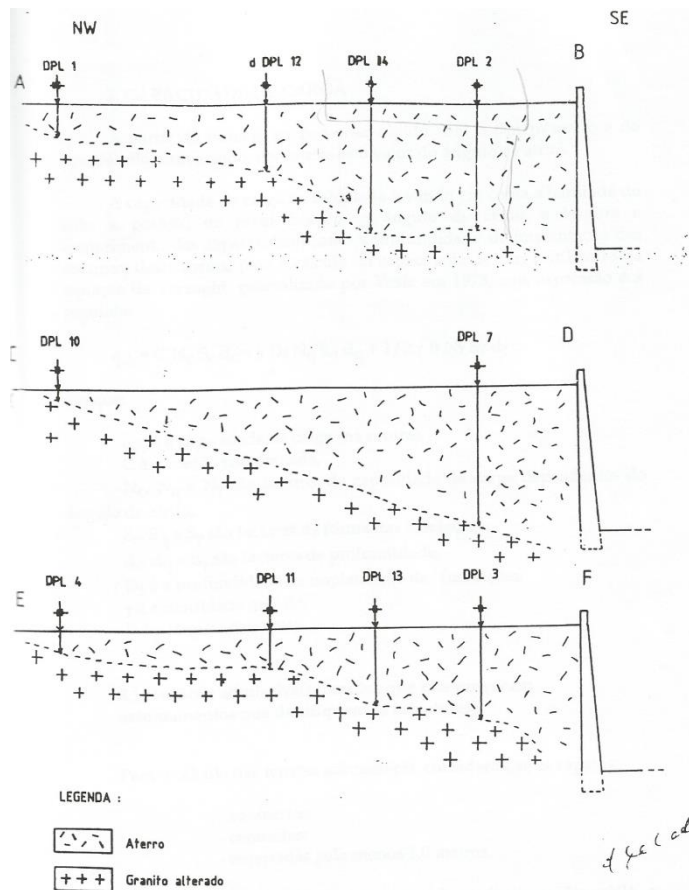


Figura 3.15 - Corte na Zona das Piscinas Municipais (Ladeira, 1994)

Nos restantes pontos identificados (ponto *d*, *e*) verifica-se uma instabilidade global conforme se pode verificar nas imagens registadas (Figuras 3.11 e 3.12 e Anexo I). As árvores encontram-se todas inclinadas, mas com um ângulo bastante elevado; existem ruas com 10 a 15 habitações contínuas, com construções diferentes e realizadas em momentos diferentes e todas apresentam fissuras semelhantes, sendo estas fissuras desde a linha terrena até à cobertura, em que a inclinação é comum em todas, evidenciando o sentido do deslizamento global da encosta.

3.5.3. Caso de Estudo N° 2 - Zona da Biblioteca Municipal

O caso de estudo N°2 (Figura 3.16) situa-se numa zona “de baixa” na cidade da Covilhã, que corresponde a aterros genericamente colocados ao acaso, no seguimento de uma vasta área “conquistada” à linha de água, ribeira da Goldra, que na zona foi entubada e a área global regularizada com materiais artificiais de várias origens.

Na Figura 3.17 apresentam-se imagens das principais patologias registradas nos vários locais de estudo e outras complementares poderão ser observadas no Anexo I (Levantamento das patologias - Caso de estudo nº2).



Figura 3.16 - Locais de estudo individualizados no Caso Nº2: Biblioteca Municipal (a) e Jardim de Infância (b)



Figura 3.17 - Imagens das principais patologias registadas nos vários locais de estudo detalhado no Caso Nº2 (Zona baixa da Covilhã): A,B,C,D Biblioteca Municipal; E e F Escola Preparatória

Em relação à biblioteca (Figura 3.18) salienta-se que os pilares em betão observados apresentam uma malha de fissuração muito frequente e sistemática em todos (Figura 3.19), o que pode ser grave porque evidencia que existirão alguns fenómenos instabilizados naqueles elementos estruturais, com origem provável em assentamentos excessivos nas fundações dos mesmos. Na Figura 3.20 foi realizado um esquiço elucidativo de algumas deformações visíveis na Biblioteca a nível estrutural e sua fundação sendo esta mesmo a justificativa dos fenómenos ocorridos.



Figura 3.18 - Biblioteca Municipal da Covilhã

Na Figura 3.20 foi realizado um esquiço elucidativo de algumas deformações visíveis na Biblioteca a nível estrutural e sua fundação sendo esta mesmo a justificativa dos fenómenos ocorridos.



Figura 3.19 - Malha de fissuração dos pilares ponto a - Biblioteca Municipal

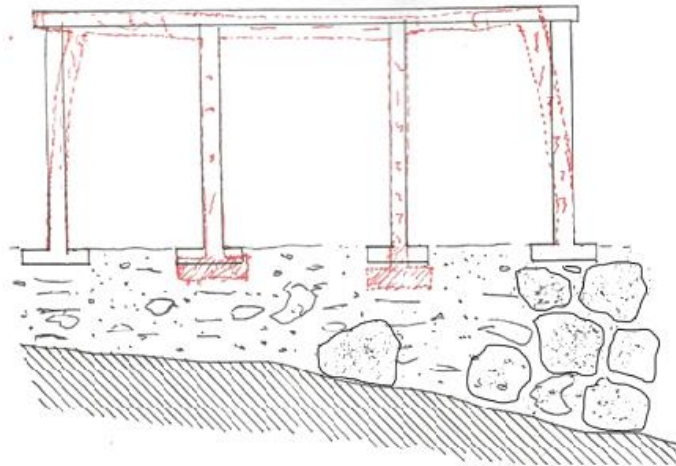


Figura 3.20 - Esquízo sobre deformações excessivas nas fundações da Biblioteca Municipal da Covilhã

Os terrenos de fundação da Biblioteca apresentam uma elevada heterogeneidade. Tal situação foi prevista por Ferreira Gomes *et al.* (1995) aquando da realização do estudo geotécnico para o local, orientando ainda que a espessura máxima daqueles aterros/entulhos atinge o valor de 22 metros. Segundo aquele estudo, que inclui uma análise de um conjunto de mapas topográficos da zona, de idade diferente, desde 1926, conclui-se o seguinte:

- Naquele local, no início do século, ocorriam terrenos graníticos aflorantes, constituindo a margem esquerda da ribeira da Goldra;
- Aquela área, eventualmente na década de trinta, começou por servir de “vazadouro” da cidade, onde se colocavam aterros/entulhos, constituídos essencialmente por solos arenosos resultantes do desmonte de maciços graníticos e onde juntavam restos urbanos;
- Entretanto, a linha de água (Ribeira de Goldra) naquela área foi rectificadada e canalizada com uma estrutura de betão armado, circular e fechada; esta situação permitiu a colocação de mais aterros/entulhos em toda a área, inclusive sobre a conduta realizada.

A elevada heterogeneidade daqueles terrenos confirmou-se aquando a construção das fundações da biblioteca, como é visível na Figura 3.21, onde se observam fotografias que mostram diferentes níveis de entulhos, lixos, terras orgânicas, blocos de rocha e outros, e numa geometria muito complexa, evidenciando a sua colocação em plano inclinado.

Assim, pelo apresentado toda a zona em análise tenderá a continuar a ter assentamentos diferenciais e que resultam não só do adensamento dos materiais ao longo dos tempos, como inclusive pela decomposição de alguns materiais biodegradáveis que aí se encontram, além de poder ocorrer em alguns invernos mais chuvosos a erosão interna do maciço, pois com grande

probabilidade, naquelas épocas ocorrerão movimentos de águas subterrâneas com algum significado, e com linhas de fluxo paralelamente ao alinhamento global da ribeira da Goldra que, como se referiu, aí se encontra entubada.



Figura 3.21 - Fotografias obtidas em fase de obra para a implantação da Biblioteca Municipal da Covilhã, evidenciando as elevadas heterogeneidades do maciço de fundação (fotos facultadas por Ferreira Gomes)

A situação do Jardim-de-infância que se encontra próximo da biblioteca não é tão grave, ainda assim, salienta-se que são também perceptíveis extensas fissuras nas fachadas com continuidade das mesmas para os pavimentos exteriores e de grande extensão.

3.5.4. Caso de Estudo N° 3 - Largo Eduardo Malta

O caso de estudo N°3 (Figura 3.22) situa-se próxima da zona “centro” na cidade da Covilhã, que corresponde possivelmente a alguns aterros parciais e fundações superficiais sem as devidas preocupações geotécnicas.



Figura 3.22 - Locais de estudo individualizado no Caso Nº3: Largo Eduardo Malta (a)

Esta zona encontra-se toda com alguns assentamentos, tanto ao nível dos pavimentos das ruas como nas habitações envolventes a esta área.

Salinta-se da existencia de um caso de uma habitação onde é evidente uma considerável rotação. Não é possível concluir qual o motivo concreto para esta situação, devido à inexistencia de estudos nesta zona (nenhuma destas habitações teve qualquer estudo ou uma prospeção geotécnica), contudo indicam-se algumas das possíveis situações que podem estar a ocorrer, isoladamente, ou em associação de algumas delas:

- Profundidade das sapatas insuficiente e assentes em cima de solo residual muito alterado;
- Existência de alguma mina ou rede de minas que favorecerá um fenómeno de subsidência naquela área;
- Deslizamento lento (*creep*) de terras mais superficiais, de todo o talude, ou encosta, favorecido pelas sobrecargas dos edifícios, e eventualmente por existência de alguma falha;
- Fundações assente sobre aterros recentes, insuficientemente compactados.

Há especialmente duas habitações, que se encontram em anexo (Anexo I - Caso Nº3) que demonstram mesmo a cedência do terreno e uma possível rotação como é visível também na Figura 3.23.

No local interpreta-se que ocorre um significativo deslizamento superficial ao observar a envolvente ao largo Eduardo Malta, tal como se elucida no esquiço na Figura 3.24.



