

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



ESTABILIDADE DE TALUDES EM ROCHAS
SILTO-ARGILOSAS

TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO PARA ROTURAS SUPERFICIAIS

por

Lina Manuela Pereira de Matos

MESTRADO EM GEOLOGIA

Especialização em Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território

Lisboa, 2008

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

ESTABILIDADE DE TALUDES EM ROCHAS

SILTO-ARGILOSAS

TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO PARA ROTURAS SUPERFICIAIS

por

Lina Manuela Pereira de Matos

com orientação de

Fernando Manuel Silva da Fonseca Marques (orientador, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa).

Filipe Telmo Santos Alcobia Alves Jeremias (co-orientador, Laboratório Nacional de Engenharia Civil).

MESTRADO EM GEOLOGIA

Especialização em Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território

Lisboa, 2008

“Este trabalho não inclui as observações e críticas do júri”

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi elaborado no âmbito da dissertação de mestrado para obtenção do grau de mestre em geologia, numa cooperação entre a Universidade de Lisboa e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, a estas instituições manifesto o meu agradecimento.

Desejo expressar também os meus agradecimentos a algumas pessoas sem as quais não seria possível a realização deste trabalho.

- Ao meu orientador Professor Fernando Manuel Silva da Fonseca Marques (GeoFCUL) pela orientação, sugestões e apoio dado na resolução de dúvidas que foram surgiram ao longo da realização deste trabalho;
- Ao meu co-orientador Doutor Filipe Telmo Jeremias (LNEC), pelo apoio e orientação que me deu durante a realização do mesmo, pela sua objectividade, pelas sugestões dadas e indicação de caminhos no sentido de resolver os problemas e questões que surgiram;
- Ao Aldo Freitas, pelo despertar de interesse na área da biorremediação, pela total disponibilidade demonstrada durante a realização deste trabalho e inesgotável disposição para o esclarecimento de todas as dúvidas que surgiram. Pela experiência que me transmitiu bem como o fornecimento de bibliografia e fotografias indispensáveis à realização deste relatório. Por toda a amizade e incondicional apoio, a minha sincera gratidão;
- Ao Eng. João Portugal (LNEC), à Eng.^a Neuza Valente (Gibb Portugal), ao Professor Doutor João Cabral (GeoFCUL), à Professora Doutora Graça Lopes (ISEL), Doutor Ricardo Garcia (CEG) e Doutora Celeste Jorge (LNEC), pela bibliografia disponibilizada.
- À Empresa COBA pela possibilidade de utilização de toda a informação necessária à realização deste trabalho;
- Ao sector das Artes Gráficas do LNEC pela eficiência e qualidade postos na edição deste relatório;

- Às minhas recentes colegas do LNEC, Departamento de Materiais, Núcleo de Materiais Metálicos, pelas facilidades concedidas, compreensão e tolerância demonstradas nestes meus últimos meses de trabalho;
- Queria agradecer aos meus ex-colegas e ainda amigos, do INETI, Departamento de Geologia Marinha, por todo o apoio, amizade, força e incentivo que me deram ao longo dos 6 meses de convivência diária e até ao fim desta caminhada;
- Por fim, agradeço em particular à minha família, namorado e amigos toda a amizade, alento, calma e tolerância que tiveram para comigo, principalmente na recta final desta dissertação. A força e ajuda que me deram sempre que precisei, bem como as opiniões dadas e o apoio e colaboração prestados na resolução de alguns dos pontos deste trabalho.

A todos, muito obrigada.

RESUMO

Os fenómenos de instabilidade de taludes são frequentemente causa de acidentes humanos e materiais constituindo por esse motivo um problema geotécnico de maior importância. Os estudos dos movimentos de terra, são relativamente morosos e complexos, uma vez que é necessário ter em atenção muitos factores, quer relacionados com características internas ao maciço, ou seja, características geológicas e geotécnicas, quer com acções externas. Os estudos das instabilidades de taludes ou vertentes naturais, têm como objectivo avaliar a perigosidade associada à sua ocorrência, os correspondentes riscos e definir medidas de prevenção e de controlo dos movimentos de terra que possam ocorrer.

As modificações geológicas e climáticas experimentadas ao longo do tempo geram uma modificação constante na geometria dos taludes devido à sua sucessiva adaptação a novas condições de equilíbrio. Geralmente, as áreas mais propícias à ocorrência deste tipo de movimentos, correspondem a zonas montanhosas, escarpadas e sujeitas a elevada precipitação ou a condições hidrogeológicas desfavoráveis.

Deste modo, a presente dissertação tem por objectivo fazer uma abordagem da problemática associada à instabilidade de taludes em rochas silto-argilosas, dando uma panorâmica das técnicas de engenharia usadas para o controlo dessas situações e salientando-se algumas técnicas de biorremediação apropriadas para o controlo de movimentos superficiais. Os temas abordados são explicados com uma aplicação a um caso real de estudo em Portugal.

ABSTRACT

The slope instability phenomena are often the cause of human and material losses. Therefore, increasing importance is given to this geotechnical problem. The studies of landslides are relatively cumbersome and complex, since it is necessary to take into account many factors, related to the massive internal characteristics, namely, geological and geotechnical, or with external actions. Studies of slope instability, either artificial or natural are aimed (at most) to evaluate hazard, risks and identify preventive measures to control the soil mass movements that may occur.

The geological and climatic changes experienced over time generate a constant change in slope geometry, as a response to new conditions of equilibria. Generally, the areas most favorable to the occurrence of such movements are mountainous areas, river valleys and escarpments that are preferably made of soft and loose material, and subject to high rainfall or unfavorable hydrogeological conditions.

Therefore, this work reports an approach to the problems of slope instability in silt-clay rocks, not only giving an overview of the engineering techniques used to control these situations, but also exposing some techniques of bioremediation that are appropriate for the control of surface movements, and finally to show a real case study application in Portugal.

ÍNDICE GERAL

CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
-----------------------------	---

CAPÍTULO 1

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E CARACTERIZAÇÃO DAS ROCHAS SILTO- -ARGILOSAS.....	3
1.1 - Introdução.....	3
1.2 - Enquadramento Geológico	4
1.2.1 - Unidades Geológicas / Estratigrafia	5
1.2.2 - Condições Hidrogeológicas.....	9
1.2.3 - Geomorfologia e Estabilidade dos Taludes Naturais	15
1.3 - Caracterização das Rochas Silto-Argilosas.....	16
1.3.1 - Introdução.....	16
1.3.2 - Caracterização Geológica	18
1.3.2.1 - Terminologia.....	18
1.3.2.2 - Composição Mineralógica	21
1.3.2.3 - Textura e Estrutura.....	25
1.3.2.4 - Cor	28
1.3.3 - Caracterização Geotécnica	29
1.3.3.1 - Plasticidade	29
1.3.3.2 - Resistência/Deformabilidade	29
1.3.3.3 - Expansibilidade	29
1.3.3.4 - Durabilidade	30
1.4 - Sumário	31

CAPÍTULO 2

MECANISMOS DE INSTABILIDADE E MOVIMENTOS DE VERTENTE.....	33
2.1 - Definição e Caracterização dos Mecanismos de Instabilidade.....	33
2.1.1 - Classificações dos Movimentos de Vertente	34
2.2 - Descrição dos Movimentos de Vertente.....	40
2.2.1 - Queda de Blocos.....	40
2.2.2 - Tombamento.....	41

2.2.3 - Escorregamentos	42
2.2.3.1 - Escorregamento rotacional	42
2.2.3.2 - Escorregamento translacional ou planar	44
2.2.3.3 - Escorregamento misto	45
2.2.3.4 - Expansão lateral de blocos	46
2.2.4 - Fluxos	47
2.2.4.1 - Torrentes ou fluxos de detritos	47
2.2.5 - Reptação	48
2.3 - Causas para a Ocorrência deste Tipo de Fenómenos	49
2.3.1 - Agentes Activos (responsáveis pelo desencadear do movimento)	51
2.3.2 - Agentes Passivos (controlam as características do movimento)	52
2.4 - Sumário	54

CAPÍTULO 3

MEDIDAS DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES.....	55
Intervenções e Técnicas	55
3.1 - Generalidades	55
3.2 - Tipos de Obras de Estabilização de Taludes	55
3.2.1 - Medidas de Protecção	57
3.2.1.1 - Valas de retenção.....	57
3.2.1.2 - Banquetas	58
3.2.1.3 - Redes.....	58
3.2.2 - Medidas de Correção	59
3.2.2.1 - Reperfilamento do talude.....	59
3.2.3 - Medidas de Reforço	60
3.2.3.1 - Obras de contenção	60
1) Muros de Suporte.....	60
a) Muros de Gravidade	61
b) Muros de Terra Armada.....	62
c) Muros de Betão	62
d) Muros de Gabiões	63
2) Paredes de Contenção.....	65
a) Paredes tipo Berlim	65
b) Paredes Ancoradas	66

c) Pregagens	67
d) Cortinas de Estacas	67
3.2.3.2 - Drenagem.....	68
A) Drenagem Superficial e Protecção da Superfície	69
a) Valas revestidas	69
b) Valas de betão	70
c) Descidas de água	70
B) Drenagem Profunda.....	75
a) Drenos Horizontais Profundos (DHP)	76
b) Galerias drenantes	77
3.2.3.3 - Instrumentação e observação.....	77
a) inclinómetros	78
b) piezómetros	78
c) células de carga	78
d) alvos topográficos.....	78
e) marcas de assentamento	78
3.3 - Sumário.....	79

CAPITULO 4

BIORREMEDIAÇÃO COMO MEDIDA DE CONTENÇÃO	81
4.1 - Problemática da Nomenclatura	81
4.2 - Domínio de aplicação das TEN.....	82
4.2.1 - Funções e Efeitos das Técnicas.....	82
4.3 - Tipos de Materiais Utilizados em Engenharia Natural	85
a) Materiais Vivos.....	85
b) Materiais Inertes.....	85
4.3.1 - Papel da Vegetação	87
4.3.1.1 - Efeitos benéficos	88
4.3.1.2 - Efeitos Negativos.....	88
4.3.1.3 - Raízes e suas funcionalidades	89
4.3.1.4 - Classificação da estrutura e terminologia	89
4.3.1.5 - Desenvolvimento do sistema radicular	90
4.3.2 - Geossintéticos como Materiais Inertes.....	91

4.3.2.1 - Tipos de Geossintéticos	92
a) Geotêxteis	92
b) Geomembranas.....	92
c) Geossintéticos de reforço	93
d) Geossintéticos para drenagem	93
e) Geomantas.....	93
f) Geocélulas	94
g) Geocomposto	94
4.4 - Legislação Italiana	94
4.5 - Técnicas de Engenharia Natural (TEN).....	96
4.5.1 - Sementeira e Hidrosementeira.....	97
4.5.2 - Manta Orgânica	98
4.5.3 - Geotêxteis.....	100
4.5.4 - Paliçada Viva	101
4.5.5 - Entrançado Vivo.....	104
4.5.6 - Faixas de Vegetação	107
4.5.7 - Muro de Suporte Vivo	109
4.5.8 - Grade Viva	115
4.6 - Análise comparativa das Técnicas de Engenharia Natural.....	122
4.7 - Escolha do tipo de TEN mais adequado	126
4.7.1 - Cuidado e Manutenção das TEN	126
4.7.2 - Escolha da Vegetação	127
4.7.2.1 - Vegetação herbácea	128
4.7.2.2 - Vegetação arbustiva.....	128
4.7.2.3 - Vegetação arbórea	128
4.7.3 - Consequências da remoção de vegetação.....	129
4.7.4 - Durabilidade das TEN	129
4.8 - Sumário	130
CAPITULO 5	
CASOS DE ESTUDO	131
5.1 – Introdução.....	131
5.2 - Enquadramento Geotécnico	133
5.3 - Trecho entre km 5+300 e o km 5+700	135

5.3.1 - Condições Geológico-Geotécnicas Locais	135
5.3.2 - Trecho ao km 5+300	141
5.3.2.1 - Enquadramento do problema	141
5.3.2.2 - Solução de estabilização	143
5.3.3 - Trecho ao km 5+700	146
5.3.3.1 - Enquadramento do problema	146
5.3.3.2 - Solução de estabilização	148
5.4 - Escorregamento ao km 7+000	153
5.4.1 - Condições Geológico-Geotécnicas Locais	153
5.4.2 - Enquadramento do Problema.....	159
5.4.3 - Solução de Estabilização	160
5.5 - Aplicação à Biorremediação	164
CONSIDERAÇÕES FINAIS E	
DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	169
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	173
BIBLIOGRAFIA ELECRÓNICA.....	180

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 – Valores de escoamento superficial e o valor médio de erosão da sub-bacia Grande Pipa (adaptado PBH Rio Tejo, 2001).	11
Quadro 1.2 – Classificações geológicas das rochas silto-argilosas propostas por diversos autores.....	19
Quadro 1.3 – Terminologia adoptada relacionada com as rochas sedimentares detríticas finas.....	20
Quadro 1.4 – Composições mineralógicas médias das rochas silto-argilosas, (adaptado de Jeremias, 1997).	21
Quadro 1.5 – Correlação entre as cores presentes e os constituintes das rochas silto-argilosas.	28

Quadro 2.1 – Sistema de classificação de movimentos de terreno proposta por Varnes (1978).....	34
Quadro 2.2 – Classificação dos movimentos com base na velocidade de ocorrência (Varnes, 1978).....	35
Quadro 2.3 – Classificação dos tipos de rotura em taludes (adaptado de Hunt, 1984). ...	36
Quadro 2.4 – Classificação dos tipos de movimentos de terrenos, (adaptado de Romana, 1988).	37
Quadro 2.5 – Sistema de classificação de movimentos de terreno segundo o projecto EPOCH (1991-1993).....	38
Quadro 2.6 – Esquema descritivo/classificativo de movimentos de vertente adoptado na área em estudo.....	39
Quadro 2.7 – Representação dos agentes activos e passivos.....	50
Quadro 2.8 – Representação dos factores que influenciam a resistência ao corte do terreno.	52
Quadro 3.1 – Campo de aplicação e características dos terrenos dos muros de suporte.	64
Quadro 4.1 – Vantagens e desvantagens das TEM.....	84
Quadro 4.2 – Diferentes funções dos geossintéticos nas obras geotécnicas (adaptado de Shukla & Yin, 2006)	91
Quadro 4.3 – Aspectos normativos italianos referentes à Engenharia Natural, segundo Cornellini (2001).	95
Quadro 4.4 – Quadro de correlação entre o tipo de manta orgânica e o tipo de talude..	100
Quadro 4.5 – Velocidades de execução e respectivos custos médios para as TEN abordadas.....	123
Quadro 5.1 – Resultados obtidos nos ensaios de solos dos Depósitos de Vertente e Formação Abadia.	134
Quadro 5.2 – Resumo das principais características das Sondagens realizadas para o trecho entre o km 5+300 e o km 5+700.	137
Quadro 5.3 – Resumo das principais características dos Perfis Sísmicos de Refracção realizados para o trecho entre o km 5+300 e o km 5+700.	137
Quadro 5.4 – Síntese dos Horizontes sísmicos definidos.	138
Quadro 5.5 – Resumo das principais características dos Poços de Reconhecimento realizados para o trecho entre o km 5+300 e o km 5+700.	138

Quadro 5.6 – Resumo das principais características dos ensaios DPSH para os kms 5+300 e 5+700.....	139
Quadro 5.7 – Resultados dos ensaios laboratoriais de materiais terrosos para o trecho entre o km 5+300 e o km 5+700.	139
Quadro 5.8 – Resultados dos ensaios laboratoriais de materiais rochosos para o trecho entre o km 5+300 e o km 5+700.	140
Quadro 5.9 – Resultados dos Poços de Observação Km 7+000.....	155
Quadro 5.10 – Resumo das principais características dos Perfis Sísmicos de Refracção ao km 7+000.....	156
Quadro 5.11 – Resumo das principais características dos Poços de Reconhecimento ao km 7+000.....	156
Quadro 5.12 – Resumo das principais características das Sondagens realizadas ao km 7+000.	157
Quadro 5.13 – Resultados dos ensaios laboratoriais de materiais terrosos ao km 7+000.	157
Quadro 5.14 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais de materiais rochosos ao km 7+000.....	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização Geográfica da área de estudo	4
Figura 1.2 – (A) – Estratigrafia do Jurássico superior da Bacia Lusitaniana para as áreas de Arruda e Alcobaça; (B) – Coluna estratigráfica para a área de Arruda	6
Figura 1.3 – Cartografia geológica da área retirada da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000 (folhas 30D-Alenquer e 34B-Loures).....	7
Figura 1.4 – A – Mapa da Rede Hidrográfica da Bacia do Tejo. B – Principais rios existentes na área de estudo.	10
Figura 1.5 – Mapa das sub-bacias hidrográficas principais da bacia hidrográfica do Tejo,	11
Figura 1.6 – Mapa representativo da distribuição das temperaturas na Bacia Hidrográfica do Tejo	13

Figura 1.7 – Mapa representativo da distribuição da precipitação na Bacia Hidrográfica do Tejo	13
Figura 1.8 – Representação esquemática das estruturas e composições dos principais minerais argilosos	23
Figura 1.9 – Classes de espessura da estratificação e da fissilidade.....	26
Figura 1.10 – Diferentes tipos de laminação nas rochas silto-argilosas	27
Figura 2.1 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo queda de blocos.....	40
Figura 2.2 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo tombamento.	41
Figura 2.3 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo escorregamento rotacional.	42
Figura 2.4 – Esquema representativo dos diferentes tipos de escorregamentos rotacionais.	44
Figura 2.5 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo escorregamento translacional.	45
Figura 2.6 – Esquema de um movimento do tipo escorregamento misto.	46
Figura 2.7 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo expansão lateral de blocos	46
Figura 2.8 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo fluxo de detritos.....	48
Figura 2.9 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo reptação.....	48
Figura 3.1 – Esquema de uma vala de retenção	57
Figura 3.2 – Fotografias de redes de protecção aplicadas em taludes.....	58
Figura 3.3 – Exemplos de execução de reperfilamento em taludes	59
Figura 3.4 – Esquema e fotografia de um muro de suporte do tipo gravidade.....	61
Figura 3.5 – A – Construção de um muro de suporte do tipo terra armada. B – Aspecto do paramento exterior.....	62
Figura 3.6 – Esquema e fotografia de um muro de betão	63
Figura 3.7 – Fotografia e esquema representativo de um muro de gabiões.....	64
Figura 3.8 – Parede de Contenção do tipo Berlim.....	66
Figura 3.9 – Esquema ilustrativo de uma parede de contenção utilizando ancoragens....	66
Figura 3.10 – Execução de pregagens.	67
Figura 3.11 – Contenção do tipo cortina de estacas.	68
Figura 3.12 – Esquema ilustrativo de diversas soluções de drenagem superficial	71

Figura 3.13 – Fotografia de máscaras drenantes (Auto-Estrada A17).....	74
Figura 3.14 – Estruturas do tipo gabião-manta (rio Jamor).	74
Figura 3.15 – Execução de um dispositivo do tipo dreno horizontal profundo (túnel do Rossio).	76
Figura 3.16 – Esquema de elementos de um DHP	77
Figura 4.1 – Alguns exemplos de materiais vivos e inertes aplicados nas TEN.	86
Figura 4.2 – Esquema representativo da morfologia de uma raiz	90
Figura 4.3 – Fotografia de aplicação de hidrosementeira sobre uma grade viva.....	97
Figura 4.4 – Fotografia de hidrosementeira após crescimento das espécies vegetais. ..	98
Figura 4.5 – Fotografia de rolos de diferentes tipos de mantas orgânicas.....	99
Figura 4.6 – Aplicação de manta orgânica num talude.....	99
Figura 4.7 – Fotografias de geotexteis. A – Geotêxtil Tecido. B – Geotêxtil não tecido..	101
Figura 4.8 – Fotografia de uma obra da técnica do tipo paliçada viva.....	102
Figura 4.9 – Esquema ilustrativo de uma obra do tipo paliçada viva. A – Vista transversal. B – Vista frontal	103
Figura 4.10 – Fotografia da técnica do tipo entrançado vivo.	104
Figura 4.11 – Esquema ilustrativo da técnica do tipo entrançado vivo, vista transversal	105
Figura 4.12 – Esquema ilustrativo da técnica do tipo entrançado vivo, vista superior	105
Figura 4.13 – Esquema ilustrativo da técnica faixa de vegetação	107
Figura 4.14 – Fotografias da técnica faixa de vegetação. A – Fase de construção. B – Aspecto final.	109
Figura 4.15 – Várias fases de construção de um muro de suporte vivo.	110
Figura 4.16 – Plano de colocação de base do muro de suporte vivo	111
Figura 4.17 – Alçado transversal de um muro de suporte vivo	112
Figura 4.18 – Fotografia de várias obras do tipo muro de suporte vivo realizado ao longo de um talude em Itália.....	114
Figura 4.19 – Fotografia de uma obra do tipo muro de suporte vivo realizado ao longo de um talude numa estrada em Itália.	115
Figura 4.20 – Esquema do perfil de uma estrutura do tipo grade viva.....	116
Figura 4.21 – Esquema da vista do alçado frontal de uma estrutura do tipo grade viva. 117	
Figura 4.22 – Esquema do pormenor dos encaixes de uma construção do tipo grade viva	117
Figura 4.23 – Fotografia de uma construção da técnica grade viva.	118

Figura 4.24 – Diferentes fases de construção de uma obra de engenharia natural do tipo grade viva, para contenção de uma encosta numa ribeira.	121
Figura 4.25 – Construção de uma grade viva sobre muro de suporte vivo, em Itália.....	121
Figura 4.26 – Construção de uma grade viva sobre muro de suporte vivo, em Itália.....	121
Figura 4.27 – Combinações de obras do tipo grade viva e muro de suporte vivo, em Itália.	122
Figura 5.1 – Trechos das Cartas Militares, 389, 390, 403 e 404, evidenciando a zona de traçado.....	132
Figura 5.2 – Carta Geológica da área em estudo com a localização do traçado da Auto-Estrada A10.....	133
Figura 5.3 – Localização dos trabalhos de reconhecimentos efectuados aos kms 5+300 e 5+700.	136
Figura 5.4 – Zona instabilizada ao km 5+300.....	141
Figura 5.5 – Pormenor da morfologia da zona instabilizada ao km 5+300.	142
Figura 5.6 – Vista do final da parede ancorada (M3).....	142
Figura 5.7 – Perfil da solução adoptada para a efectivação da estabilidade do talude ao km 5+300.....	144
Figura 5.8 – Substituição da zona instabilizada por materiais de enrocamento.....	145
Figura 5.9 – Aspecto final da obra ao km 5+300.....	145
Figura 5.10 – Vista de um dos muros de gabiões colocados junto à unidade fabril ao km 5+700.	146
Figura 5.11 – Vista aérea da área instabilizada ao km 5+700.....	147
Figura 5.12 – Detalhe de uma zona da área instabilizada ao km 5+700.	148
Figura 5.13 – A – Construção da cortina de microestacas ancorada. B – Vista geral da cortina. C – Pormenor da cortina de microestacas ancorada.	149
Figura 5.14 – Esquema do sistema de drenagem efectuado ao km 5+700.....	150
Figura 5.15 – Execução de trincheiras drenantes ao km 5+700.....	151
Figura 5.16 – Construção da segunda cortina de microestacas.....	151
Figura 5.17 – Perfil da solução adoptada para a efectivação da estabilidade do talude ao km 5+700.....	152
Figura 5.18 – Vista final das obras de estabilização ao km 5+700.....	153
Figura 5.19 – Perfil longitudinal geotécnico entre os kms 6+700 e 7+500.....	154
Figura 5.20 – Vista do escorregamento ocorrido ao km 7+000.	159

Figura 5.21 – Remoção da zona instabilizada dos depósitos de vertente ao km 7+000.	160
Figura 5.22 – Pormenor das obras de drenagem sub-superficiais	162
Figura 5.23 – Geogrelha aplicada no talude ao km 7+000.	163
Figura 5.24 – Vista final da obra ao km 7+000.....	164
Figura 5.25 – Esquema de forças sobre o muro de suporte vivo sem rotação da estrutura.	165
Figura 5.26 – Esquema de forças sobre o muro de suporte vivo com rotação da estrutura sobre o ponto A	165

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Devido à sua ampla distribuição espacial, as rochas silto-argilosas são frequentemente interessadas *in situ*, no caso das fundações, taludes de escavação e obras subterrâneas e utilizadas como materiais de construção, no caso dos aterros. Uma vez que em Portugal existem algumas obras rodoviárias cujo traçado se desenvolve neste tipo de rochas, poderá existir um crescente número de situações em que estes materiais possam vir a ser cortados em taludes de escavação e/ou aplicados na construção de aterros. Por conseguinte, é muito importante proceder-se à avaliação das propriedades geológicas e geotécnicas que controlam o comportamento das rochas silto-argilosas.

O presente relatório está organizado em cinco capítulos que se apresentam, de modo sucinto, em seguida.

No Capítulo 1, será efectuada uma abordagem dos aspectos geológicos mais importantes da área em estudo, de forma a se enquadrar em termos regionais as formações que se pretendem investigar no presente trabalho. Para além destes aspectos, descrevem-se as características das rochas silto-argilosas, nomeadamente, no que diz respeito aos aspectos mineralógicos e texturais e às propriedades geotécnicas.

No Capítulo 2, revêem-se os principais mecanismos activos e tipos de movimentos com maior importância na região, dando particular ênfase aos de carácter superficial. Na abordagem proposta procurar-se-á identificar os principais factores que controlam os movimentos de terrenos ocorrentes bem como a classificação mais apropriada ao estudo naquela área.

No Capítulo 3, descrevem-se as técnicas de remediação aplicáveis aos problemas de instabilidade salientando-se em particular aquelas que são mais adequadas ao controlo dos movimentos superficiais, designadamente nas obras de contenção, drenagem e protecção da superfície.

No Capítulo 4 será dada especial ênfase às técnicas de biorremediação que constituem no caso dos movimentos peliculares uma alternativa extremamente interessante face ao seu excelente enquadramento paisagístico.

No Capítulo 5 aborda-se um caso de estudo, onde serão descritos os mecanismos e os tipos de instabilidade ocorrentes ao longo de 2 trechos da Auto-Estrada A10 (sublanço Bucelas – Arruda dos Vinhos). Proceder-se-á à caracterização das condições geotécnicas locais com base em trabalhos de prospecção e ensaios já realizados, analisando-se as situações de instabilidade verificadas, bem como, as soluções adoptadas à luz dos conhecimentos referenciados nos capítulos precedentes.

CAPÍTULO 1

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E CARACTERIZAÇÃO DAS ROCHAS SILTO-ARGILOSAS

1.1 - Introdução

Devido à sua ampla distribuição geográfica, as rochas silto-argilosas são frequentemente interessadas por obras de Engenharia Civil, quer como materiais de construção, no caso de aterros, quer *in situ* no seu estado natural e não remexido, caso das fundações, dos taludes de escavação e das obras subterrâneas. São correntemente consideradas materiais problemáticos devido, principalmente, à elevada percentagem de minerais argilosos presentes na sua composição e por exibirem fraco grau de litificação, o que pode determinar a sua grande susceptibilidade à desintegração quando sujeitas a variações do teor de humidade. Em resultado destas condicionantes, as rochas silto-argilosas têm sido associadas a inúmeros casos de instabilidade em obras de Engenharia Civil. A avaliação das propriedades geológicas e geotécnicas que controlam o comportamento das rochas silto-argilosas é por conseguinte uma tarefa da maior importância para as obras que interessem este tipo de rochas ou em que estas sejam usadas como materiais de construção.

O presente capítulo tem por objectivo proceder a uma primeira abordagem do enquadramento da área em estudo, em termos das características litoestratigráficas, geomorfológicas e hidrogeológicas. Além daqueles aspectos que constituem o relevo, descreve-se também a área em termos da estabilidade dos taludes naturais. Numa segunda parte do capítulo procede-se à revisão dos aspectos mais relevantes na caracterização das rochas de composição silto-argilosa, principais constituintes das formações presentes na área de estudo.

Existe uma vasta bibliografia sobre a caracterização das rochas silto-argilosas nos seus múltiplos termos, esta é sintetizada no presente capítulo para os aspectos mais relevantes de âmbito geológico e geotécnico.

Por outro lado a área em estudo, em particular, foi objecto de trabalhos de investigação prévios centrados nos aspectos relativos à influência dos factores geológicos no controlo das propriedades geotécnicas das rochas silto-argilosas (Jeremias, 2000). Estes estudos constituem informação fundamental sobre o tema, complementados com os trabalhos relativamente recentes resultantes da construção do sublanço Bucelas-Arruda dos Vinhos, da Auto-Estrada A10.

1.2 - Enquadramento Geológico

A área de estudo localiza-se na região a Norte de Lisboa, no distrito de Lisboa, e abrange principalmente o concelho de Vila Franca de Xira (figura 1.1).



Figura 1.1 – Localização Geográfica da área de estudo, (imagens retiradas do Google Earth).

Em termos regionais, a área de estudo situa-se na Orla Meso-cenozoica Ocidental, numa zona constituída pelas formações sedimentares da sub-bacia de Arruda dos Vinhos que corresponde a um grande empolamento de formações de idade jurássica e estende-se desde Arruda dos Vinhos e Sobral de Monte Agraço até à margem do Tejo entre Alhandra e Castanheira do Ribatejo. A zona da sub-bacia de Arruda dos Vinhos está incluída na Bacia Lusitaniana, cuja génese e evolução estão intimamente ligados ao regime extensivo associado à abertura do Atlântico Norte durante o Mesozóico. A evolução desta sub-bacia está em grande parte ligada à ocorrência de falhas com direcção NNE-SSW que presumivelmente correspondem a fracturas tardi-hercínicas. Muito provavelmente estas jogaram primeiro durante as fases de “rifting” como falhas normais e depois devido aos efeitos de uma tectónica compressiva W-E como falhas inversas. O núcleo aflorante deste empolamento que é correspondente à sub-bacia de Arruda dos Vinhos é constituído pela Formação de Abadia que por acção de toda esta tectónica as formações se encontram frequentemente muito deformadas.