Figura 3.23 - Imagens de casas que evidenciam (por apresentar as paredes desalinhas da vertical) consideráveis patologias na zona em análise (a), Largo Eduardo Malta

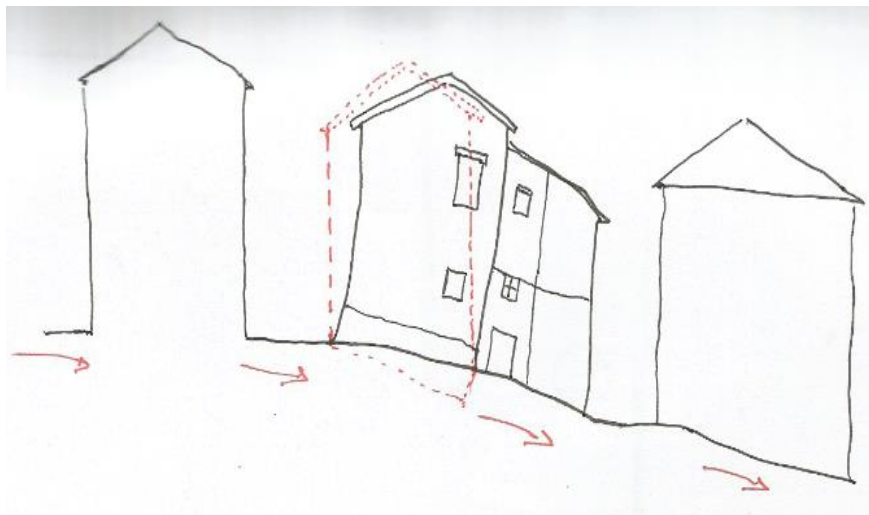


Figura 3.24 - Esquiço elucidativo sobre o fenómeno que leva às deformações visíveis nos edifícios da zona do Largo Eduardo Malta

3.5.5. Caso de Estudo Nº 4 - Jardim da Goldra / Edifício na rua José Ramalho

O caso de estudo Nº4 (Figura 3.25) é uma zona muito acidentada e onde foram construídos edifícios de dimensões singulares para além de se entender que não estão adequadamente inseridos a nível urbano na cidade da Covilhã, além da situação geotécnica não ser à partida favorável. Na Figura 3.26 apresenta-se o edifício que tem algumas anomalias no alçado posterior, que com base na percepção visual do talude, registos efetuados, e no trabalho de Pinheiro (2013) leva a concluir que existem algumas evidências de deslizamentos potenciais do talude num todo, isto é, de modo a envolver o próprio edifício. Na Figura 3.27 são apresentadas algumas das patologias registadas no referido edifício. Salienta-se em particular a Figura 3.27 D, onde se regista um assentamento visível de 10 cm aproximadamente; outras são visíveis no Anexo I.



Figura 3.25 - Locais de estudo individualizado no Caso Nº4: Jardim da Goldra (a), Edifício paralelo ao elevador na Rua José Ramalho(b)



Figura 3.26 - Edifício com potenciais problemas de origem geotécnica na Rua José Ramalho



Figura 3.27 - Imagens de algumas patologias do edifício contíguo á rua José Ramalho (A, B, C), Jardim da Goldra (D)

No sentido de apresentar uma noção geral sobre os aspetos geotécnicos que levam a resultarem algumas patologias nas estruturas daquela zona, fez-se o esquiço representado na Figura 3.28.

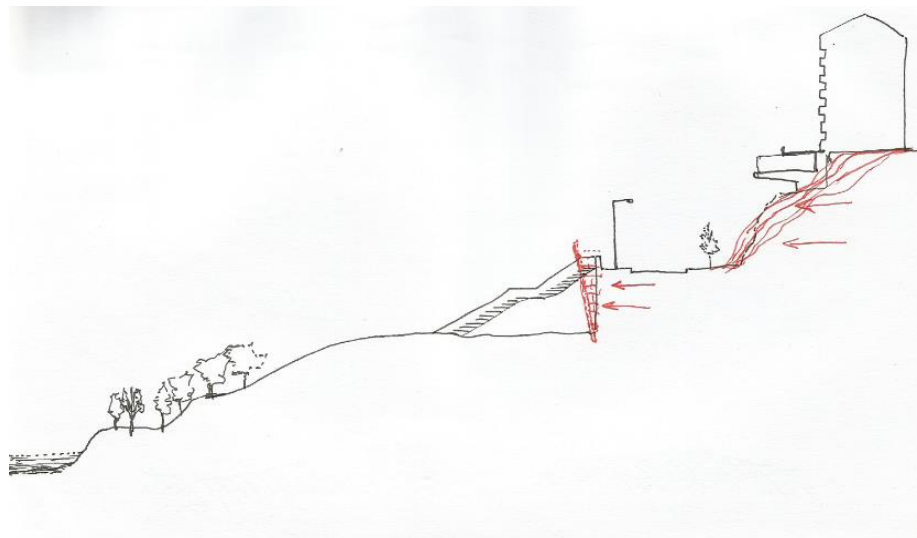


Figura 3.28 - Esquiço sobre aspetos geotécnicos que potenciam as principais patologias do edifício na rua Jose Ramalho à Ribeira da Goldra

Tendo em atenção que para a zona se verificou um estudo muito detalhado sobre os aspetos geotécnicos, na zona do Elevador da Goldra (Figura 3.29), apresenta-se na figura o modelo geotécnico do local e ainda as várias características geotécnicas na Tabela 3.2.



Figura 3.29 - Fotografia do Elevador da Goldra integrado no Plano da Mobilidade Pedonal (Pinheiro et al., 2014)

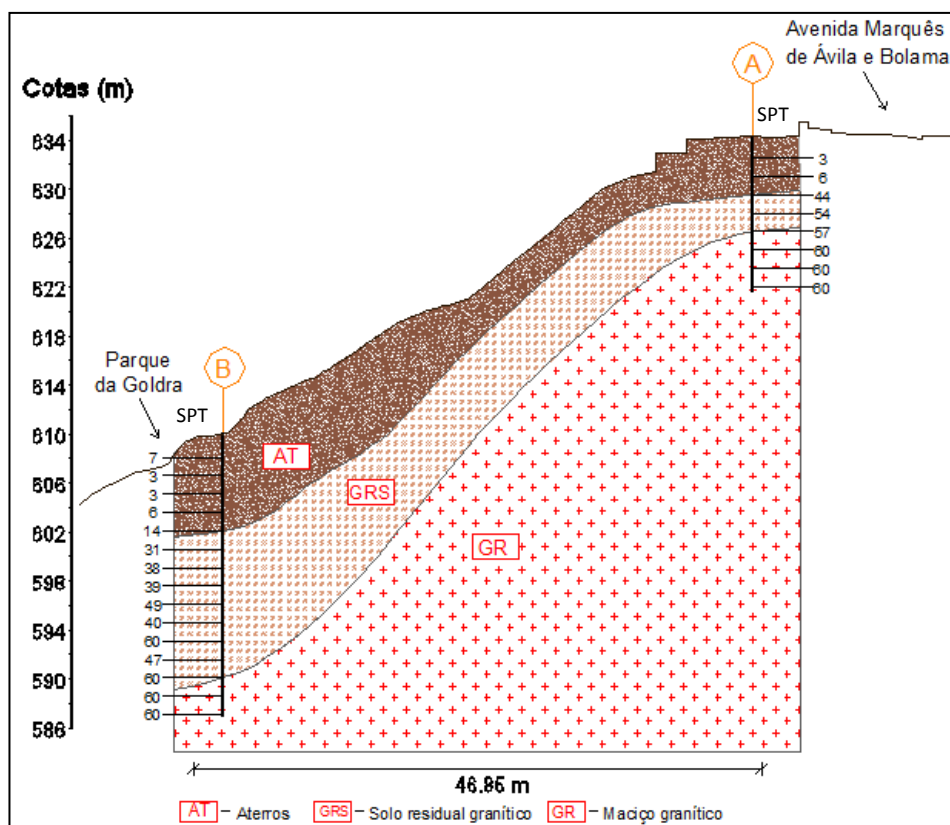


Figura 3.30 - Perfil geotécnico em corte segundo o eixo do tabuleiro do elevador (Pinheiro e Ferreira Gomes, 2013)

Tabela 3.2 - Parâmetros geotécnicos das várias unidades geotécnicas da zona do Elevador da Goldra a partir de vários estudos geotécnicos (a partir de Pinheiro, 2013)

Unidade Geotécnica	Litologia	N_{SPT}	q_c (kPa)	γ (kN/m^3)	Φ (°)	c (kPa)	E (MPa)
AT	Aterros	3 - 14	-	16	27	≈ 0	-
GRS	Solo residual granítico	31 - 60	21080 - 40800	17-22	36- 44	≈ 0	42 - 82
GR	Maciço granítico muito alterado	≥ 60	≥ 40800	20-23	≥ 45	400	> 82

N_{SPT} - número de pancadas no ensaio SPT, q_c - resistência de ponta no cone do ensaio CPT; Φ - ângulo de atrito; c - coesão; E - módulo de deformabilidade do solo; γ - peso volúmico.

Pinheiro (2013) fez um estudo da instabilidade do talude na zona do elevador o que permite ter alguma percepção e termo de comparação para a zona contígua. Os principais resultados obtidos por aquele autor e de interesse ao presente trabalho fora sintetizados em Pinheiro *et al.* (2014), e mostram-se na Figura 3.31 e Tabela 3.3. Foram consideradas várias superfícies

de rutura e potencial do talude e avaliaram-se os respetivos fatores de segurança. Evidenciam-se em especial as situações com a superfície de rutura a envolver apenas a unidade geotécnica AT (solos arenosos com matéria orgânica, aterros, lixos e entulhos), que apresentam potencial elevado de instabilizarem; é o caso da superfície 7 e nomeadamente a 11, que em caso de saturar haverá instabilidade pela certa. No que respeita às restantes situações, os casos que envolvem predominantemente a unidade GRS (solo residual granítico) também não apresentam situações muito satisfatórias, pois apresentam fatores de segurança modestos, sendo de salientar que as situações não consideraram o nível freático elevado e por isso a situação poderá ser potencialmente muito perigosa em períodos longos de muita precipitação. Estas situações, por serem em local contíguo com o edifício referido anteriormente, orientam para que a zona em análise no futuro seja alvo de uma monitorização cuidada, no sentido de evitar problemas graves de verdadeiras ruturas.