O flanco meridional do antiforma anticlinal de Arruda dos Vinhos, responsável pelo afloramento das formações jurássicas integra o monoclinal de Bucelas, de orientação geral E-W e inclinação reduzida para S, geralmente entre 10º e 15º, afectando unidades de idade jurássica a miocénica.

1.2.1 - Unidades Geológicas / Estratigrafia

De acordo com a Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000 (folhas 34B-Loures e 30D-Alenquer) a área de estudo abrange formações pertencentes ao Jurássico Superior, bem como depósitos superficiais recentes constituídos por depósitos de terraços (Q) e depósitos aluvionares (a).

As formações existentes nas duas cartas geológicas, são constituídas pelas mesmas unidades litológicas, no entanto a sua designação difere, tendo sido adoptadas as designações das unidades expressas na folha 34B – Loures.

As unidades presentes têm idades compreendidas entre o Kimeridgiano inferior e superior e são as seguintes:

- J⁴⁻⁵ – Complexo margo-calcário do Pteroceriano;
- J^{4_b} – Formação de Amaral (calcários corálicos);
- J^{4_a} – Formação de Abadia (margas).

A estratigrafia do Jurássico superior da Bacia Lusitaniana e a coluna estratigráfica para a área de Arruda dos Vinhos apresenta-se na figura 1.2.

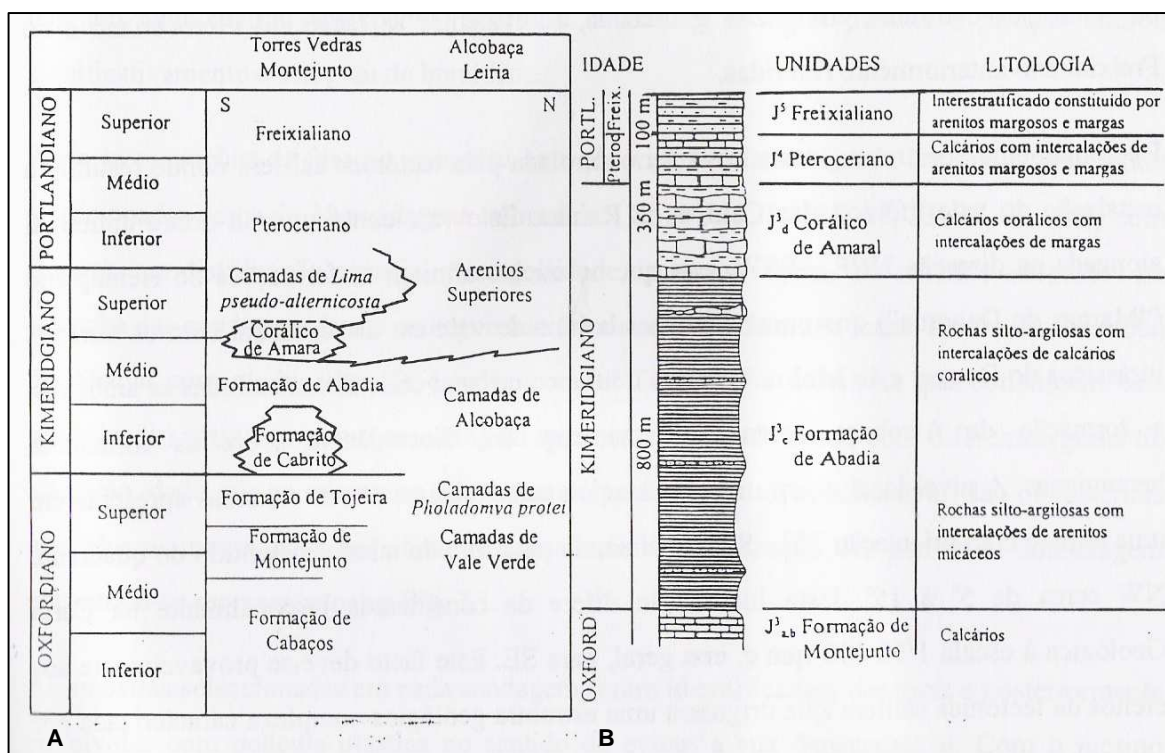


Figura 1.2 – (A) – Estratigrafia do Jurássico superior da Bacia Lusitaniana para as áreas de Arruda e Alcobaça; (B) – Coluna estratigráfica para a área de Arruda (adaptado de Jeremias 1997).

Na Figura 1.3, representa-se a cartografia geológica da área retirada da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000 (folhas 30D-Alenquer e 34B-Loures).

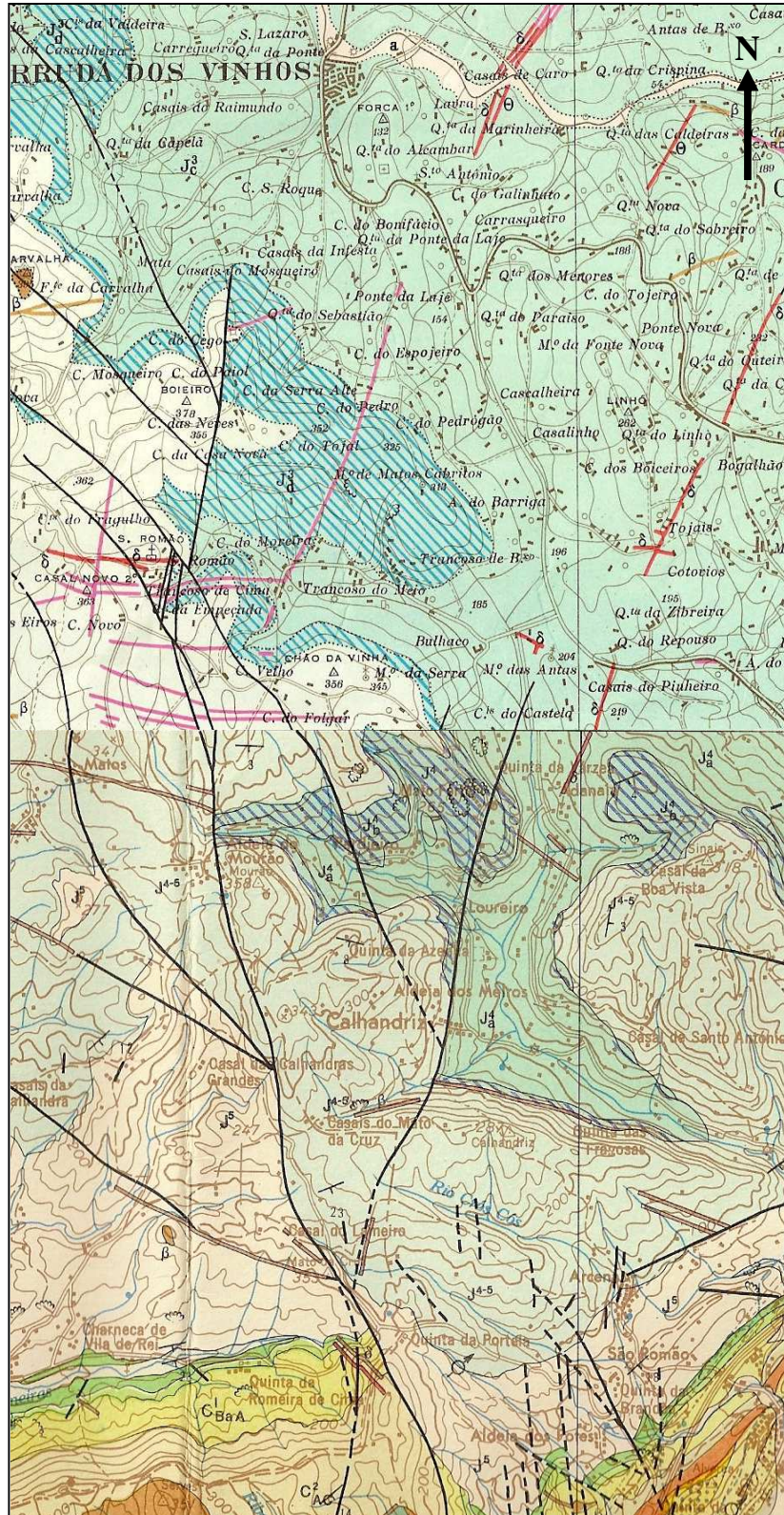


Figura 1.3 – Cartografia geológica da área retirada da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000 (folhas 30D-Alenquer e 34B-Loures).

JURÁSSICO

Complexo margo-calcário Pteroceriano (J^{4-5}) – esta unidade ocorre essencialmente na zona sul da área em estudo e é, de um modo geral, constituída por alternâncias de calcários e margas, muito rica a nível de fauna. Na zona em estudo, são essencialmente as Camadas com *Lima pseudo-alterniscosta* que estão mais representadas. Existem zonas onde este complexo assenta directamente sobre a Formação de Amaral e outras onde assenta sobre a Formação de Abadia, (Zbyszewski, 1963). No seu conjunto esta unidade constitui um complexo heterogéneo em que predominam as camadas mais resistentes de natureza calcária com alguns níveis margosos brandos. Os calcários são de diversos tipos, apinhoados, compactos, por vezes margosos e frequentemente carsificados.

Formação de Amaral (J^4_b) – esta unidade ocorre essencialmente na zona mais central da área em estudo, sendo constituída predominantemente por calcários compactos recifais separados por níveis margosos, ou margo-calcário com camadas de calcários gresosos, de calcarenitos compactos e de calcários oolíticos. No meio deste complexo existem bancadas de grés compactos. O contacto entre esta formação e a Formação de Abadia é muito irregular, devido ao carácter recifal das rochas da Formação de Amaral, com acentuadas variações verticais e horizontais de fácies. Deste modo, as primeiras camadas corálicas apresentam um aspecto lenticular na parte superior da Formação de Abadia, (Zbyszewski, 1965).

Formação de Abadia (J^4_a) – esta unidade é predominante e está presente em toda a área em estudo. A formação é constituída por uma espessa série argilo-margosa constituída por margas, argilitos, argilitos margosos e siltitos margosos, cinzentos ou cinzento esverdeados, micáceos, por vezes laminados, com estratificação entre-cruzada e abundantes fragmentos de plantas, com intercalações de massas calcárias irregulares (recifais), e de bancadas de arenitos compactos resistentes, atingindo no seu conjunto cerca de 800 m de espessura. A sub-bacia de Arruda dos Vinhos constitui um anticlinal em que por erosão dos calcários de Amaral as Margas de Abadia formam um afloramento com cerca de 13 km de comprimento e 10 km de largura, (Zbyszewski, 1965). As margas são constituídas por uma fracção detrítica formada por grãos sub-angulares de quartzo e feldspato e lamelares de mica da dimensão da areia ou do silte grosso e por uma matriz

fina de composição argilosa, contendo ilite, caulinite e clorite. Estas rochas apresentam uma fase carbonatada mais ou menos importante formada, sobretudo, por calcite que constitui o principal agente de cimentação presente. A exposição destas rochas à superfície e conseqüentemente aos mecanismos de alteração promove o enfraquecimento das ligações inter-particulares conduzindo a uma aumento da sua expansibilidade, compressibilidade e diminuição da sua resistência. A desagregação das ligações inter-partículas está, deste modo, relacionada com o grau de alteração, podendo as rochas evoluir para um solo argiloso.

1.2.2 - Condições Hidrogeológicas

No que diz respeito às características hidrogeológicas da área em estudo, verifica-se que as formações do complexo margo-calcário (J^{4-5}) e calcárias (J^4_b) fissuradas e frequentemente carsificadas constituem um aquífero suportado inferiormente pelas margas da Formação Abadia. Assim, poderão ocorrer exurgências de água no contacto entre aquelas formações ou no interior das formações J^{4-5} e J^4_b em relação com níveis margosos com espessura importante.

1.2.2.1 - Organização da rede de drenagem

Na área em estudo o curso de água de maior importância é o Rio Grande da Pipa (Figura 1.4) que tem cerca de 116,8 km² de área de sub-bacia (Figura 1.5), e corre de Oeste para Leste, passando junto à povoação de Cadafais e desaguando no Tejo perto da estação do Carregado.

No quadro 1.1 são apresentados os valores de escoamento superficial e o valor médio de erosão da sub-bacia Grande Pipa.

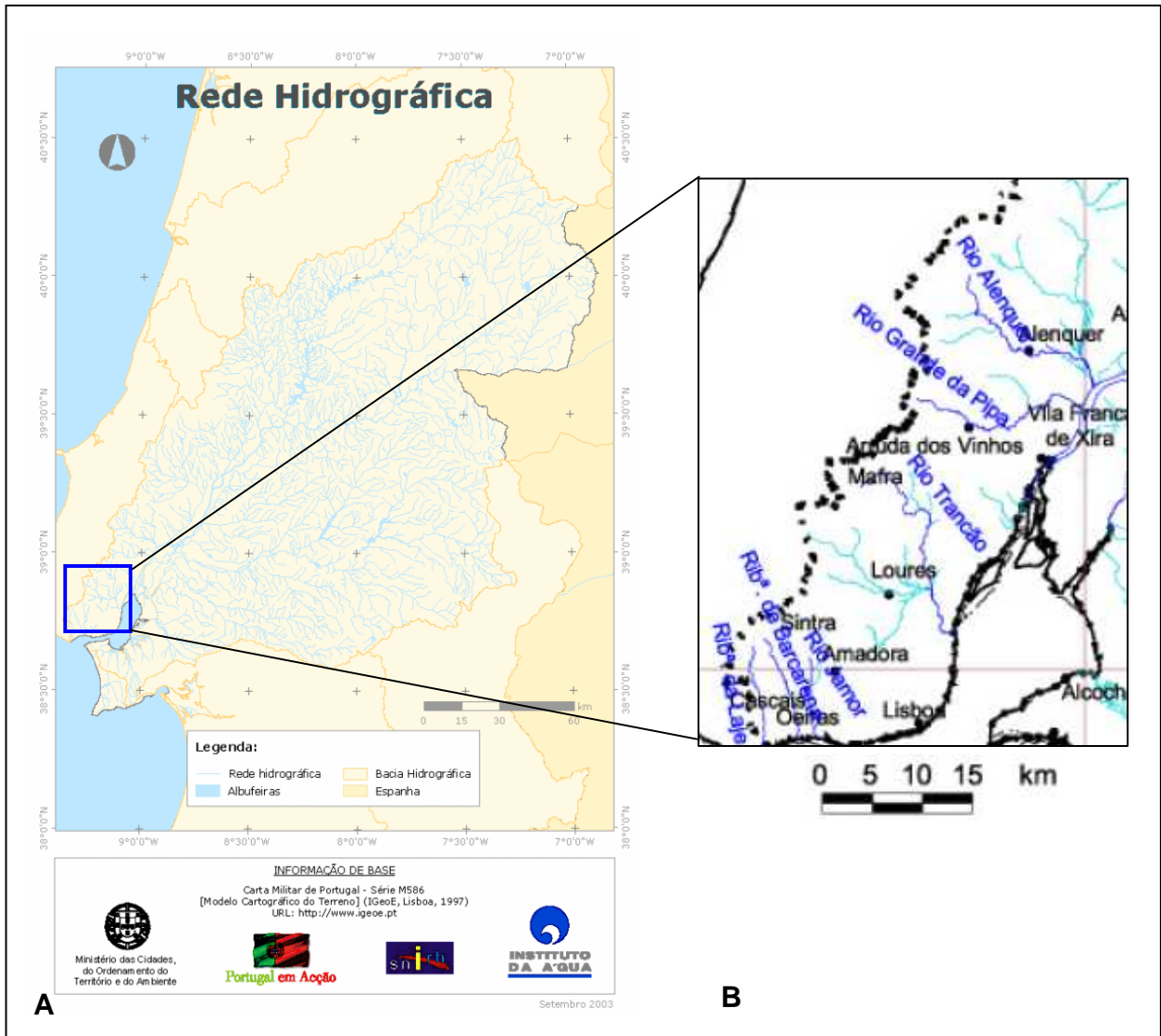


Figura 1.4 – A – Mapa da Rede Hidrográfica da Bacia do Tejo (SNIRH, 2003). B – Principais rios existentes na área de estudo, (adaptado do PBH do Tejo, 2001).