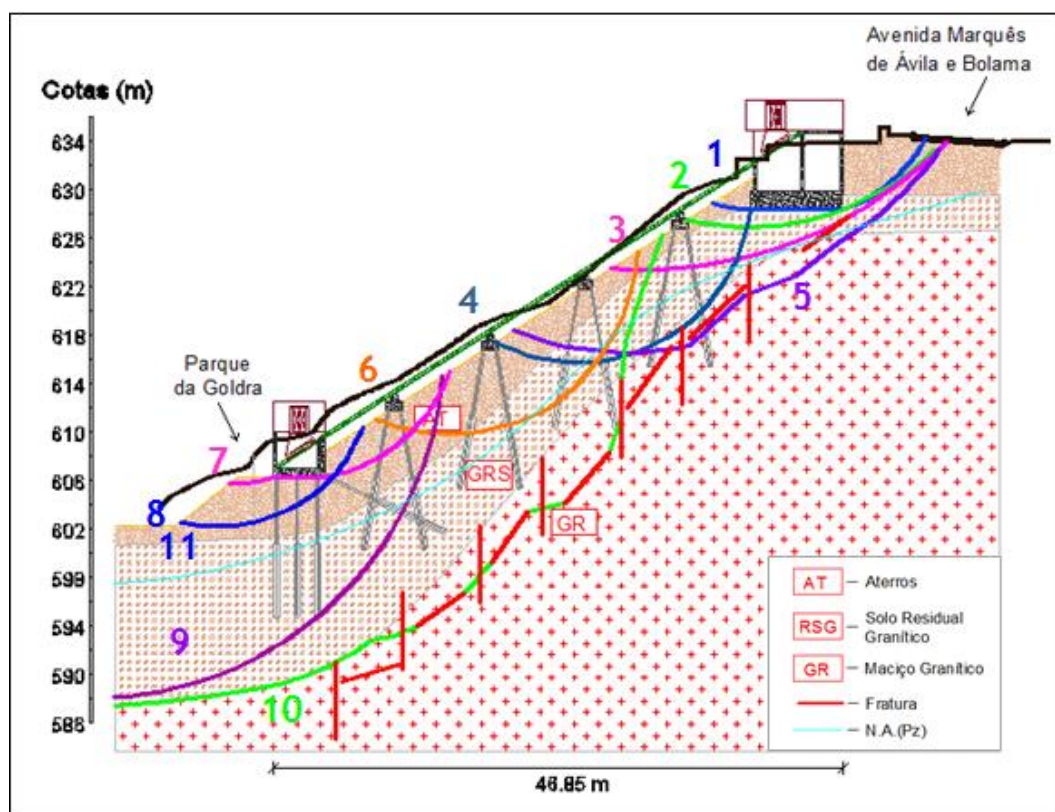


Figura 3.31 - Esboço sobre onze cenários de rutura potencial de acordo a estabilidade do talude onde se instala o elevador da Goldra na cidade da Covilhã (Pinheiro, 2013)

Tabela 3.3 - Resultados da análise de estabilidade global como um talude, considerando onze cenários de rutura potencial, onde se instala o elevador da Goldra na cidade da Covilhã (Pinheiro, 2013)

Superfície de rutura	FS	Superfície de rutura	FS
1	3.48	7	1.07
2	5.30	8	1.11
3	3.32	9	1.31
4	1.69	10	1.13
5	3.86	11 (idem 8, mas saturado)	0.11
6	1.44	FS = rácio entre forças resistentes e as que tendem ao escorregamento	

3.5.6. Caso de Estudo Nº 5 - Zona da Rua da Saudade

O caso de estudo Nº5 (Figura 3.32) é uma zona muito acidentada e onde foram construídos edifícios relativamente altos tal como no caso anterior contudo não ocorrem fenómenos de patologias associados a problemas geotécnicos de grande gravidade.

De todas as zonas em análise, este caso em estudo revela-se o menos grave, ou seja, o caso em que existem menos perturbações nas edificações. Após uma conversa com os inquilinos, todos indicam que estes edifícios têm uma boa construção e realmente após uma análise visual consegue-se observar que não existem quaisquer manifestações patológicas nestes edifícios. Contudo existem alguns muros de suporte em alvenaria como em blocos de betão com fissuras que orientam para ruturas circulares potenciais típicas de taludes terrosos. Foram registados dois casos (a e b, Figura 3.32), mostrando-se algumas imagens das patologias na Figura 3.33.



Figura 3.32 - Locais de estudo individualizado no Caso N°5: Muros de suporte em Alvenaria: a - Rua da Saudade, b - Rua João de Almeida

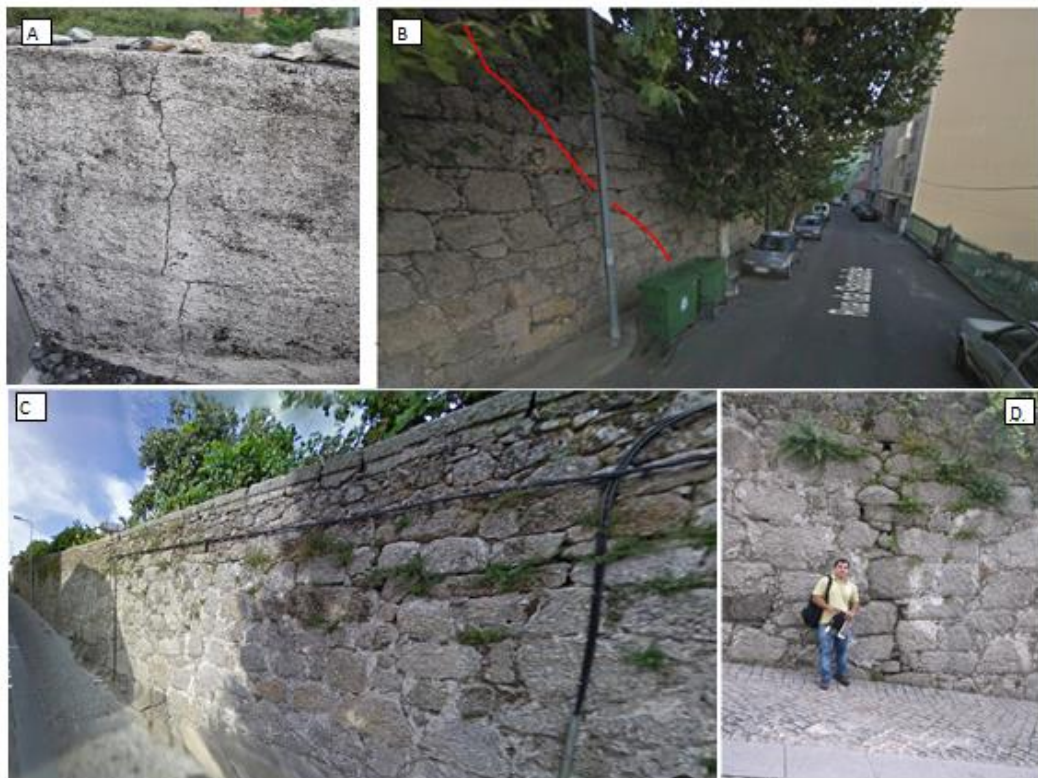


Figura 3.33 - Imagens sobre fissuras em muros de suporte, denunciando superfícies potenciais de rutura no muro da Rua da Saudade (A e B) e na rua Capitão João de Almeida (C,D)

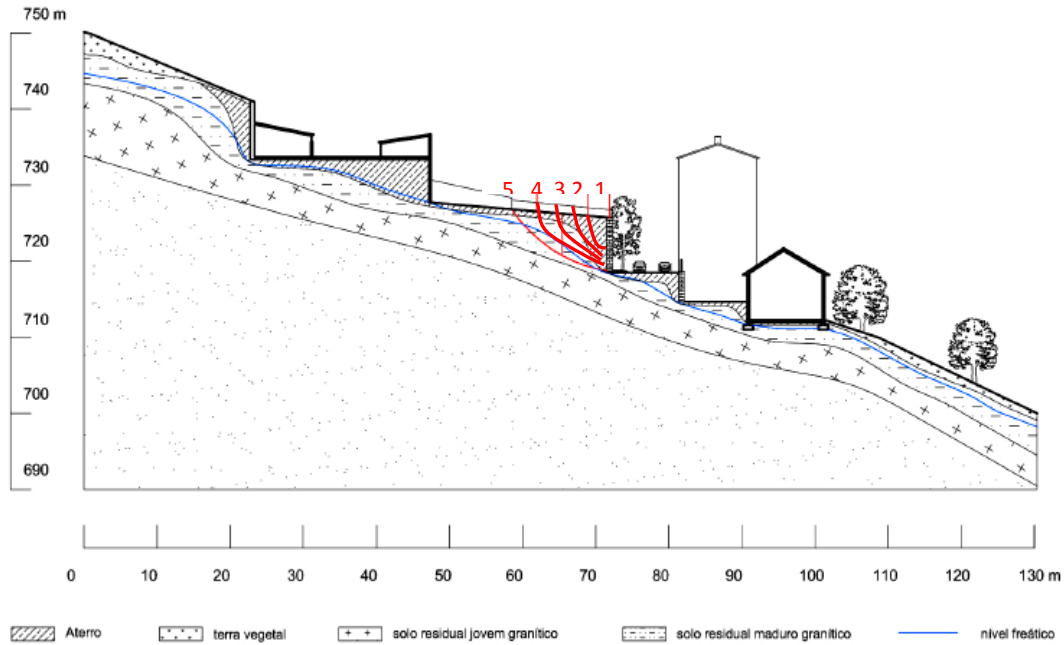


Figura 3.34 - Esquízo em corte da zona da Rua da Saudade mostrando as potenciais superficies de rutura no tardez do muro de alvenaria

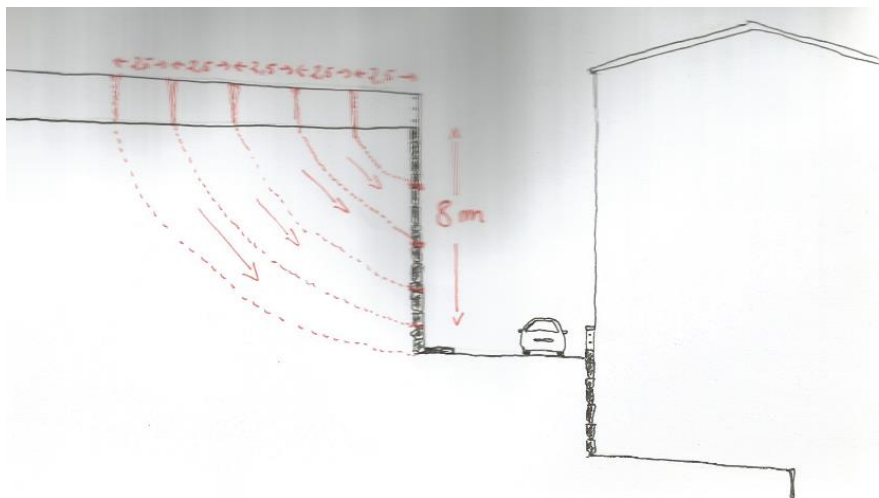


Figura 3.35 - Esquízo em corte sobre superficies potenciais de rutura prováveis do muro da Rua da Saudade

Em relação à zona da Rua Capitão João de Almeida (Figura 3.33 B, C) salienta-se que neste caso são visíveis no muro fissuras semiverticais de 25 em 25 metros, na perpendicular do muro, orientando para escorregamentos potenciais naquela área.

3.5.7. Caso de Estudo Nº 6 - Zona Contígua à Faculdade Das Engenharias (Universidade da Beira Interior)

No caso de estudo Nº6 (Fig.3.36) com um relevo extremamente acidentado e á qual se deu especial atenção uma vez que na mesma se encontra o Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura.



Figura 3.36 - Locais de estudo individualizado no Caso Nº6 : Edifício paralelo ao DECA (a), Travessa da Fonte Santa (b a d), Rua Marquês de Pombal (e)

A zona em análise apresenta-se com um relevo bastante acidentado. Os pavimentos das ruas (Travessa da Fonte Santa (b e c) e Rua Marques de Pombal (d)) envolventes ao edifício das engenharias apresentam, num todo, algumas deformações que, genericamente se entende terem origem em fenómenos associados a deslizamentos dos taludes com convergência para a ribeira da Goldra, sendo perceptível em várias zonas. Também, é visível na Travessa da Fonte Santa (figura 3.33-D) a inclinação de algumas árvores que existem na mesma zona, estas apresentam um ângulo bastante elevado em relação á verticalidade. As construções envolventes ao edifício das engenharias apresentam algumas deformações, contudo uma das situações mais problemáticas é o novo empreendimento denominado por Alta Vista, em que apresenta sérias deformações estruturais, devido a assentamentos excessivos.

Na Figura 3.37 são observadas algumas patologias que evidenciam alguma cedência e deslizamento das taludes com convergência para a ribeira. A Figura 3.38 apresenta um

esquema de princípio sobre a tendência geral em termos de instabilidade dos taludes deste setor em estudo.



Figura 3.37 - Imagens sobre deformações no pavimento e em edifícios, evidenciando superfícies potências de rutura e deformações Patológicas observadas: edifício próximo ao DECA (A ponto *a*), Travessa da Fonte Santa (B ponto *b*) Rua por cima do Silo das Engenharias (C ponto *c*, E ponto *d*), e Rua Marquês de Pombal (D ponto *e*)

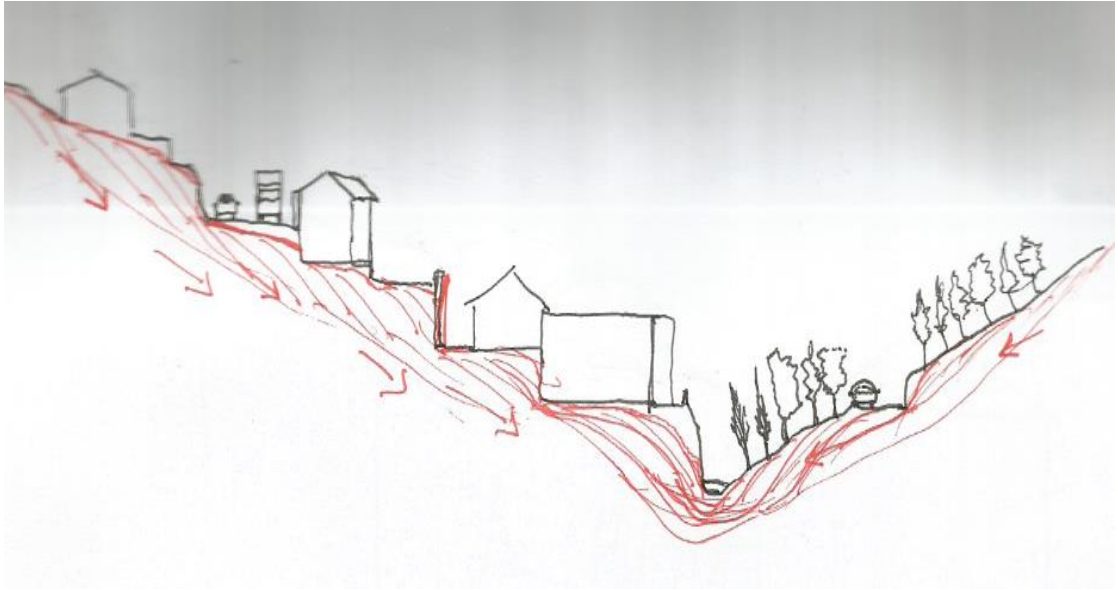


Figura 3.38 - Esquema de princípio sobre a tendência geral em termos de instabilidade dos taludes da zona do Pólo das Engenharias da Universidade da Beira Interior

Neste item foi feita a avaliação da estabilidade dos taludes, estudando 6 superfícies de rutura de acordo com o apresentado na Figura 3.39.

Admitiram-se taludes terrosos, e o fator de segurança (FS) determinou-se de acordo com o método das fatias (Ferreira Gomes, 2004), que genericamente, após se definirem as várias fatias, considera-se o rácio entre o somatório dos esforços resistentes, com o somatório dos esforços instabilizadores. Os elementos considerados para cada superfície de rutura apresentam-se detalhadamente no Anexo II, quer em termos de desenho, quer em termos de elementos numéricos de cálculo. Os valores de FS finais obtidos para os vários cenários apresentam-se na Tabela 3.4.

De uma análise detalhada de todos os resultados verifica-se que nos casos em análise Nº2 e 4 podem ter uma rutura eminente. Por exemplo, se existir rutura no caso Nº2 com um $FS=1.18$, por consequência vai existir rutura no caso Nº3 em que existe um edifício. Assim, estes dados orientam para que haja cuidados especiais nesta zona, nomeadamente drenagens adequadas de modo a baixar o nível freático, pois caso contrário poderão ocorrer nomeadamente em épocas muito pluviosas alguns consideráveis acidentes, com a rutura de alguns taludes de grande significado e em zonas que frequentemente envolve a circulação de pessoas e bens. Salienta-se que estas zonas coincidem com aquelas que Cavaleiro (2001) considerou de não adequadas em termos de aptidão à ocupação urbana.

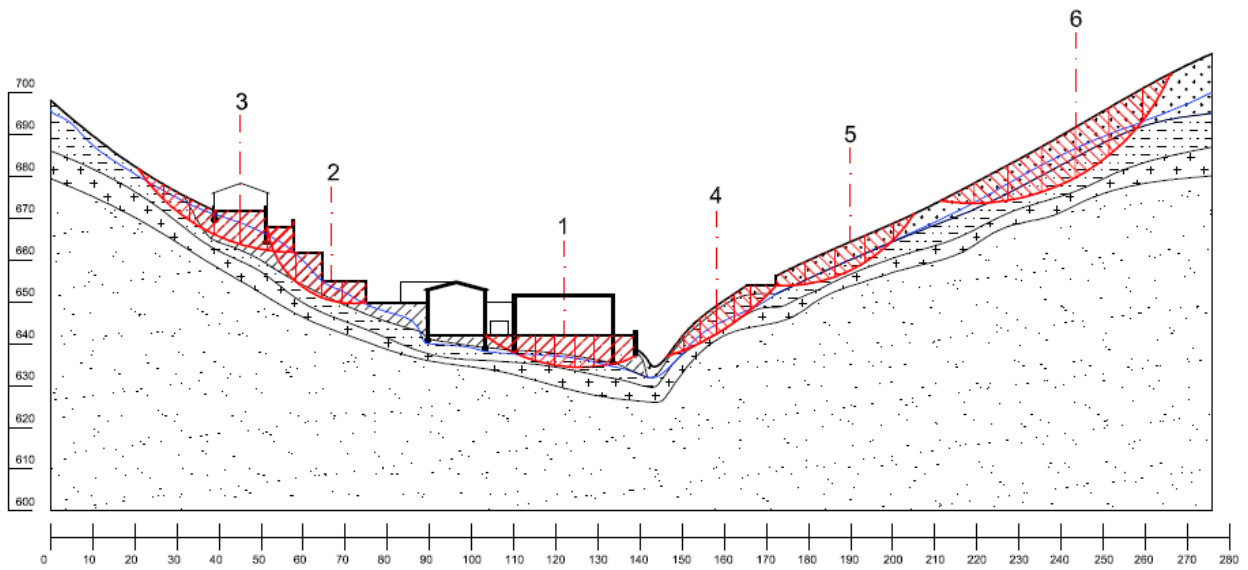


Figura 3.39 - Cenários sobre superfícies de rutura consideradas para avaliação da estabilidade dos taludes na zona do Pólo das Engenharias da Universidade da Beira Interferir

Tabela 3.4 - Resultados da estabilidade dos taludes em termos de fator de segurança (FS), para os vários cenários considerados (Figura 3.39)

Superfície de rutura	FS
1	24.77
2	1.18
3	2.17
4	1.22
5	1.75
6	1.64

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSOES E RECOMENDAÇÕES

A Covilhã sendo uma cidade montanha e com as suas características geotécnicas frágeis, como foi já referido anteriormente por diversos fatores torna-se uma caso muito especial.

Dever-se-ia ser mais eficaz na construção ou na criação de infra-estruturas, e existir uma maior preocupação no processo de regularização do terreno para as fundações, deixar o processo mais tradicional de escavação e aterro sem qualquer outro tipo de tratamento (por vezes nem uma simples compactação é realizada).

Ao longo do trabalho foram analisados seis casos de estudo, uns mais detalhados e com mais pormenor, outros com menor detalhe por diversos fatores, um deles, o tempo e outro a falta de elementos geotécnicos dos mesmos.

Os seis casos em estudo foram:

- ❖ Caso 1 - Zona dos Penedos Altos (Especial atenção Piscinas Municipais e Pavilhão Desportivo);
- ❖ Caso 2 - Zona Envolvente do Jardim de Infância/Biblioteca Municipal;
- ❖ Caso 3 - Zona Envolvente ao Lar de Santo António (Largo Eduardo Malta);
- ❖ Caso 4 - Edifício contíguo ao elevador, Ruas José Ramalho e Jardim da Goldra;
- ❖ Caso 5 - Saudade;
- ❖ Caso 6 - Envolvente à Faculdade das Engenharias (U.B.I).

Os casos que merecem especial atenção são a zona dos Penedos Altos, Biblioteca Municipal e a envolvente á Faculdade das Engenharias, dado serem estes os que manifestam mais patologias e com maior gravidade sendo necessária uma intervenção com urgência.