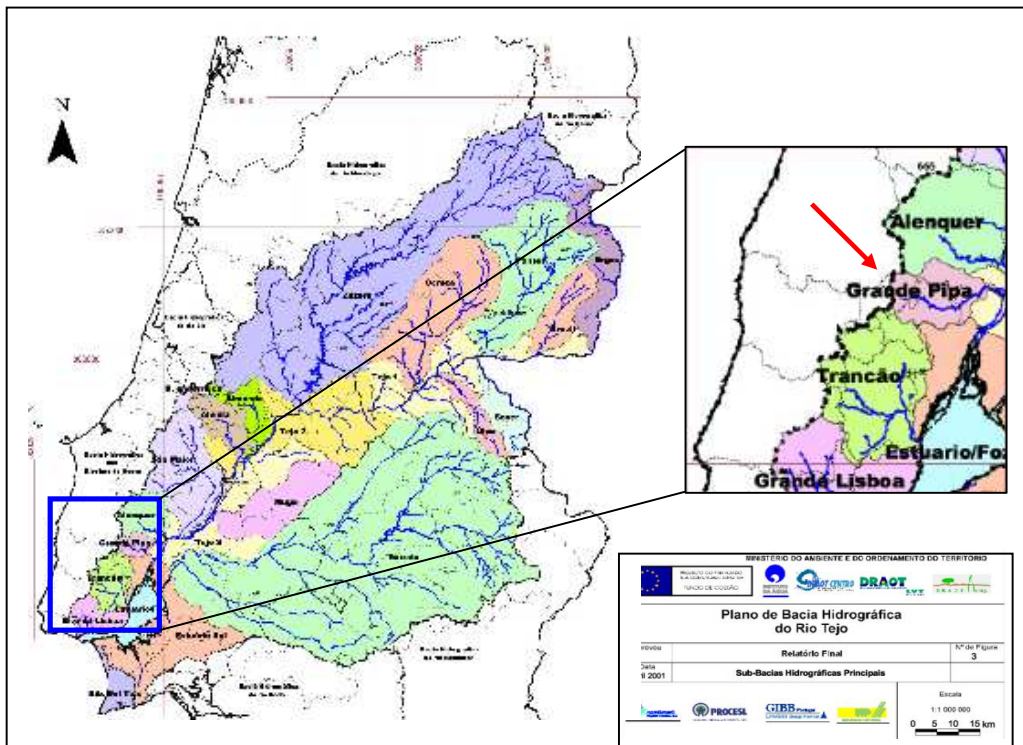


Figura 1.5 – Mapa das sub-bacias hidrográficas principais da bacia hidrográfica do Tejo, (adaptado do PBH do Tejo, 2001)

Quadro 1.1 – Valores de escoamento superficial e o valor médio de erosão da sub-bacia Grande Pipa (adaptado PBH Rio Tejo, 2001).

Sub-Bacia	Escoamento superficial			Valor médio de Erosão (ton/ha.ano)
	Ano Médio	Ano Seco	Ano Húmido	
Grande Pipa	31,9	15,3	48,8	5,70

1.2.2.2 - Condicionamentos climáticos

Na área de estudo, o clima é caracteristicamente Mediterrâneo, com a seca nos Verões e uma estação chuvosa normalmente com duração de Outubro a Abril. No entanto, o regime de chuva é irregular, com grandes períodos de seca prolongada alternando com fortes chuvas. A intensa precipitação também pode ocorrer em episódios pontuais, causando inundações repentinas em pequenas bacias hidrográficas.

Dado a ausência de estações climatológicas e udométricas no interior do Concelho de Arruda dos Vinhos, os dados aqui expostos foram obtidos com recurso à estação mais próxima: Ota base aérea, com séries de observações completas (referentes a um período de 30 anos).

As principais características meteorológicas da área em estudo são as seguintes (PDM Arruda dos Vinhos, 2006):

- a **temperatura média anual** do ar da região é de 16,1°C (Figura 1.6). O regime mensal apresenta valores máximos nos meses de Verão, sendo o mês de Agosto aquele que apresenta, em média, os valores mais elevados (22,4°C). Os valores mínimos registam-se no período de Inverno, sendo o mês de Janeiro aquele que regista, em média, os valores mais reduzidos (5,9° C). A variação anual da temperatura é de 16,5° C. As temperaturas máximas médias registam-se no mês de Agosto, com o valor de 28,4°C, e as temperaturas mínimas médias registam-se no mês de Janeiro, descendo até aos 5,9°C. No que concerne os valores absolutos da temperatura, o valor máximo atingido foi de 40,7 °C, no mês de Agosto e o valor mínimo, registado em Dezembro, de -4,2°C. Em resumo nesta região, o Verão pode ser considerado quente (temperaturas médias superiores a 22°C) e o Inverno temperado, atendendo a que a temperatura média das mínimas do mês mais frio é superior a 3°C (temperatura média das mínimas do mês mais frio é superior a 3°C).

- a **precipitação**, atendendo aos registos disponíveis na estação climatológica de referência, a precipitação média anual é de 587 mm. A análise do regime pluviométrico mensal evidencia um período chuvoso que se estende pelo período Outubro a Março, sendo o mês de Janeiro aquele em que se regista, em média, maiores quantitativos pluviométricos, 84,8 mm. A estação seca, marcada por valores reduzidos de precipitação, ocorre nos meses de Verão (Julho e Agosto), sendo o mês de Julho o que regista, em média, menores quantitativos (2,8 mm). O período de transição é constituído pelos meses

de Abril a Junho, em que se dá a transição da estação chuvosa para a estação seca e o mês de Setembro, transição da estação seca para a estação chuvosa.

No que se refere aos quantitativos máximos diários o mês de Outubro foi o que registou maiores valores, 124,3 mm.

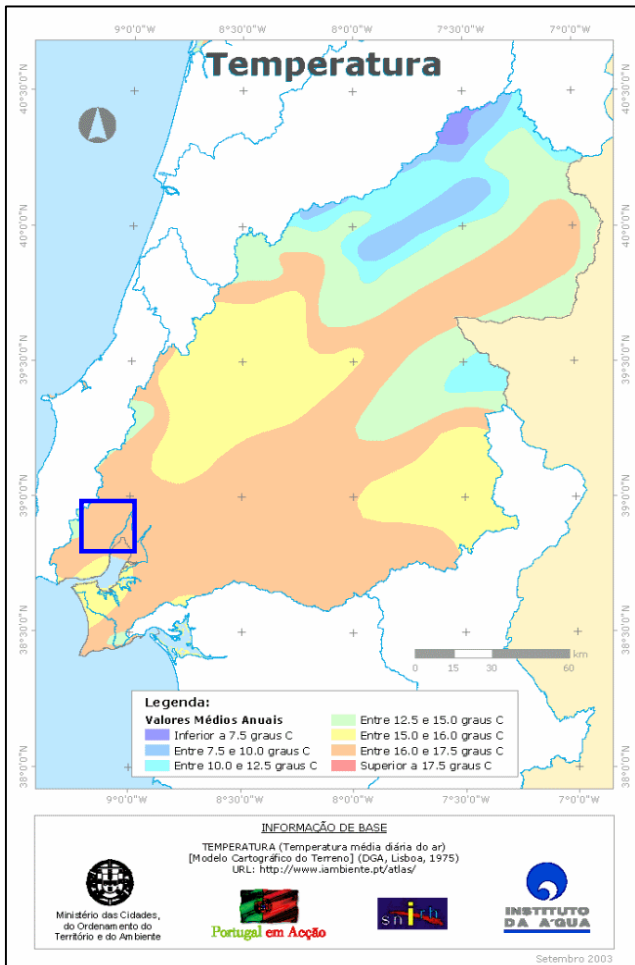


Figura 1.6 – Mapa representativo da distribuição das temperaturas na Bacia Hidrográfica do Tejo (SNIRH, 2003).

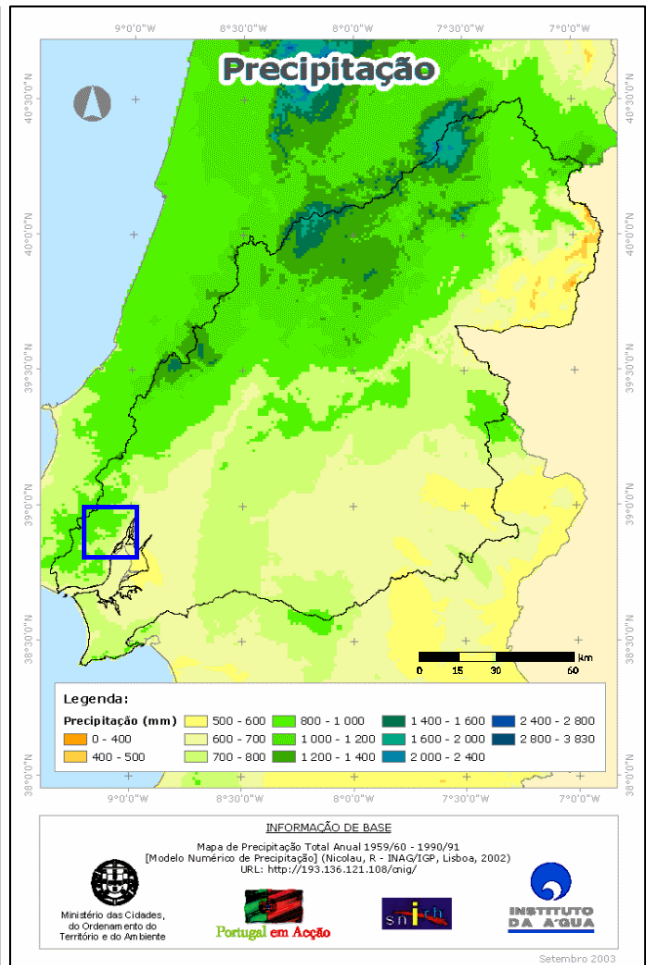


Figura 1.7 – Mapa representativo da distribuição da precipitação na Bacia Hidrográfica do Tejo (SNIRH, 2003).

- a **evaporação média anual** é de 1850,5 mm, cerca de 1263,4 mm superior aos quantitativos de precipitação registados. O período de Maio a Setembro é o que regista maiores valores de evaporação, destacando-se o mês de Agosto por ser aquele onde a evaporação atinge o valor máximo, 254,6 mm. O mês que regista menores valores de evaporação é o mês de Janeiro, com 68,3 mm. Esta constatação vem evidenciar a relação directa entre a evaporação e o ritmo anual da temperatura.

- A **velocidade média anual do vento** é de aproximadamente 24,9 km/h, sendo o rumo N aquele que regista, em média, uma maior velocidade, 17,6 km/h. Os rumos predominantes no concelho são de N com uma percentagem de frequência de ocorrência na ordem dos 30,1%, com especial incidência no período de Maio a Agosto, e NW com 13,3% de frequência de ocorrência, sobretudo nos períodos de Junho a Agosto. A sua velocidade média anual atinge os 17,6 km/h para o rumo N e os 17,8 km/h para o rumo de NW. O rumo W, ainda que com uma frequência de ocorrência reduzida (9,5%), apresenta em média uma velocidade de 15,3 km/h, com especial incidência nos meses de Inverno. O rumo com menor frequência de ocorrência é o de E, com apenas 3,1% ano. As calmas têm uma relativa expressão no concelho ocorrendo com uma frequência anual de aproximadamente 24,9%, sobretudo nos meses de Janeiro e Dezembro. O vento forte (com velocidade igual ou superior a 36 km/h) ocorre em média e, cerca de 10 dias e o vento muito forte (com velocidade igual ou superior a 55 km/h) praticamente não tem expressão na região.

- a **humidade relativa média anual** do ar às 9 horas é da ordem dos 77%, e às 15h é de 58%. No período compreendido entre os meses de Novembro e Março, meses mais chuvosos e de temperaturas do ar mais reduzidas, a humidade relativa do ar atinge, em média, os seus valores máximos, estes rondam os 80-88% às 9 horas e às 15 horas valores entre os 62% no mês de Março e 71% no mês de Janeiro. Os meses de menor humidade relativa são os meses de Verão, sendo o mês de Julho aquele que regista em média os menores valores ao início da manhã, 65%, no que se refere aos valores referentes às 15h, o mês de Agosto é o que apresenta uma menor humidade relativa do ar, 46%.

- a **frequência média anual de nevoeiro** é baixa, ocorrendo em cerca de 31 dias/ano sendo os meses de Dezembro e Janeiro os que registam maiores valores de frequência de ocorrência deste fenómeno, com 5,4 e 5 dias/mês respectivamente. Pelo contrário, os

meses de Verão são aqueles que registam uma menor ocorrência sendo o mês de Julho aquele em que ocorre menos este fenómeno (0,4 dias/ano).

- no que concerne ao parâmetro número de dias de **nebulosidade** igual ou superior a oito (elevada nebulosidade), a região apresenta uma média anual de 107,2 dias, com maior frequência nos meses de Inverno e principio da Primavera. Quanto ao número de dias com nebulosidade igual ou inferior a 2 (céu limpo), estes ocorrem em média 115,5 dias/ano, com maior frequência nos meses de Julho e Agosto, em 18,2 dias e 17,1 dias, respectivamente.