Existem dois fatores que estão na base destes acontecimentos, em alguns deles a falta de capacidade de carga da Fundação (no caso da Biblioteca) e em outros rutura/deslizamento de taludes (no caso da Universidade e nos Penedos Altos), no entanto também podem estar a ocorrer os dois fenómenos em simultâneo.

Em conclusão geral salienta-se que as conclusões deste trabalho vão ao encontro do trabalho de Cavaleiro (2001), Carta geotécnica de Aptidão para a Construção, em que as zonas que aqui se verificam mais problemáticas são as mesmas em que este define como Zonas não Adequadas à Construção.

Devem ter-se em atenção as infiltrações de águas de minas e nascentes e da própria precipitação. Deveria ter especial atenção, através da colocação de drenos longitudinais, drenos sub-horizontais e galerias drenantes de modo a permitirem que a água seja encaminhada para os sítios devidos, evitando assim situações muito graves como a erosão, lubrificação das areias e rutura de taludes. Os taludes também podem e devem ser tratados com máscaras drenantes ou com coberturas vegetais de modo a aumentar a segurança dos mesmos.

Todos os elementos referidos anteriormente são das soluções mais simples e rápidas e talvez das mais económicas possíveis, mas nem sempre esta solução é solução no entanto já corrige algumas lacunas dos solos e das fundações.

No entanto na zona dos Penedos Altos, existe um potencial deslizamento, que se subentende nomeadamente pela inclinação das árvores mas também porque ao percorrer as ruas no sentido descendente, observam-se habitações de diversas ruas a apresentarem todas o mesmo perfil de deformação; através da observação e análise efetuada entende-se haver a possibilidade de um deslizamento global em massa. As deformações das referidas habitações são contínuas desde a cobertura até à laje térrea e por vezes, com o mesmo alinhamento no passeio, muro de vedação e no pavimento da via pública.

Seria importante fazer-se uma análise detalhada, quantitativa e qualitativa a toda esta zona.

Dever-se-ia pensar na realização de um reforço na Zona dos Penedos Altos e outros, com recurso a inclusões nos taludes ao longo da encosta, muros em alvenaria ou com elementos de betão devidamente ancorados, com pregagens, estacas passivas ou micro-estacas de modo a ancorar e estabilizar o deslizamento do talude num todo.

O caso estudado na zona da biblioteca municipal desta cidade, também revela muita preocupação tornando-se necessário um reforço eficiente da fundação do edifício, contudo era preciso uma intervenção urgente.

Por outro lado aquelas zonas deverão ser instrumentadas com inclinómetros e piezómetros de modo a verificar se há movimentos ao longo do tempo e qual o nível de saturação no maciço, especialmente na zona dos penedos altos e a zona envolvente da Faculdade das Engenharias que expressam maior preocupação.

Existe muito trabalho de investigação para fazer e muito trabalho de campo, de modo a conseguir obter soluções precisas para solucionar alguns dos problemas evidenciados e de muitos outros que se admitem existir e não foram identificados no presente trabalho devido à sua natureza, nomeadamente escassez de tempo.

5. BIBLIOGRAFIA

Azeredo, H. A. (1988) - O Edifício até sua Cobertura. Edgard Blücher LTDA, São Paulo.

Barros, C. (2011) - Apostila de fundações, Técnicas construtivas edificações, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio grande so Sul, Campus Pelotas Brasil.

Bicalho, K V. (2010) - *Results of spt with torque application for sedimentary and residual soils in grande vitória. XII Congresso Nacional de Geotecnia Universidade do Minho*, Congressos de Geotecnia, (pp. 110).

Caputo, H. P. (1978) - Mecânica dos Solos e suas Aplicações. Rio de Janeiro: LTC.

Das, M. B. (1994) - *Principles of Geotechnical Engineering Boston: PWS.*

Carvalho, D. M. (2010) - Patologias das fundações: fundações em depósitos de vertente e solos expansivos na cidade de Machico. Universidade da Madeira, Funchal.

Cavalcante, E.; Demóstenes, A.; Cavalcanti, J.; Whashington, J.; Souza Neto, J. (2006) - Propriedades geotécnicas de um solo expansivo de Sergipe. In: II Geojovent, Nova Friburgo - RJ, pp. 6.

Cavaleiro, V. M. P. (2001) - Condicionantes Geotécnicas à Expansão do Núcleo Urbano da Covilhã, Departamento de Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Cavaleiro, V. M. P.; Rodrigues-Carvalho, J. A; Ferreira Gomes, L. M.; Riscado, J; Santos, Bertha (2014) - Carta Geotécnica da região da Covilhã, 14 congresso Nacional de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Da Silva, M. J. (2003). Comportamento Geomecânico de Solos Colapsíveis e Expansivos em Petrolina - PE: Cartas de Suscetibilidade. Recife, Fevereiro de 2003. Dissertação (Mestre em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologias e Geociências. 124 p.

Dinis da Gama, C. (1991) - Quality and Pathology of Geotechnical Works. 4º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa, pp. 19.

Duran, D. (1992) **Ensayo de Colapso**. Investigador Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas e Mitigación de Desastres (CISMID) Peru.

Ferreira Gomes, L. M.; Cavaleiro, V. M.; Machado Saraiva, C (1995) - Contribuição para a Caracterização Geotécnica dos Solos Residuais Graníticos da Região da Covilhã, Departamento de Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã. pp173.

Ferreira Gomes, L. M. e Cavaleiro, V. (1995) - Estudo Geotécnico para as fundações da nova Biblioteca (Bairro da Estação) Covilhã, Universidade da Beira Interior.

Ferreira Gomes, L. M. (2001) - Apresentação em Mestrado de Engenharia Civil e Construções. Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Ferreira Gomes, L. M. (2002) - Notas de patologias e seu tratamento em fundações directas. *Mestrado em Reabilitação e Ambiente da Construção*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Ferreira Gomes, L. M. (2004) - Engenharia de Fundações, *sebenta de Unidade Curricular de Fundações*. Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Ferreira, S. R. (2010) - Prospecção e Caracterização geotécnica. Volumetric behavior some expansive soils of the state of Pernambuco-Brazil, Minho: Conferencias Nacionais de geotecnia, pp. 1-10.

Foncillas, A. (2009) - Pisos Tofu en Shanghái. El Periódico, Barcelona, Ediciones Primera Plana., p. 16.

(http://www.elperiodico.com/default.asp?idpublicacio_PK=46&idioma=CAS&idnoticia_PK=625586&idseccio_PK=1007) Consultado em Janeiro 2014

Freitas Souza, L. (2007). Identificação de Matacões por Meio de Sondagem a Percussão de Simples Reconhecimento do Subsolo na Cidade de Uberlândia (MG). In: Caminhos de Geografia, revista online, ISSN 1678-6343.

Fritz, A. P. - Patología en Excavaciones e Fundaciones en Obras de Edificación. In: 5º Seminario: Deslizamiento de Tierra: Prevención y Control, Chile. Pp. 104. (http://icc.ucv.cl/seminario/5_patologia_en_excavaciones_y_fundaciones_en_obras_de_edificacion.pdf) Consultado em Janeiro 2013.

Guerra, J. M.; Miranda, M. C. (2006) - Fundações e Contenção Lateral de Solos - Execução de Estacas. Série Estruturas. 1ª Edição.

Guimarães, G. S. (2003) - Fundações em Presença de Solos Moles - Análise de Caso. São Paulo, pp. 50. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil com Ênfase Ambiental) - Universidade Anhembi Morumbi.

Helena, P. R. (1992) - Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto (2ª Edição). São Paulo.

Ladeira, P. F. (2000) - Patologias em obras Geotécnicas (Notas de Aulas). - Departamento de Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Logeais, L. (1971) - Crónicas do Bureau Securitas e da Socotec. L`Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics- Obras de Estrutura Nº 8.

Logeais, L. (1982) - La Pathologie des Foundations, du Moniteur, Paris.

Marques, M. (2006) - Projeto geotécnico do futuro centro de investigações especiais da Beira Interior. Projecto 5º Ano, Departamento de Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Milititsky, J.; Dias, R. D. (1986) - Shallow foundations in lateritic soils. In: VIII Congresso Internacional de Geologia de Engenharia, Buenos Aires.

Munoz, E.; Vlabuena, E. Sovacación de Puentes(2006). In: Revista Infraestructural Vial. Edicion 15.Colombia. Disponível em: <
http://revistaiv.lanamme.ucr.ac.cr/index.php?option=com_content&task=view&id=114&Itemid=>. Acesso em: Julho 2014.

Paiva Martins, J. I. (1983) - *A Corrosão dos Metais Ferrosos e Não Ferrosos, a sua Protecção e Niquelagem*. Prova Complementar de Doutoramento - Conselho Científica da Faculdade da Universidade do Porto. Porto, 64pp.

Pinheiro, T. J. B. e Ferreira Gomes, L. M. (2013). Geotechnical and Environmental Elements of Inclined Elevator of Goldra in the City of Covilhã (Portugal), Twin International Conferences, 2nd Civil Engineering & 5th Concrete Future, Covilhã, Portugal, 10pp.

Pinheiro, T. J. B. e Ferreira Gomes, L. M.; Andrade Pais, L.J. e Maia de Carvalho, P.E. (2014) o elevador inclinado da Goldra na cidade da Covilhã (Portugal) e seus aspetos geoambientais.

7º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia. Inhambane, 14-18 de abril, 2014 Moçambique; ABREU PCO PORTO, Artigo Nº A143712; 10pp.

Reis, J. H. (2000) - *Interação solo-estrutura de grupo de fundações com fundações superficiais em argila mole*. Dissertação, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Santos, A.R. D. Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática. São Paulo, 2002. Edição ABGE/IPT. 222 pp.

Schnaid, F. (2006) Palestra sobre Patologia das Fundações na Universidade Regional Unijui. Com base na publicação de Schnaid et al. (2005), 18pp.

Soares, M. A. (2008) - *Alguns fundamentos da corrosão*. MSCP - Informações Técnicas. (<http://www.msps.eng.br>) Consultado em julho 2014.

Sultan, H. A. (1971) Some Engineering Aspects of Collapsing Soils. The University of Arizona, Tucson. 35 pp.

Teixeira, M. M. Modelagem Hidro-Mecânica dos Solos Colapsíveis de Petrolândia. Recife, 2006. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil - Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Pernambuco, 188 pp.

Teixeira, C.; Santos, J.P.; Carvalho, H.F.; Fernandes, P.A.; Vairinho, M.M. (1974). "Notícia explicativa da Folha 20-B (Covilhã)". (eds) Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Serviços Geológicos de Portugal, 52p.

Tschebotarioff, G. Y. P. (1978) Fundações e Estruturas de Suporte e obras de Terra, New York, Mcgraw-Hill, 491pp.

Tomlinson, M. J. (2001) Foundation Design and Construction. 7th Edition. Ed. Pearson Educational Ltd. England, 2001. 584 Pag. Disponível em (Pré-visualização limitada): <http://books.google.pt/books?id=LYoS4VXJPJ4C&printsec=frontcover&dq=Foundation+Design+and+Construction#v=onepage&q=&f=false> :Julho 2012.

ANEXOS

ANEXO I

Levantamento das patologias
dos casos em análise



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos - Piscinas Municipais

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.1



Figura 1.1.1



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos - Piscinas Municipais

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.1.2

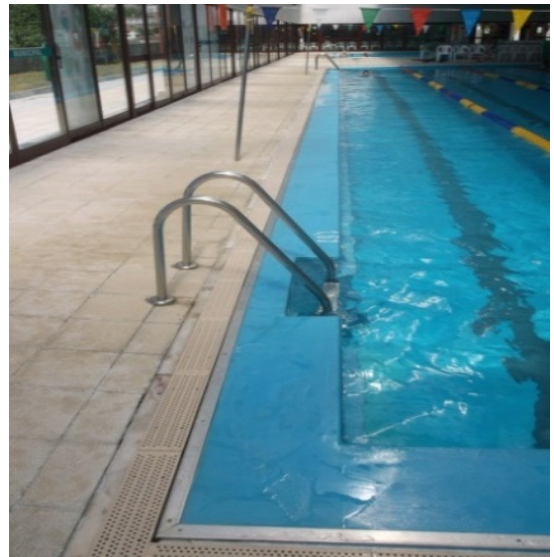


Figura 1.1.3



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos - Piscinas Municipais

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.1.4



Figura 1.1.5



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos - Clube Desportivo da Covilhã

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.2



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COVILHÃ, 2014

FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos - Clube Desportivo da Covilhã

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.2.1



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos - Clube Desportivo da Covilhã

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.2.2

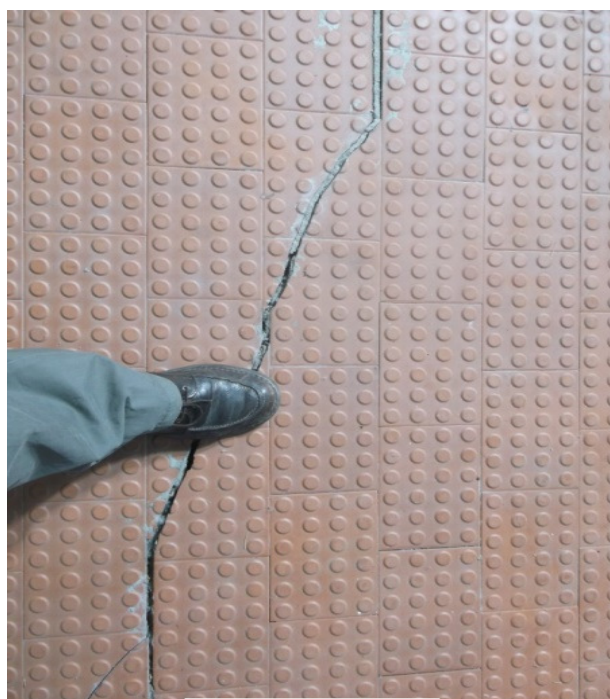


Figura 1.2.3



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos - Clube Desportivo da Covilhã

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.2.4



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos - Clube Desportivo da Covilhã

REGISTO FOTOGRÁFICO

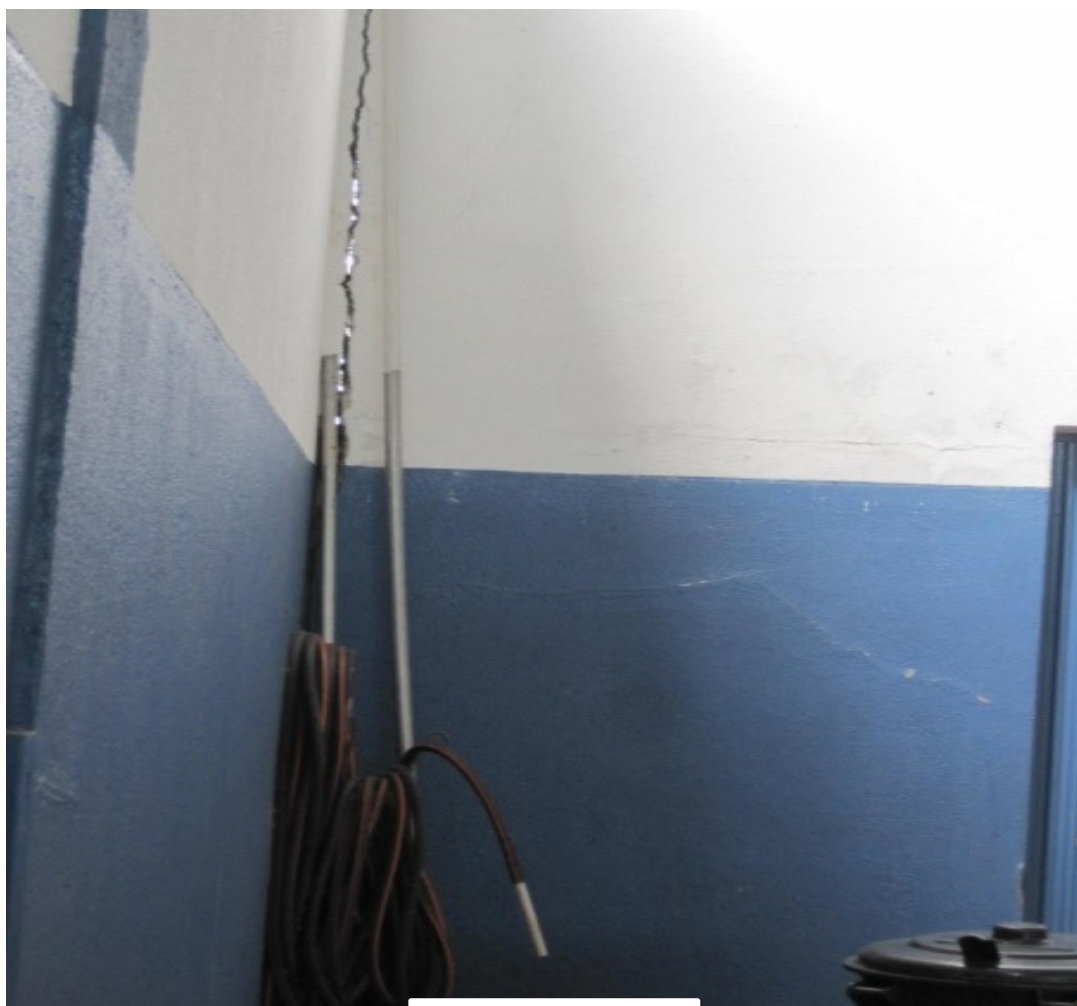


Figura 1.2.5



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos - Bairro

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.3.1



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos - Bairro

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.3.2



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos - Bairro

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.3.3



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COVILHÃ, 2014

FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos - Bairro

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.3.4



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos - Igreja

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.4.0



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.4.1



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.5.0



Figura 1.5.1



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 1

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona dos Penedos Altos

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 1.5.2



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 2

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Biblioteca Municipal

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 2.1.0



Figura 2.1.1



Figura 2.1.2



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 2

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Biblioteca Municipal

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 2.1.3



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COVILHÃ, 2014

FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 2

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Biblioteca Municipal

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 2.1.4



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 2

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Biblioteca Municipal

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 2.1.5



Figura 2.1.6



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 2

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona envolvente do jardim de Infância

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 2.2.0



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 2

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona envolvente do jardim de Infância

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 2.2.1



Figura 2.2.2



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 3

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona envolvente ao Lar de Santo António. Largo Eduardo Malta

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 3.1.0



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 3

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona envolvente ao Lar de Santo António. Largo Eduardo Malta

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 3.1.1



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 3

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona envolvente ao Lar de Santo António. Largo Eduardo Malta

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 3.2.0



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 3

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona envolvente ao Lar de Santo António. Largo Eduardo Malta

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 3.2.1



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 4

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Edifício ao Lado do elevador na rua José Ramalho

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 4.1.0



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 4

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Edifício ao Lado do elevador na rua José Ramalho

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 4.1.1



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 4

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Edifício ao Lado do elevador na rua José Ramalho

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 4.1.2



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 4

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Jardim da Goldra

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 4.2.0



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 4

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Jardim da Goldra

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 4.2.1



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 5

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Saudade

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 5.1.0



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 5

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Saudade

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 5.1.1



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 5

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Saudade

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 6.2.0



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 6

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona envolvente da Faculdade das Engenharias (U.BI.)

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 6.1.0



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COVILHÃ, 2014

FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo Nº 6

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona envolvente da Faculdade das Engenharias (U.BI.)

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 6.1.1



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 6

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona envolvente da Faculdade das Engenharias (U.BI.)

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 6.2.0



Figura 6.3.0



FICHA DE PATOLOGIA

Ref. Ficha: Caso de Estudo N° 6

Domínio: Patologias com origem geotécnica Estruturas de engenharia civil na cidade da Covilhã

Local: Zona envolvente da Faculdade das Engenharias (U.BI.)