- tendo em conta o número de horas de **insolação**, a região apresenta no anualmente cerca de 2763 horas de sol descoberto, o que corresponde a 61% da insolação máxima possível no ano. No que concerne à variação mensal do total de horas o período que se estende de Maio a Agosto apresenta um elevado número de horas de sol descoberto, com um pico no mês de Julho 357,8. Os meses de Inverno são, naturalmente, aqueles em que se regista um menor número de horas de sol descoberto, sendo o mês de Janeiro aquele que em média apresenta o número mais reduzido (135,4h).

1.2.3 - Geomorfologia e Estabilidade dos Taludes Naturais

O modelado actual da região de estudo é caracterizado por apresentar condições propícias à ocorrência frequente de fenómenos de instabilidade nas encostas naturais, após períodos prolongados de precipitação e resulta de um conjunto de factores, tais como, a sequência estratigráfica, a estrutura geológica e a evolução geomorfológica que actuou sobre o relevo no Quaternário.

O contraste litológico entre as camadas margo-calcárias e as formações margosas (J^4_a) deu origem a escarpas rochosas no topo das encostas, enquanto a parte inferior destas, constituídas pelas margas da Formação de Abadia menos resistentes, cobertas por depósitos de vertente apresentam um perfil longitudinal côncavo.

A rede de drenagem depois de erodir as formações margo-calcárias (J^{4-5}) e calcárias (J^4_b) superiores mais resistentes encaixou-se profundamente nas margas da Formação de Abadia menos resistentes. A escavação rápida dos vales e a remoção pela erosão dos materiais sobrejacentes originou a expansão vertical e a descompressão dos maciços margosos fortemente sobreconsolidados.

Os depósitos superficiais recentes apresentam baixa permeabilidade, no entanto, quando saturados processa-se através deles uma percolação elevada sobretudo ao longo da interface com as margas da formação de Abadia que têm uma permeabilidade mais reduzida. A alimentação destes depósitos resulta principalmente da infiltração da água através das fendas de retracção originadas pela secagem dos terrenos na estação de estiagem, no entanto, a circulação subterrânea no maciço a favor das camadas mais permeáveis, constitui igualmente uma fonte de abastecimento dos depósitos.

Estes processos são importantes na evolução morfológica da área, nomeadamente na estabilidade dos taludes, porque causam uma diminuição das características resistentes das rochas margosas numa espessura significativa devido, quer à abertura de fissuras, quer à expansão dos materiais. A evolução destas encostas processa-se, assim, a partir do recuo progressivo das escarpas rochosas, originando a acumulação de materiais (pedras e blocos) provenientes do desmantelamento das formações mais resistentes.

As principais unidades morfológicas compreendem os relevos de costeira (Lousa–Bucelas e Odivelas–Vialonga) e as bacias Arruda dos Vinhos e de Loures. As altitudes não são superiores aos 300 m, mas os declives acentuados são comuns. É uma região de morfologia acidentada, formada por colinas separadas por vales muito extensos e profundos. A zona do Carregado, é atravessada por uma extensa baixa aluvionar com níveis lodosos compressíveis, com espessura máxima de cerca de 30 m.

1.3 - Caracterização das Rochas Silto-Argilosas

1.3.1 - Introdução

A adequada caracterização das rochas silto-argilosas, permite prever o comportamento destes materiais quando interessados por obras de engenharia ou quando usados como material de construção. As propriedades geotécnicas das rochas silto-argilosas, designadamente, a sua durabilidade, encontram-se relacionadas com a sua composição, história geológica e grau de alteração. A caracterização dos aspectos mineralógicos e

texturais é extremamente importante devido à influência destes factores nas propriedades destas rochas.

A bibliografia especializada, (Gamble 1971; Spears & Taylor, 1972; Chandler, 1974; Seedsman, 1980; Russel, 1982; Steward & Cripps, 1983; Okagbue, 1984; Taylor, 1988; Dick & Shakoor, 1992; Campbell, 1993; Bell *et al.*, 1997), mostra que os principais processos envolvidos na alteração das rochas silto-argilosas se devem à libertação das tensões e à desintegração física que ocorre em contacto com a água. Estes estudos permitiram ainda verificar que, estes processos são influenciados pela resistência das ligações diagenéticas, pela presença de estruturas sedimentares, pelas descontinuidades, bem como pelo *fabric* e composição mineralógica.

A experiência existente com este tipo de materiais indica que em muitos casos estes se alteram muito rapidamente durante, ou após, a fase de construção das obras conduzindo a alterações dos parâmetros geotécnicos, tais como a resistência e a deformabilidade. As rochas silto-argilosas são habitualmente consideradas materiais problemáticos devido à elevada percentagem de minerais argilosos presentes na sua composição e por exibirem fraco grau de litificação, o que pode determinar a sua grande susceptibilidade à desintegração quando sujeitas a variações do teor de humidade. Em resultado destas condicionantes, estes materiais têm sido associados a casos de instabilidade em obras de Engenharia Civil.

O domínio precário do comportamento destes materiais pode conduzir a situações desvantajosas e prejudiciais. Em alguns casos tem ocorrido colapso de obras com custos elevados, devido à degradação das propriedades dos materiais. Noutros existe uma tendência para se aplicarem parâmetros de dimensionamento conservativos gerando custos adicionais que não se justificam, nos casos em que não ocorre degradação das propriedades daquelas rochas.

Dada a grande variabilidade e especificidade das rochas sedimentares detríticas e o facto de não existir uma nomenclatura de aceitação generalizada para estas rochas, torna necessário proceder à revisão dos principais termos relacionados com estas rochas, bem como das classificações geológicas que lhes são aplicáveis.

As características geológicas mais importantes das rochas silto-argilosas incluem:

- composição mineralógica;
- textura;

- estrutura;
- cor

As propriedades geotécnicas mais relevantes para a caracterização destas rochas compreendem:

- plasticidade;
- resistência/deformabilidade;
- expansibilidade;
- durabilidade.

1.3.2 - Caracterização Geológica

1.3.2.1 - Terminologia

A definição dos termos relacionados com rochas sedimentares detríticas finas têm desde sempre originado confusões na literatura técnica (Potter *et al.*, 1980). Este facto explica, provavelmente, porque não existe ainda uma classificação geológica de aceitação generalizada na descrição destas rochas. Uma das questões metodológicas, na prática da geotecnia, envolvendo as rochas silto-argilosas, reside na definição de uma fronteira entre solo e rocha que seja adequada à resolução dos problemas de engenharia (Hencher, 1993). As rochas silto-argilosas podem exibir comportamento típico quer de solos quer de rochas.

As classificações baseadas em critérios geológicos descrevem adequadamente as rochas silto-argilosas mas não caracterizam as propriedades geotécnicas responsáveis pelo comportamento exibido por estas em obras de engenharia (Deen, 1981). Os sistemas de classificação de solos utilizados para fins de Engenharia Civil, são universalmente aceites, mas a extensão destes às rochas silto-argilosas restringem-se essencialmente aos tipos litológicos alterados ou com menor grau de litificação, em que seja possível a sua desagregação.

Diversos critérios geológicos têm sido seleccionados por diferentes autores para classificar as rochas sedimentares detríticas de grão fino. Picard (1971) refere, com base na revisão da bibliografia norte-americana, que os principais critérios geológicos utilizados nas classificações destas rochas incluem, a textura, a fissilidade, a composição mineralógica, a cor, a composição química, o grau de metamorfismo e as condições tectónico-sedimentares.

As classificações genéticas para as rochas silto-argilosas baseadas nas características dos ambientes de deposição e condições tectónicas em que estas rochas se formaram, não permitem a diferenciação entre os vários tipos litológicos. Assim a via adoptada consiste na selecção de características destas rochas que, por terem algum significado genético, possam ser aplicados como parâmetros classificativos. No quadro 1.2 faz-se uma síntese das diversas classificações geológicas e dos autores que as propuseram bem como as características geológicas em que estes se basearam.

Quadro 1.2 – Classificações geológicas das rochas silto-argilosas propostas por diversos autores.

Tipo de Classificação	Autores
Baseada na <u>textura</u>	Wentworth, 1922; Picard, 1971
Baseada na <u>textura e fissilidade</u>	Igram, 1953; Folk, 1968; Blat <i>et al.</i> , 1980; Stow, 1981
Baseada na <u>textura e na estratificação</u>	Potter <i>et al.</i> 1980; Lundergard & Samuels 1980; Dick <i>et al.</i> 1994.
Baseada na <u>composição mineralógica</u>	Picard, 1971; Spears, 1980; Weaver, 1980; 1989

Segundo o vocabulário de Petrografia elaborado pelo LNEC (LNEC, 1971 b) são usados para esta classe de rochas os seguintes termos:

- ✓ Siltito – Siltstone
- ✓ Argilito, Pelito – Claystone
- ✓ Argilito Xistoso – Shale
- ✓ Marga – Marl ou Marlstone

Em Portugal não tem havido uma intensa reflexão sobre as questões relacionadas com a terminologia e a classificação deste tipo de materiais. Desde modo parece oportuno apresentar a terminologia adoptada neste trabalho, baseada na proposta de Jeremias (2000), e que se encontra sintetizada no quadro 1.3.

Quadro 1.3 – Terminologia adoptada relacionada com as rochas sedimentares detríticas finas.

Termos		Significado
Areia	<i>Sand</i>	Material cujas partículas tenham diâmetros equivalentes compreendidos entre 0,062 e 2 mm.
Lama	<i>Mud</i>	Material cujas partículas tenham diâmetros equivalentes menores que 0,062 mm.
Silte	<i>Silt</i>	Material cujas partículas tenham diâmetros equivalentes compreendidos entre 0,002 e 0,06 mm.
Argila	<i>Clay</i>	Material cujas partículas tenham diâmetros equivalentes menores que 0,002 mm.
Rochas silto-argilosas	<i>Mudrock</i>	Termo geral para a classe das rochas sedimentares detríticas finas que contenham pelo menos 50% de grão siliciclásticos de dimensão menor que 0,06 mm.
Siltito	<i>Siltstone</i>	Rocha litificada constituída por mais de 2/3 de partículas da dimensão silte.
Siltito-argiloso	<i>Mudstone</i>	Rocha litificada constituída, entre 2/3 e 1/2 por partículas da dimensão silte.
Argilito	<i>Claystone</i>	Rocha litificada constituída por mais de 50% de partículas da dimensão argila.
Meta-argilito	<i>Argillite</i>	Rocha litificada francamente metamorfisada, sem xistosidade.
Xisto	<i>Slate</i>	Rocha metamórfica de grão fino com xistosidade bem desenvolvida.
Arenosa	<i>Sandy</i>	Aplica-se às rochas silto-argilosas que contenham mais de 10% de partículas da dimensão areia.
Margoso	<i>Calcareous</i>	Aplica-se às rochas silto-argilosas que contenham entre 10 e 50% de carbonatos.

Laminada	<i>-shale</i>	Aplica-se às rochas silto-argilosas (siltito, siltito-argiloso e argilito) que exibam laminação (leitos de espessura inferior a 1 cm).
Fissilidade	<i>Fissility</i>	Propriedade das rochas que consiste na tendência para estas se dividirem em fragmentos muito pouco espessos, paralelamente à estratificação.

1.3.2.2 - Composição Mineralógica

As rochas silto-argilosas são formadas por clastos constituídos por minerais argilosos, quartzo e feldspato (podendo estes constituintes ser também autigênicos) e por minerais não detríticos, tais como, carbonatos, óxidos de ferro e matéria orgânica.

No quadro 1.4 são apresentadas algumas das composições médias de rochas silto-argilosas, frequentemente encontradas na bibliografia.

Quadro 1.4 – Composições mineralógicas médias das rochas silto-argilosas, (adaptado de Jeremias, 1997).

Constituintes	Yaalon (1962)	Shaw & Weaver (1965)	Pettijonh (1975)
Minerais Argilosos	59	60,9	58
Quartzo	20	30,8	28
Feldspato	8	4,5	6
Carbonatos	7	3,6	5
Óxidos de Ferro	3	<0,5	2
Matéria Orgânica	-	1,0	-
Outros Minerais	3	<2,0	-

Os *minerais argilosos* são os principais constituintes da fracção siliciclástica presente nas rochas silto-argilosas. Estes minerais, geralmente herdados, têm origem nos horizontes de alteração que se desenvolvem na rocha mãe. Os minerais mais frequentes associados

às rochas silto-argilosas são, a caulinite, illite, esmectites, clorites e minerais interestratificados. A progressiva transformação de esmectites em illite (ilitização) dá origem ao desaparecimento das camadas mais expansivas dentro da estrutura dos minerais argilosos, o que modifica forçosamente o comportamento físico das rochas silto-argilosas, promovendo um aumento da sua estabilidade mecânica (Taylor & Spears, 1981). Na figura 1.8, representam-se esquematicamente as estruturas e composições dos principais minerais argilosos.

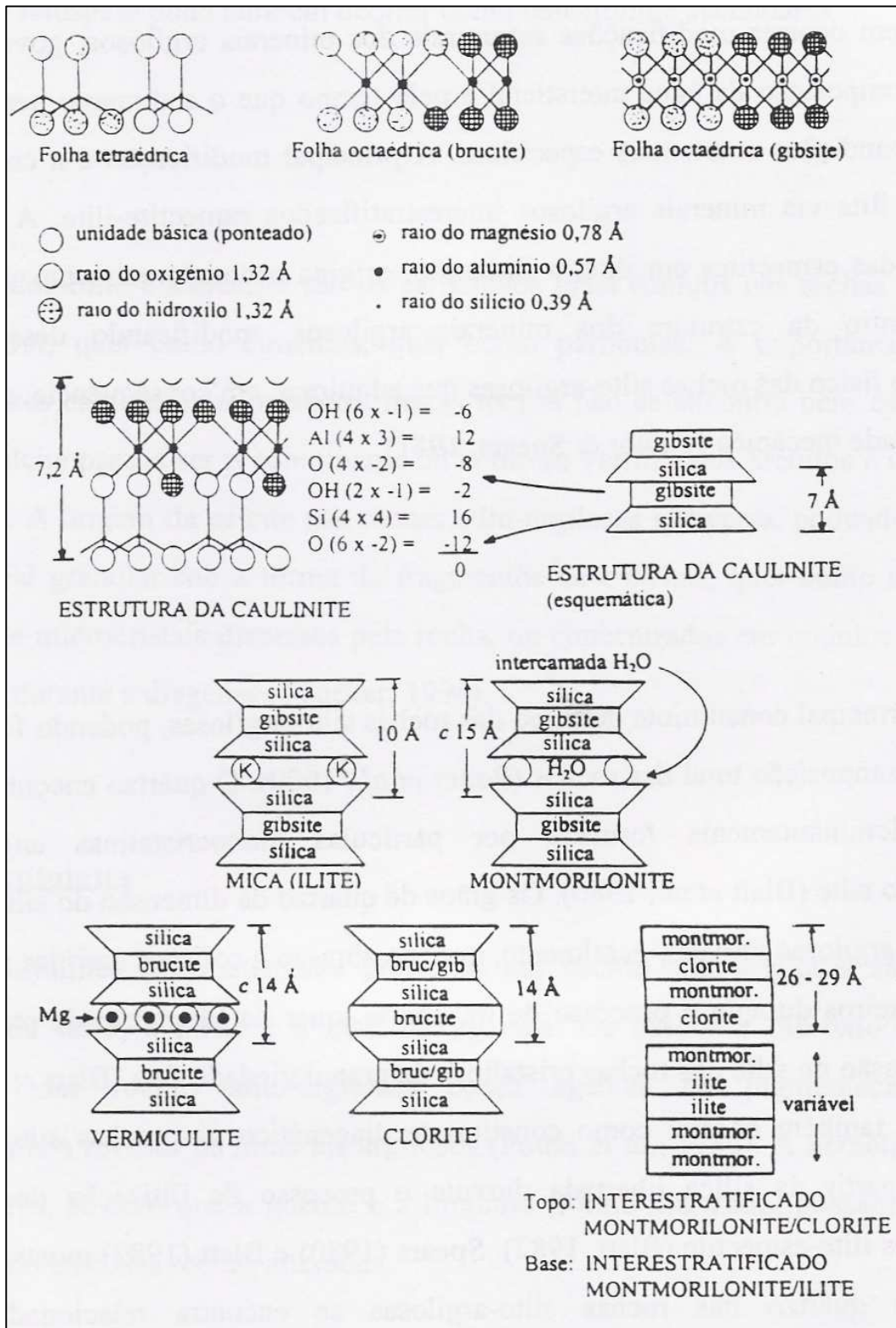


Figura 1.8 – Representação esquemática das estruturas e composições dos principais minerais argilosos (Taylor & Cripps, 1984).

Os grãos de *quartzo* encontrados nestas rochas correspondem em geral a partículas monocristalinas da dimensão do silte provenientes da actuação dos processos erosivos em rochas pré-existentes de granulometria fina e sobre grãos grosseiros de quartzo. O quartzo pode também ocorrer como constituinte diagenético nas rochas silto-argilosas associados aos processos de ilitização dos minerais interestratificados ilite-esmectite (Blatt, 1982). O quartzo é o principal constituinte detrítico deste tipo de rochas, podendo formar cerca de 20 a 30% da composição total das rochas (Potter *et al.*, 1980). Segundo Spears (1980) e Blatt (1982), a percentagem de quartzo existente nas rochas silto-argilosas, encontra-se relacionada com a granulometria média dos grãos deste mineral. De acordo com estes autores, uma diminuição da quantidade de quartzo na rocha é acompanhada por uma diminuição da granulometria dos grãos que a constituem.

O *feldspato* é em geral menos abundante do que o quartzo, predominando a plagioclase sobre os feldspatos potássicos (Potter *et al.*, 1980). Os feldspatos, em conjunto com o quartzo, constituem a quase totalidade da fracção de resistatos, das rochas silto-argilosas (Taylor & Spears, 1981). O feldspato também pode ocorrer como mineral secundário.

Em relação aos *carbonatos*, a calcite, a dolomite e a siderite são os mais comuns. Podem ocorrer quer como cimentos, quer como partículas. A calcite parece ser dominante tal como nos arenitos e nos calcários (Blatt *et al.*, 1980).

Os *outros constituintes* frequentemente presentes nas rochas silto-argilosas são os óxidos e hidróxidos de ferro, a pirite e a matéria orgânica. Os óxidos e hidróxidos de ferro são fundamentalmente agentes de pigmentação e ocorrem, principalmente, a revestir os minerais argilosos (Potter *et al.*, 1980).

A pirite (óxido de ferro) é um mineral autigénico comum que pode ocorrer finamente dissiminada pela rocha ou sob a forma de cubos e de nódulos (Tucker, 1994). Quer a pirite quer a matéria orgânica são frequentes nas rochas silto-argilosas escuras e a presença destes constituintes, indica que prevaleceram condições ambientais redutoras durante a deposição e/ou a diagénese destas rochas. É de salientar ainda que a presença de pirite nestes materiais pode constituir um condicionamento à sua reutilização em aterros, uma vez que a sua rápida oxidação conduz à alteração da rocha hospedeira.

1.3.2.3 - Textura e Estrutura

A caracterização textural das rochas silto-argilosas é uma tarefa complexa devido à reduzida dimensão dos grãos que constituem estes materiais.

Alguns critérios de identificação simples permitem distinguir no campo os diversos tipos de rochas silto-argilosas (ISRM, 1994). Os siltitos reconhecem-se pela sua aspereza ao tacto e pela identificação com recurso a uma lupa de mão dos grãos de quartzo da dimensão do silte. Os siltitos-argilosos são macios ao tacto mas transmitem uma sensação de aspereza e/ou abrasão. Os argilitos são sedosos ao tacto e não transmitem a sensação de abrasão.

A fábrica (*fabric*) das rochas silto-argilosas, ou seja o arranjo geométrico das partículas, relaciona-se com o ambiente de deposição e com a história geológica de sobreconsolidação após sedimentação. Em geral, os sedimentos depositados sob condições marinhas, flocculam e dão origem a uma fábrica constituída por partículas orientadas ao acaso. Em oposição, nos sedimentos depositados em ambientes não marinhos, as partículas apresentam tendência para se manterem dispersas produzindo uma fábrica, após a sedimentação, constituída por partículas orientadas paralelamente entre si. No entanto, existe uma série de factores tais como a bioturbação, a presença de partículas da dimensão do silte e da areia e o teor em carbonatos e em matéria orgânica que podem influenciar ou até mesmo modificar a fábrica destas rochas (Odom, 1967).

A estratificação e a fissilidade são as estruturas sedimentares mais comuns nas rochas silto-argilosas.

- ✓ Estratificação – conjunto de lâminas e camadas que são definidas por variações verticais de composição, cor e textura;
- ✓ Fissilidade – tendência da rocha para se dividir ao longo de planos paralelos à estratificação.

As lâminas e as camadas constituem no seu conjunto a estratificação e são definidas por variações verticais de composição, cor e textura. A fissilidade está normalmente associada à presença de lâminas, à orientação paralela dos minerais lamelares e à concentração de matéria orgânica nas superfícies de estratificação, (Ingram, 1953; Gipson (1965); Odom, 1967; O'Brien, 1970; Pettijohn, 1975; Spears, 1976; Blat *et al.*, 1980).

Na figura 1.9 apresentam-se as classes propostas, por vários autores, para a estratificação e fissilidade, habitualmente utilizadas em sedimentologia, na descrição das rochas silto-argilosas. As classificações propostas por Igram (1954) e Potter *et al.* (1980) colocam uma fronteira arbitrária aos 10mm entre lâminas e camadas. As classificações propostas por estes autores são sequenciais e crescentes em termos de espessura, não havendo, assim, sobreposição de classes entre lâminas e camadas. De acordo com Campbell (1967) lâmina seria a menor unidade identificada numa sequência sedimentar, podendo atingir uma espessura da ordem dos 200mm ou superior. Segundo esta classificação as classes mais espessas das lâminas sobrepõem-se às classes de menor espessura propostas para as camadas.

Da análise da figura 1.9 é possível concluir que a fissilidade diminui de espessura quando o grau de orientação dos minerais argilosos e o teor em matéria orgânica aumentam. Inversamente, à presença de carbonatos e de grãos siliciosos da dimensão do silte e da areia na rocha, corresponde uma partição mais espessa. Contudo, para além da predisposição do sedimento para a partição, a fissilidade manifesta-se essencialmente em resultado da descompressão dos maciços e da alteração da rocha.

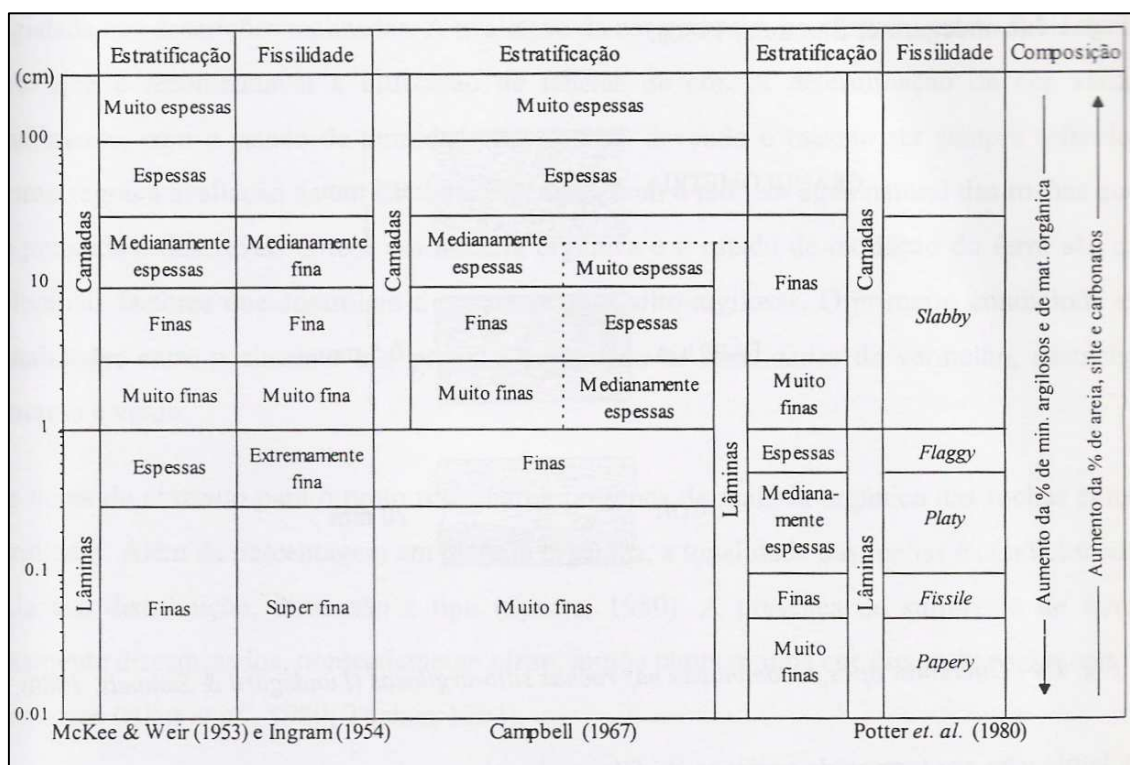


Figura 1.9 – Classes de espessura da estratificação e da fissilidade (adaptado de McKee e Weir, 1953; Ingram 1954; Campbell, 1967; Potter *et al.* 1980).

Em termos de variação de fábrica a laminação, é o tipo mais comum e resulta da orientação paralela dos minerais lamelares em folhas com alguns micra de espessura. A laminação diferenciada em termos de variação granulométrica resulta de variações da velocidade de sedimentação dos diferentes componentes, que dão origem a níveis alternados de minerais argilosos e de grãos de quartzo da dimensão do silte. A laminação em termos de cor resulta da ocorrência de níveis alternados com cores diferentes. As rochas silto-argilosas podem exibir um único tipo de laminação ou combinações de vários tipos de laminações, (Figura 1.10).

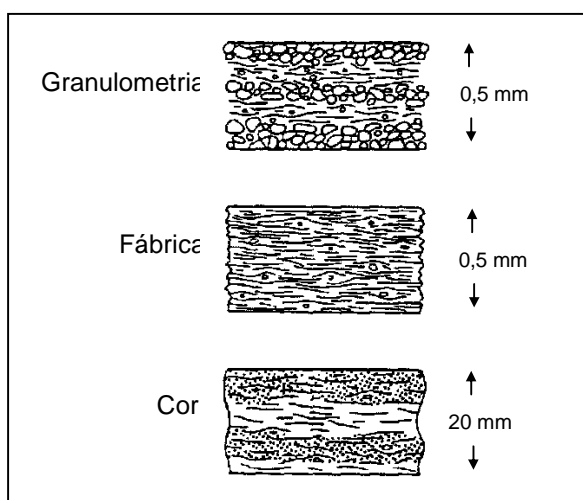


Figura 1.10 – Diferentes tipos de laminação nas rochas silto-argilosas (Lundegard & Samuels, 1980).

Os *slickensides* que consistem em superfícies polidas e estriadas, com extensão e continuidade variável, são estruturas relativamente frequentes nas rochas silto-argilosas. O reconhecimento destas estruturas é de máxima importância uma vez que condicionam, significativamente, a durabilidade das rochas silto-argilosas, (Jeremias, 2000).

1.3.2.4 - Cor

A cor é a característica mais evidente nas rochas silto-argilosas sendo sempre registada nas descrições. No entanto, a avaliação da cor pode ser muito subjectiva, dado que varia com o estado de humidade das rochas. O teor em matéria orgânica e o estado de oxidação do ferro são os principais factores que controlam a cor nas rochas silto-argilosas.

No quadro 1.5, apresenta-se uma correlação entre as cores nas rochas silto-argilosas e os constituintes correspondentes.

Quadro 1.5 – Correlação entre as cores presentes e os constituintes das rochas silto-argilosas.

Cor	Características
Cinzento e Preto	<ul style="list-style-type: none">• Presença de matéria orgânica (m.o.);• Presença de sulfuretos de Fe, como a pirite.
Vermelho e Púrpura	<ul style="list-style-type: none">• Presença de óxidos de ferro (hematite).
Verde	<ul style="list-style-type: none">• Ausência de m. o., pirite e óxido de ferro (III);• Presença de ferro reduzido (Fe^{2+}) existente na estrutura dos minerais argilosos;• Redução do Fe^{3+} (hematite) para Fe^{2+}, geralmente pela acção de ácidos orgânicos em rochas silto-argilosas originalmente vermelhas.
Amarelo e Castanho	<ul style="list-style-type: none">• Podem reflectir a presença de limonite e goetite, respectivamente.
Amarelo e Esverdeado	<ul style="list-style-type: none">• Mistura de diferentes tipos de pigmentação.
Diferentes tonalidades de Cinzento	<ul style="list-style-type: none">• Bioturbação.
Amarelo/Vermelho/Castanho	<ul style="list-style-type: none">• Processos pedogénicos em que a percolação da água através da rocha, provoca uma distribuição irregular de óxidos, hidróxidos e carbonatos.

1.3.3 - Caracterização Geotécnica

1.3.3.1 - Plasticidade

Esta propriedade está relacionada com a resistência das ligações inter-partículas bem como com o tipo de fábrica, natureza e teor de minerais argilosos (Heley & Maclver, 1971). Segundo Gillot (1987), a plasticidade é também influenciada pelo tipo e concentração dos catiões intercalares presentes nos minerais argilosos, pela quantidade e composição da água intersticial e pelo grau de consolidação e cimentação.