REGISTO FOTOGRÁFICO



Figura 6.4.0

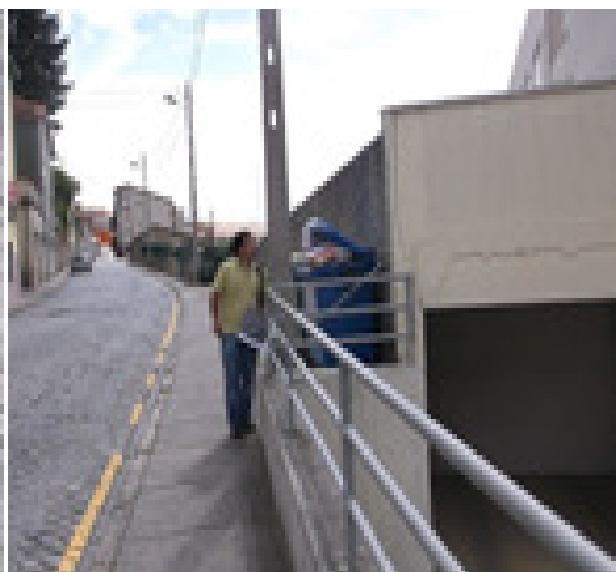


Figura 6.5.0

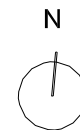
ANEXO II

Estabilidade dos Taludes na
envolvente Faculdade das
Engenharias - Caso de estudo
Nº6

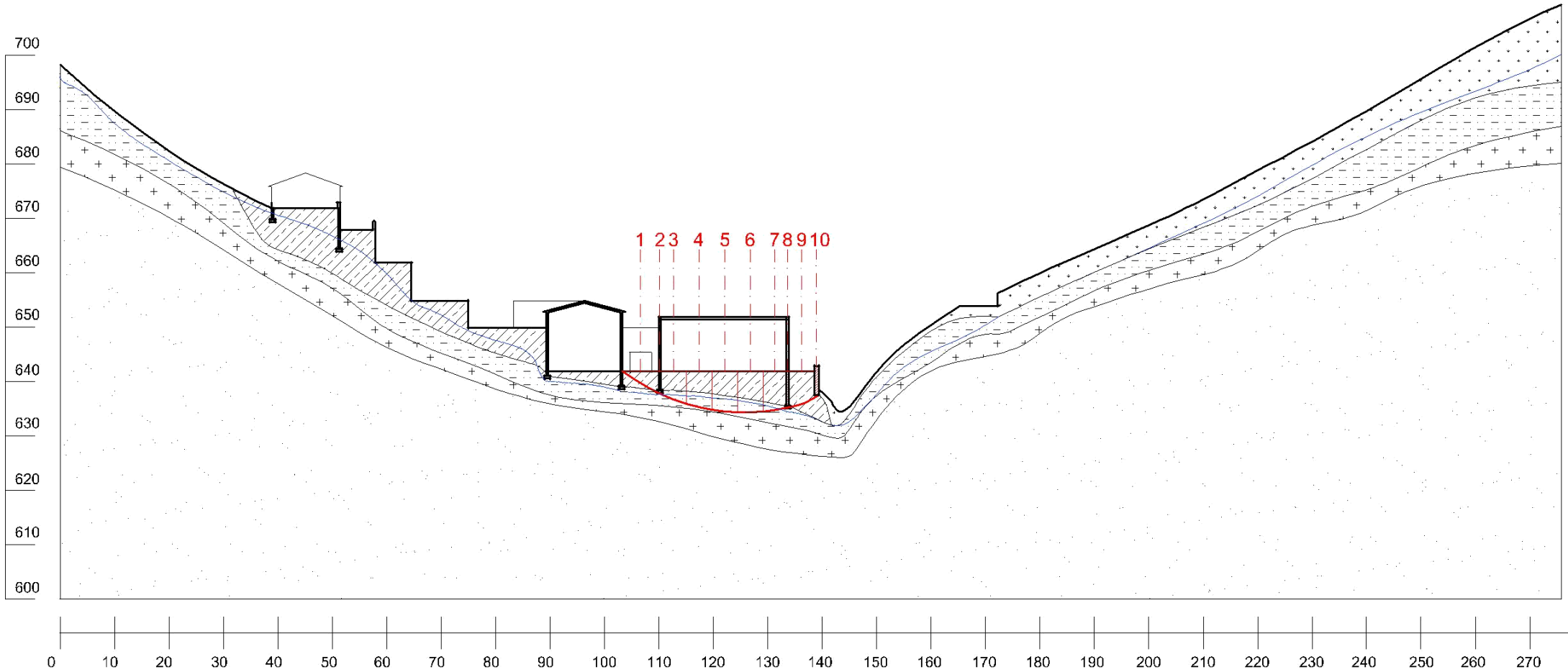
Planta de localização do corte



0 m 500 m

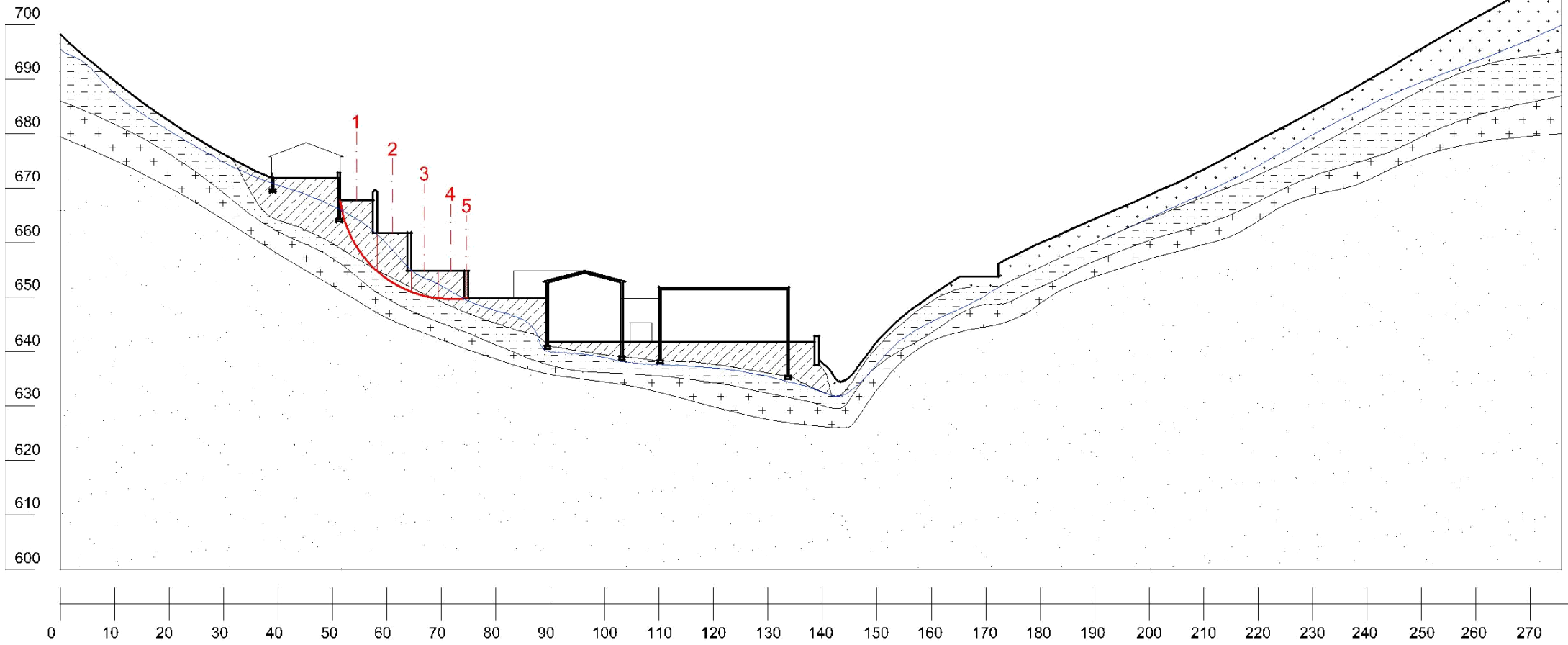


Caso de estudo nº1



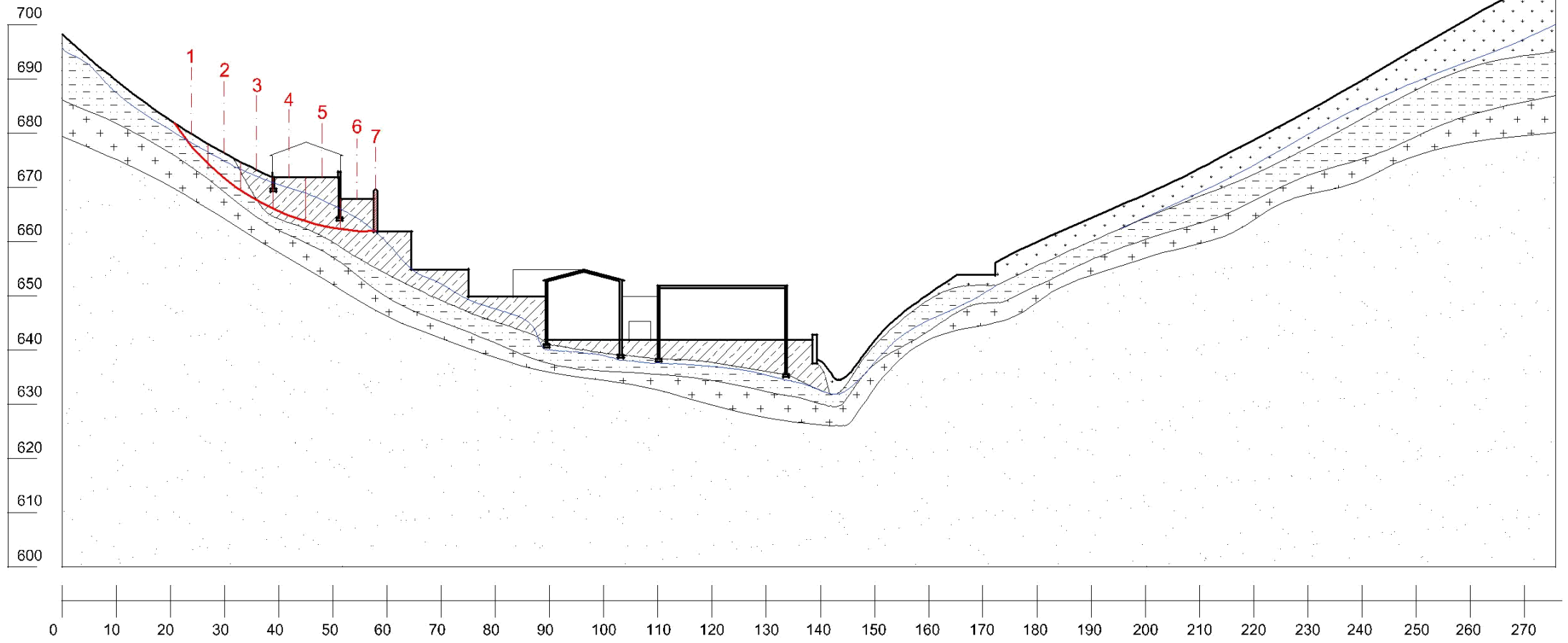
 Aterro  terra vegetal  solo residual jovem granítico  solo residual maduro granítico  nível freático