1.3.3.2 - Resistência/Deformabilidade

A resistência e a deformabilidade reflectem o grau de agregação, tipo e arranjo dos minerais e grau de cimentação das rochas silto-argilosas (Heley & Maclver, 1971). No entanto, estas propriedades são principalmente influenciadas pelo grau de alteração e fissuração exibido pelos materiais (Jeremias, 1997). As rochas silto-argilosas, em especial os litotipos laminados, são anisotrópicas em relação à resistência e ao módulo de elasticidade pelo que é recomendável a determinação destas propriedades segundo direcções paralelas e perpendiculares à direcção da estrutura principal (estratificação, laminação, fissilidade, etc.) de modo a se obterem valores mínimos e máximos.

1.3.3.3 - Expansibilidade

Esta propriedade é característica de rochas silto-argilosas e resulta da libertação das tensões existentes nos materiais geológicos e das reacções físico-químicas com a água, normalmente relacionadas quer com a hidratação dos minerais argilosos, quer com a alteração química de minerais não expansivos em minerais expansivos (anidrite, pirite).

Como as rochas silto-argilosas são materiais de baixa permeabilidade o equilíbrio do teor em água nas rochas durante a expansão pode ser inibido devido à deficiente percolação da água no seio do espaço poroso. A expansão mecânica e a reabsorção de água conduzem à degradação e perda de resistência da rocha, podendo o desenvolvimento de tensões de corte elevadas produzir roturas na estrutura do material, ou seja fissuração (Jeremias, 1997).

A intensidade da expansibilidade neste tipo de materiais depende principalmente de factores mineralógicos, tais como o tipo e a frequência relativa entre minerais argilosos

expansivos e não expansivos e de factores texturais como o grau de cimentação microfissuração e laminação (Ordaz & Argandoña, 1981; Kojima *et al.*, 1981). Os factores texturais encontram-se em geral subordinados aos mineralógicos apenas se sobrepondo na ausência de minerais argilosos expansivos (Ordaz & Argandoña, 1981; Sarman & Shakoor, 1994; Sarman et al., 1994).

1.3.3.4 - Durabilidade

Este termo emprega-se habitualmente, no contexto da Geologia de Engenharia, à variação no tempo do estado de alteração das rochas após a escavação e exposição às condições existentes à superfície, em minas ou obras subterrâneas (Gamble, 1971; Franklin & Chandra, 1972). Neste contexto, o factor tempo deve ser relacionado com a duração das obras de Engenharia Civil, deste modo a avaliação da durabilidade das rochas silto-argilosas é extremamente importante na medida em que, estes materiais se degradam frequentemente dentro dos intervalos de tempo de funcionalidade das obras. Estas alterações podem dever-se a factores intrínsecos inerentes às características dos materiais rochosos e/ou a factores extrínsecos que advenham de condições ambientais, como, por exemplo, o clima, topografia, regime hidrológico, etc. que em situações de obra específicas assumem importância diferenciada, estando a análise da sua influência fora do âmbito do presente estudo. A componente da durabilidade que radica nas características intrínsecas das rochas silto-argilosas é principalmente influenciada pela litologia, mineralogia, textura, estrutura destes materiais tais como a percentagem em minerais argilosos, a proporção de minerais argilosos expansivos, grau de cimentação e *fabric* da rocha e a presença ou ausência de microestruturas como laminação, *slickensides* e microfissuras.

A durabilidade das rochas silto-argilosas é em geral avaliada em relação ao mecanismo de alteração resultante de ciclos alternantes de secagem e embebição, designada na terminologia inglesa por “slake durability”. Tendo por base este mecanismo de alteração, foi desenvolvido um ensaio de desgaste em meio aquoso que constitui uma técnica laboratorial de uso generalizado para avaliação da durabilidade das rochas silto-argilosas.

1.4 - Sumário

A área de estudo localiza-se na região a Norte de Lisboa constituída pelas formações sedimentares da sub-bacia de Arruda dos Vinhos. Esta estrutura corresponde a um grande empolamento ou anticlinal de formações de idade jurássica. As características litoestratigráficas e estruturais das formações presentes condicionam a evolução geomorfológica do relevo no Quaternário, resultando no modelado actual. Estas condições são propícias à ocorrência frequente de fenómenos de instabilidade nas encostas naturais, sobretudo, após períodos prolongados de precipitação. O concelho de Arruda dos Vinhos insere-se numa região que apresenta amplitudes térmicas moderadas reflectindo a influência atlântica e particularmente a proximidade do rio Tejo. No que concerne à precipitação os registos apontam para um clima moderadamente chuvoso, é ainda uma região onde a estação seca se prolonga desde Maio a Setembro.

As rochas silto-argilosas constituem a litologia principal das formações ocorrentes na área de estudo. Tratam-se de rochas sedimentares detríticas de grão fino a muito fino que contêm mais de 50% de grãos siliciclásticos de dimensão inferior a 63 μm . Os grãos incluem principalmente minerais argilosos, quartzo e feldspato, que formam frequentemente mais de 90% do total dos constituintes destas rochas. A textura é influenciada pelo ambiente de deposição e a história geológica de sobreconsolidação. A fissilidade é a propriedade que algumas rochas silto-argilosas apresentam para se separarem em lâminas muito pouco espessas ao longo de planos paralelos à estratificação

A classificação geológica das rochas silto-argilosas baseia-se essencialmente em características como a granulometria, fissilidade e estratificação.

As propriedades geotécnicas destas rochas são influenciadas por diversos factores genéticos destas rochas, tais como a composição, grau de sobreconsolidação e modificações diagenéticas. Consequentemente, as propriedades geotécnicas são principalmente controladas pelo seu grau de alteração e pela composição da fracção argilosa. Estados de alteração mais acentuados e a presença de minerais argilosos, sobretudo, de natureza expansiva, determinam reduções da resistência e o aumento da deformabilidade, da plasticidade e da tendência para os materiais exibirem maior susceptibilidade à expansibilidade e à desintegração.

CAPÍTULO 2

MECANISMOS DE INSTABILIDADE E MOVIMENTOS DE VERTENTE

2.1 - Definição e Caracterização dos Mecanismos de Instabilidade

As zonas de talude são locais de desnível da topografia terrestre, caracterizam-se por possuírem maior ou menor declive e estarem muito expostas aos fenómenos erosivos. Assim, é frequente nos taludes a ocorrência de movimentos descendentes de materiais terrosos ou rochosos.

Existem diversas designações para este tipo de movimento, designadamente Movimentos de Terra, Movimentos de Massa, Movimentos de Vertente, Movimentos de Terrenos, Movimentos de Massa de Vertente.

Face à existência de diversos termos para designar um mesmo evento, adoptou-se o termo “Movimento de Vertente” por se considerar que é o que melhor caracteriza o fenómeno geológico em causa.

São movimentos de velocidade variável, condicionados por factores de ordem topográfica, litológica, climática, humana, etc, que alteram a morfologia dum local e se traduzem em regra por situações anómalas no aspecto geomorfológico global. Estes movimentos tendem a conduzir a uma situação de equilíbrio da vertente. No entanto, deve-se ter a consciência que o estado de equilíbrio de uma vertente é sempre temporário e condicionado por um jogo dinâmico de múltiplos factores.

Com o objectivo de avaliar a estabilidade e definir medidas de prevenção e de controlo dos movimentos de massa, têm sido desenvolvidas metodologias de estudo e técnicas de estabilização, nas quais o conhecimento das características geológicas e geotécnicas dos maciços desempenham um papel decisivo. Os movimentos de vertente ocorrem nos mais variados contextos geológicos e morfológicos. A sua diversidade, em termos de materiais envolvidos, velocidade e tipo de deslocamento, características morfológicas, mecanismos de preparação e desencadeamento, têm levado à necessidade de se proceder à uniformização de critérios que facilitem o tratamento de informação com diversas origens que possibilitem a classificação destes fenómenos.

2.1.1 - Classificações dos Movimentos de Vertente

As classificações dos movimentos de vertente aplicáveis a taludes naturais ou de escavação devem basear-se num conjunto de critérios distintos que permitam diferenciar as várias situações de instabilidade.

Varnes, (1978), apresentou um sistema de classificação que foi adoptado pela Comissão para os Movimentos de Terrenos da Associação Internacional de Geologia de Engenharia. Este sistema de uso generalizado estabelece uma classificação baseada nos diferentes tipos de materiais, separando-os em solos e maciços rochosos, (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 – Sistema de classificação de movimentos de terreno proposta por Varnes (1978).

Tipo de Movimento				Tipo de Material		
				Maciço Rochoso	Solos	
					Predominantemente Grosseiros	Predominantemente Finos
1	Queda ("Fall")			De rochas	De detritos	De terra
2	Tombamento ("Topple")			De rochas	De detritos	De terra
3	Escorregamento ("Slide")	Rotacional	Poucas unidades	Singular de Rochas	Singular de detritos	Singular de terra
				De rochas em Blocos	De detritos em blocos	De terra em blocos
		Translacional	Muitas Unidades	De rochas	De detritos	De terra
4	Extensão Lateral ("lateral spread")			De rochas	De detritos	De terra
5	Fluência ("flow")			De rochas (fluência profunda)	De detritos (fluência de solo)	De terra (fluxo de solo)
6	Movimentos Complexos: Combinação de dois ou mais tipos de movimentos					

Varnes (1978) classificou os movimentos não só com base nas características geológicas e no tipo de movimento, mas também na sua velocidade de deslocamento, cujas classes se apresentam no quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Classificação dos movimentos com base na velocidade de ocorrência (Varnes, 1978)

Classificação	Velocidade	Tipo de movimento
Extremamente rápido	3m/s	1 - Desmoronamentos
Muito rápido	0.3m/min	
Rápido	1.5m/dia	2 - Escorregamentos
Moderado	1.5m/mês	
Lento	1.5m/ano	
Muito lento	0.3m/ 5 anos	3 - Fluência

Mais tarde, Hunt (1984) elaborou uma classificação baseada nos mecanismos de rotura, que se apresenta no quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Classificação dos tipos de rotura em taludes (adaptado de Hunt, 1984).

Tipo	Forma	Definição
Queda de Blocos	Queda Livre	Desprendimento súbito de um ou múltiplos blocos de solo ou rocha.
	Basculamento	Rotação de blocos de rocha em torno de um eixo sob o centro de gravidade.
Escorregamentos	Rotacional	Movimento lento de um ou vários blocos de solo ou rocha, ou mistura solo-rocha ao longo de uma superfície circular bem definida.
	Planar ou translacional	Movimentos lentos ou rápidos de blocos de solo ou rocha, ou mistura de solo-rocha ao longo de uma superfície planar bem definida.
	Bloco deslizante	Movimento de um bloco ao longo de uma superfície planar.
	Cunhas	Movimento de um ou mais blocos segundo a linha de intersecção de superfícies planares.
	“Lateral Spreading”	Vários blocos que se movem independente com diferentes velocidades devido à liquefação da camada subjacente.
	Escorregamentos de detritos	Misturas solo-rocha cujo movimento se dá ao longo de uma superfície rochosa planar.
Avalanches	Rocha ou detritos	Movimento rápido a muito rápido de uma massa de rocha ou detritos de solo-rocha, com destruição da estrutura da formação.
Fluxos	Detritos/Areia/Silte/Lama/ Solo	Solo ou detritos de solo-rocha que se movem como um fluido viscoso. Em geral, estabilizam a grande distância da zona de rotura.
Creep		Movimento muito lento de solo ou mistura de solo-rocha.
Solifluxão		Movimento que ocorre quando a água nas camadas superficiais do solo congela e descongela alternadamente. Quando a zona superficial descongela, o solo torna-se saturado em água pois esta não se consegue infiltrar porque as camadas mais profundas do solo se encontram congeladas, dando origem a uma instabilização.
Complexo		Envolve a combinação de vários tipos de rotura, geralmente predomina um dos tipos.

Em 1988, Romana propôs uma classificação baseada nos diferentes mecanismos e velocidades de rotura, que se apresenta no quadro 2.4.

Quadro 2.4 – Classificação dos tipos de movimentos de terrenos, (adaptado de Romana, 1988).

Classe	Mecanismo Principal de Rotura	Velocidade de Rotura
Desmoronamento e queda de blocos	Queda de blocos individuais por gravidade e por rotura frágil.	Extremamente rápido
Deslizamentos	Separação por uma superfície de rotura onde se excede a resistência de corte.	De muito lenta a muito rápida com possibilidade de colapso final
Basculamentos	Desorganização de estratos com rotura por flexão.	Em geral lenta
Solifluxão	Deformação por fluência de camadas superficiais de taludes.	Muito lenta
Fluimentos e Avalanches	Deslocamento rápido de materiais que perderam a sua coesão.	De rápida a muito rápida

Foi elaborada entre 1991 e 1993 a Classificação Europeia de Movimentos de Massa em Vertentes no âmbito do projecto EPOCH com o objectivo de uniformizar a terminologia entre os países da União Europeia. No quadro 2.5. apresenta-se esta classificação cuja apresentação é muito semelhante à proposta por Varnes (1978).

Quadro 2.5 – Sistema de classificação de movimentos de terreno segundo o projecto EPOCH (1991-1993).

Tipo	Rocha	Detritos	Solo
1 – Queda	De rochas	De detritos	De terra
2 – Tombamento	De rochas	De detritos	De terra
3 – Escorregamento (rotacional)	Singular (“Slump”) Múltiplo Sucessivo	Singular Múltiplo Sucessivo	Singular Múltiplo Sucessivo
Escorregamento Translacional			
4 – Rotacional	Em blocos (“block slide”)	Em blocos	Em blocos (“slab slide”)
5 – Planar	De rochas (“rockslide”)	De detritos (“debris slide”)	De terra (“mudslide”)
6 – Extensão lateral	De rochas	De detritos	De terra
7 - Fluimento	De rochas (“sackung”)	De detritos	De terra
8 – Complexo (um dado tipo de movimento progride para uma segunda forma de ocorrência por mudança de comportamento do mesmo material enquanto este se desloca pela vertente).			

Analisando as classificações descritas verifica-se que a classificação de Hunt (1984), por conter um maior número de classes, apresenta um grau de complexidade acrescido o que dificulta a sua utilização.

A classificação proposta por Romana é considerada insuficiente, uma vez que não faz referência aos movimentos do tipo “escorregamento” que corresponde a uma das situações de instabilidade que ocorre com mais frequência.

Sendo muito semelhante à classificação proposta por Varnes, a classificação Europeia de Movimentos de Massa de Vertentes elaborada no âmbito do projecto EPOCH possui algumas subdivisões nos tipos de escorregamentos, que não são muito claras o que dificulta a sua aplicação na descrição e classificação das instabilizações.

Em síntese, a classificação que se considera mais objectiva e que melhor traduz a realidade dos fenómenos observados é a proposta por Varnes (1978). Assim, desenvolveu-se, baseado na classificação de Varnes (1978), um esquema descritivo/classificativo ajustado às condicionantes locais da área de estudo que traduz melhor os fenómenos de instabilidade observados.

Este esquema apresenta-se no quadro 2.6.

Quadro 2.6 – Esquema descritivo/classificativo de movimentos de vertente adoptado na área em estudo.