Caso de estudo nº2



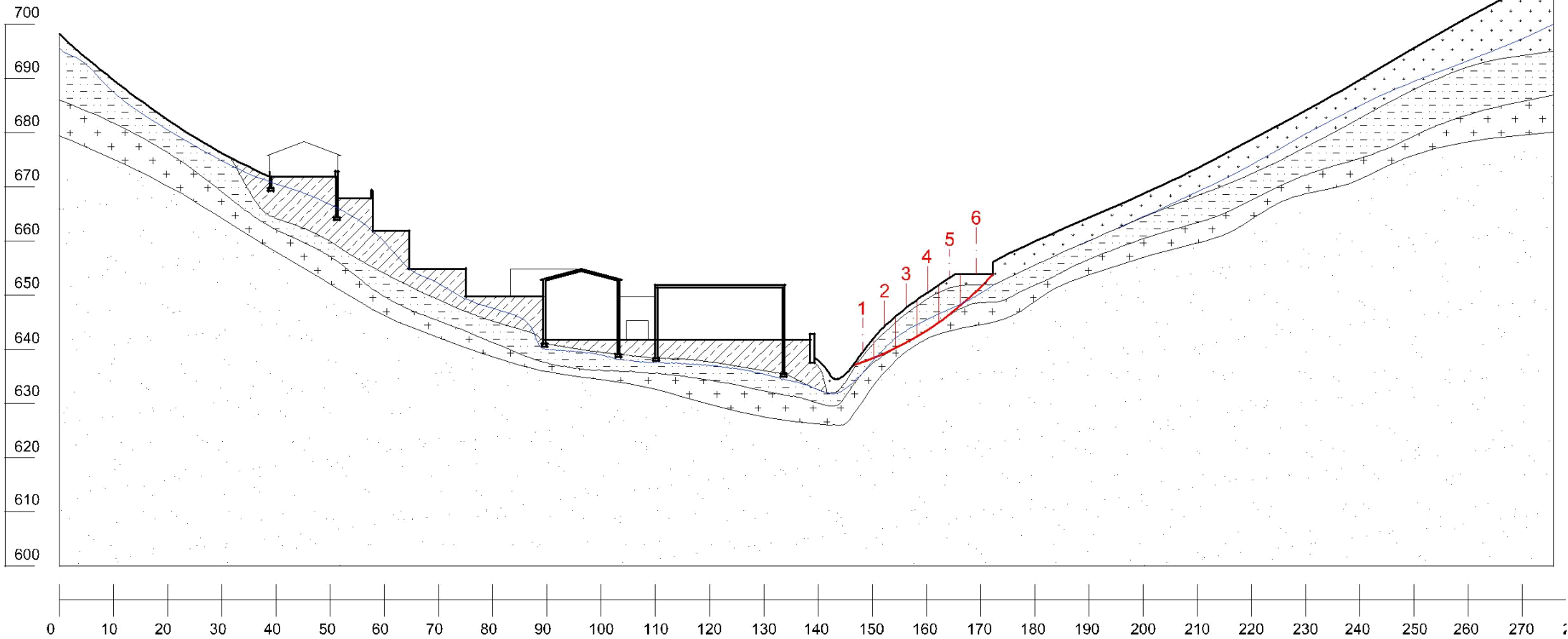
-  Aterro
-  terra vegetal
-  solo residual jovem granítico
-  solo residual maduro granítico
-  nível freático

Caso de estudo nº3



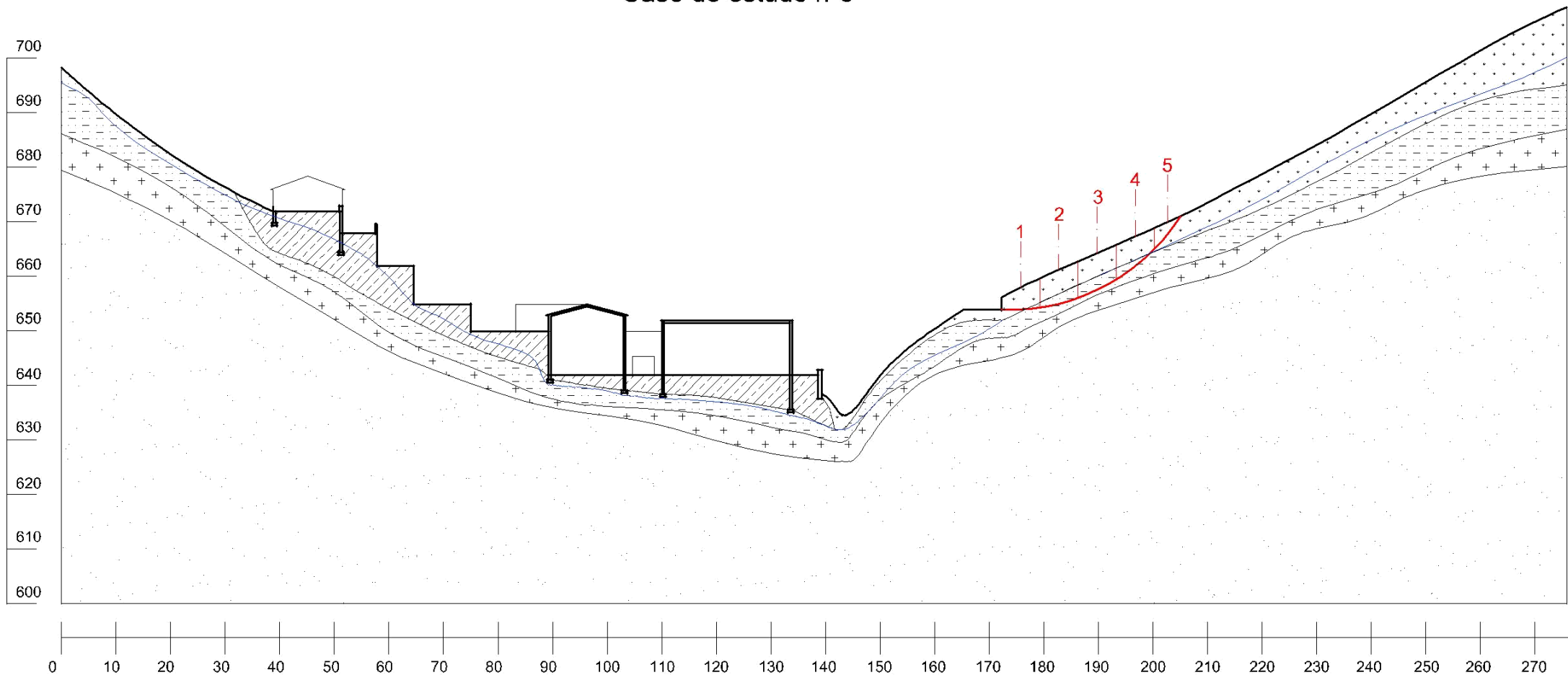
 Aterro  terra vegetal  solo residual jovem granítico  solo residual maduro granítico  nível freático






Caso de estudo nº4



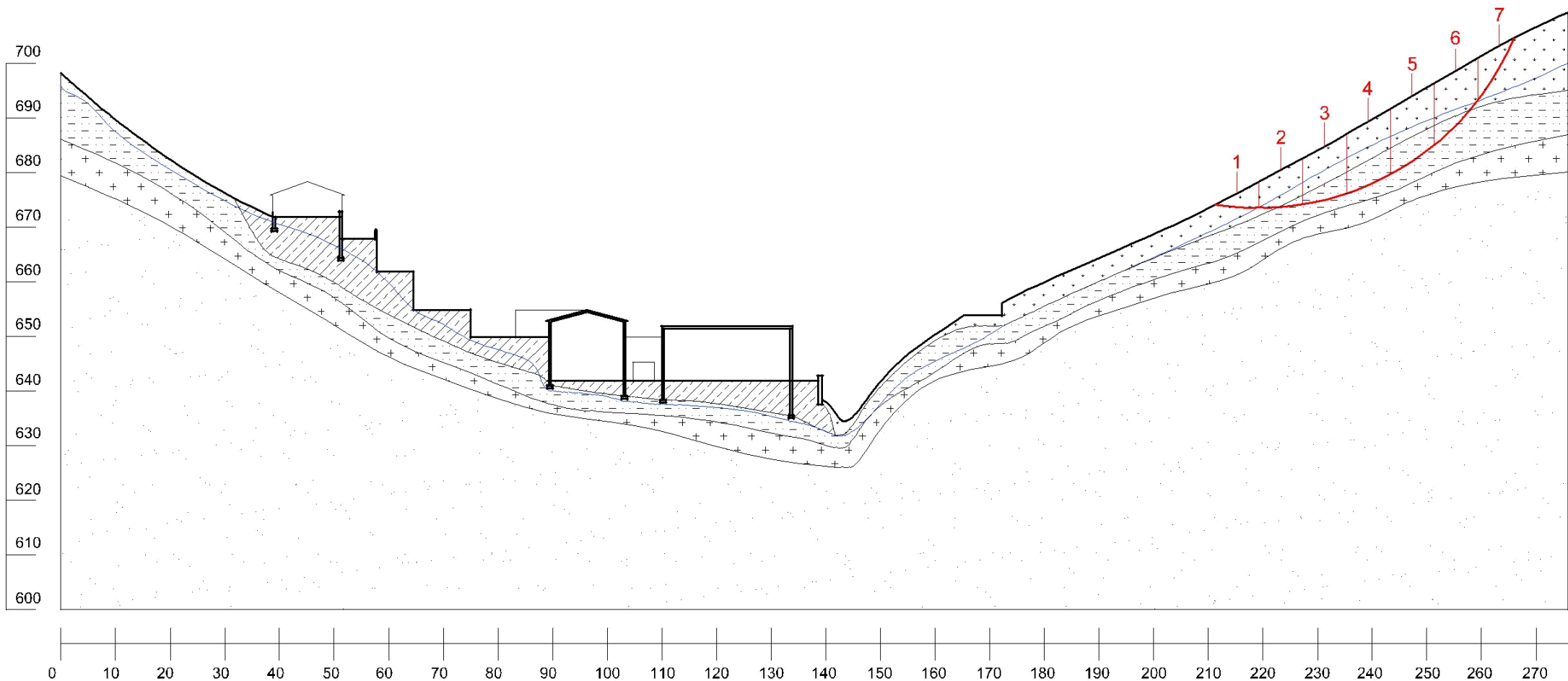
-  Aterro
-  terra vegetal
-  solo residual jovem granítico
-  solo residual maduro granítico
-  nível freático

Caso de estudo nº5



-  Aterro
-  terra vegetal
-  solo residual jovem granítico
-  solo residual maduro granítico
-  nível freático

Caso de estudo nº6



 Aterro  terra vegetal  solo residual jovem granítico  solo residual maduro granítico  nível freático