Designação		Definição
Queda de blocos (<i>fall</i>)		Regra geral estão relacionados com materiais rochosos, alternâncias litológicas. Movimentos em geral rápidos a muito rápidos.
Tombamentos (<i>topple</i>)		
Escorregamentos (<i>landslide</i>)	Rotacionais (<i>slump</i>)	Geralmente estão relacionados com materiais terrosos ou maciços alternantes ou homogéneos.
	Planares ou Translacionais (<i>slide</i>)	
	Mistos	
Expansão lateral de blocos (<i>lateral spread</i>)		
Fluxos (<i>flow</i>)	Fluxo de Detritos (<i>debris flow</i>)	Estão relacionados com camadas bem definidas ou solos residuais, são movimentos muito lentos, podendo envolver grandes volumes de terras.
	Reptação (<i>creep</i>)	
Movimentos Complexos		Resultam da associação de dois ou mais movimentos simples sendo mais frequentes do que estes.

2.2 - Descrição dos Movimentos de Vertente

2.2.1 - Queda de Blocos

Corresponde à queda livre de blocos de rocha, de detritos ou solo, favorecida por superfícies de descontinuidade pré-existentes. Uma massa de qualquer tamanho, de solo e/ou rocha é destacada de um talude muito inclinado verificando-se que o deslocamento cisalhante ao longo da superfície de rotura é mínimo ou nulo, (Figura 2.1). O deslocamento ocorre principalmente por queda livre, por rolamento ou saltação do material, caracterizando-se estes movimentos por serem rápidos a extremamente rápidos.

Este tipo de movimento ocorre frequentemente em formações de características resistentes bem diferenciadas. A acção diferencial da erosão origina uma diferença na saliência das camadas ficando os trechos mais resistentes em forma de consola, que ao atingirem determinadas espessuras podem colapsar por acção gravítica.

Na área do Calhandriz, o desmantelamento das formações constituídas por calcários compactos fracturados ou por alternâncias de calcários e arenitos, ocorrentes no topo das encostas, origina o recuo da crista das vertentes, sendo a causa da queda de blocos observados na área e um dos principais mecanismos de evolução daquelas encostas. (Coelho, 1979).

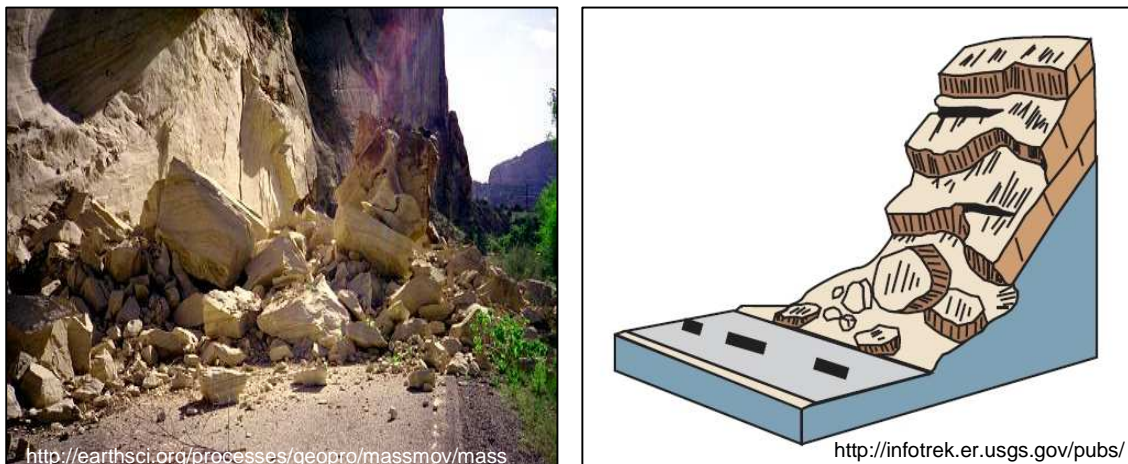


Figura 2.1 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo queda de blocos.

2.2.2 - Tombamento

Este tipo de movimento tem origem na acção de forças que impulsionam colunas ou painéis de rocha para o exterior do maciço.

O destaque destas cunhas rochosas deve-se:

- à existência de descontinuidades que, ao favorecerem a infiltração de água para o interior do maciço, promovem o desenvolvimento de pressões hidrostáticas elevadas;
- à diferença entre as características de resistência do material que constitui a parte superior da escarpa e o terreno subjacente, induzindo esforços de tracção na zona menos dúctil por cedência progressiva da base de apoio dos blocos.

As camadas não estão sujeitas de um modo uniforme aos efeitos da alteração, sendo a área mais externa a mais afectada. Este facto traduz-se numa variação lateral da compressibilidade da camada o que origina assentamentos diferenciais na camada superior. Estes deslocamentos serão máximos na parte mais externa da camada e mínimos na parte interna, sendo este facto, só por si suficiente para desencadear movimento. Na figura 2.2, apresenta-se uma fotografia e um esquema deste tipo de movimento.

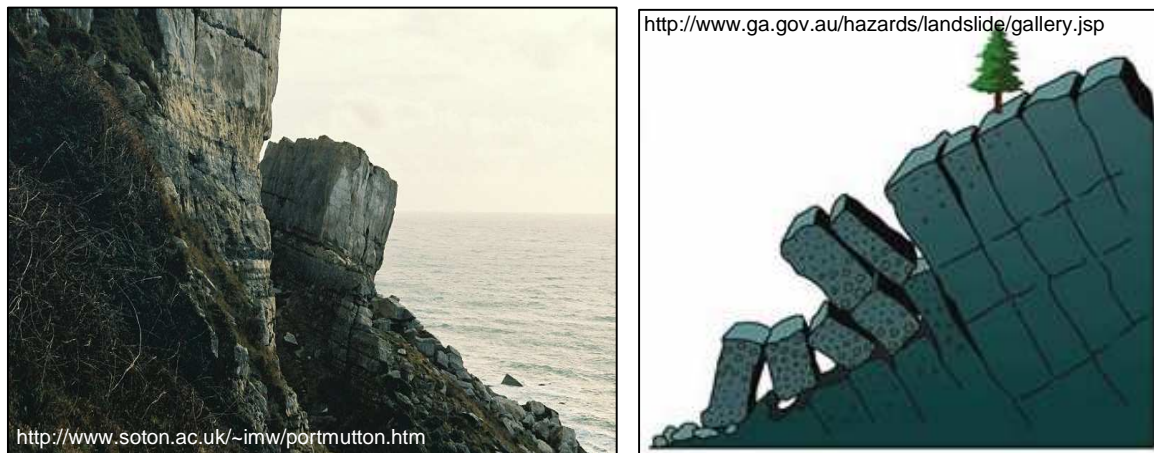


Figura 2.2 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo tombamento.

2.2.3 - Escorregamentos

Um escorregamento ocorre, normalmente, a velocidades muito variáveis, por acção da força da gravidade. Este tipo de movimento pode ocorrer ao longo do plano de inclinação de uma vertente. O movimento ocorre quando existe um desequilíbrio na distribuição de forças ao longo de uma determinada superfície, que faz com que as forças actuantes, que favorecem o movimento, sejam superiores às forças resistentes.

De acordo com a geometria da superfície a que dão origem, os escorregamentos podem ser classificados em rotacionais ou translacionais.

2.2.3.1 - Escorregamento rotacional

Caracteriza-se pelo movimento de massas de solo ou rocha que deslizam em relação ao substrato ao longo de uma ou várias superfícies de rotura, originadas por perda de resistência ao corte, com secção transversal curva com concavidade voltada para cima, figura 2.3. O escorregamento rotacional é um caso particular de escorregamento que ocorre predominantemente em solos coesivos e homogéneos ou em maciços rochosos muito fracturados. A rotura, que pode ser superficial ou profunda, desenvolve-se segundo uma superfície curva originando a rotação da massa instável. Uma vez desencadeado o movimento, a massa envolvida pode dividir-se em vários blocos que deslizam entre si dando origem à formação de vários patamares em escada com abertura de fendas.

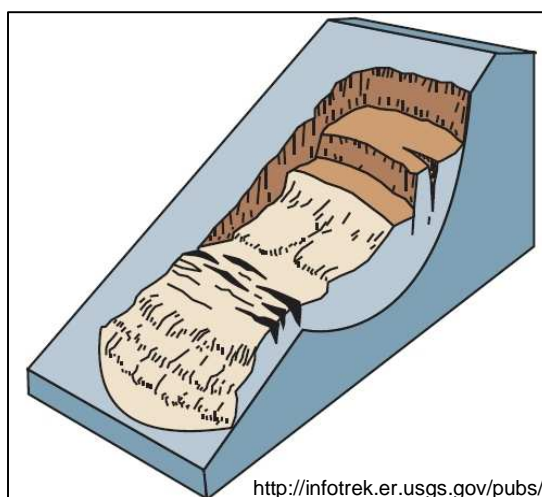


Figura 2.3 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo escorregamento rotacional.

A massa de material deslocado movimenta-se em conjunto a uma velocidade variável, podendo envolver grande volume de material. Por vezes, quando o material em movimento não atinge o equilíbrio no sopé da zona instabilizada, por esta se encontrar cima da base do talude, pode alcançar velocidades elevadas, dando lugar um fluxos de terras ou detritos.

A superfície ou plano de rotura é uma calote esférica mais ou menos regular e determina uma topografia superficial côncava na zona superior e convexa na inferior. A cicatriz em planta tem a forma de meia-lua.

Neste tipo de movimento, é possível distinguir as seguintes zonas:

- ✓ cabeceira do talude - limite a partir do qual o movimento teve início;
- ✓ escarpa do talude - exhibe parcialmente a superfície côncava ao longo da qual ocorreu o movimento;
- ✓ pé do talude - zona de acumulação do volume de material que sofreu o movimento.

Os escorregamentos rotacionais podem ainda ser classificados em simples, múltiplos ou sucessivos, (Figura 2.4).

No caso de ser *simples*, o movimento é caracterizado por uma superfície de deslizamento ao longo da qual a massa se move como uma única unidade.

Um escorregamento *múltiplo*, desenvolve-se de modo análogo ao escorregamento simples, a diferença reside no facto de existirem várias unidades deslizantes, que se movimentam paralelamente à superfície de rotura inicial, tornando-se, por vezes, muito difícil de distinguir este movimento do escorregamento simples uma vez que só é possível distinguir a parte superior do bloco deslizante.

Num escorregamento *sucessivo* ocorrem roturas sucessivas de pequena profundidade mas com grande continuidade lateral. O movimento manifesta-se predominantemente em argilas fissuradas quando a inclinação do terreno é próxima do estado de equilíbrio limite, ou em argilas brandas onde o desencadear do movimento provoca a acumulação de argila remoldada que pode fluir ao longo da rotura, dando origem a uma perda de suporte dos materiais situados a montante na encosta.

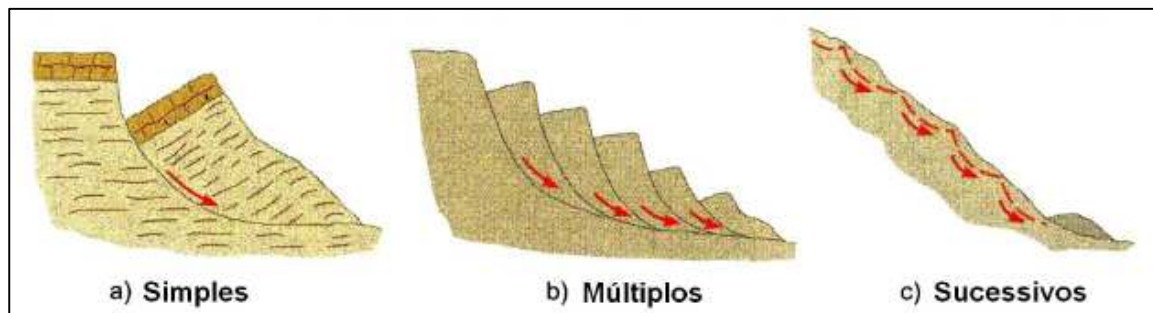


Figura 2.4 – Esquema representativo dos diferentes tipos de escorregamentos rotacionais.

2.2.3.2 - Escorregamento translacional ou planar

Neste tipo de escorregamentos, a ruptura ocorre segundo superfícies de fragilidade planas que coincidem com superfícies de estratificação, de descontinuidades ou de contacto entre diferentes tipos de materiais.

O movimento ocorre em solos ou rochas, ao longo de uma superfície de ruptura coincidente com o limite inferior do nível constituído por material meteorizado. Trata-se de escorregamentos em que o material em movimento apresenta grande deformação, e abrange várias unidades semi-independentes, uma vez que a massa se rompe por cisalhamento e progride sobre uma superfície plana, (motivo porque também são designados como escorregamentos planares), (Figura 2.5).

Geralmente estes escorregamentos são mais rápidos que os escorregamentos rotacionais, ocorrendo habitualmente numa zona mais superficial do talude e não envolvendo geralmente grandes espessuras de terreno.

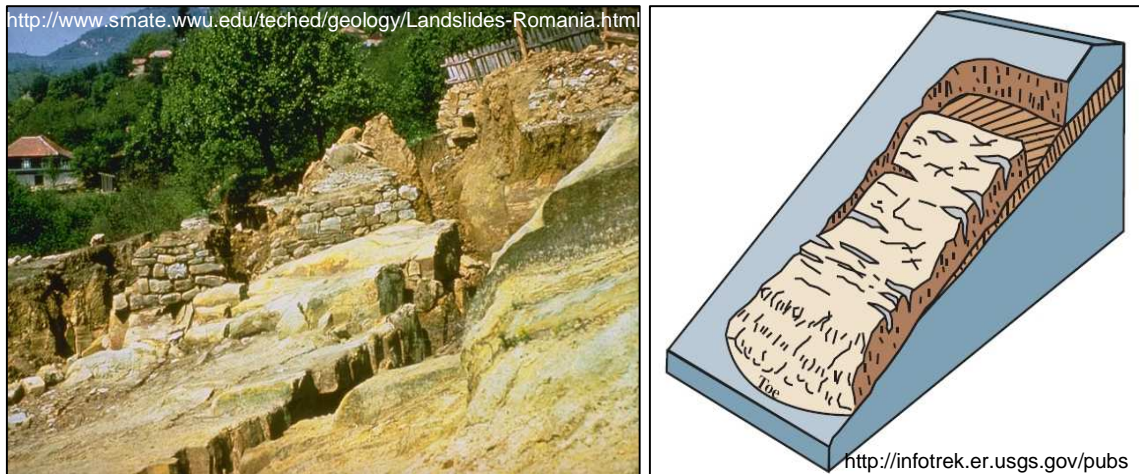


Figura 2.5 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo escorregamento translacional.

Na área do escorregamento do Calhandriz, existe uma maior evidência morfológica deste tipo de escorregamento nos calcários. Resultam da combinação entre a litologia, estrutura e da infiltração ao longo dos contactos entre os calcários e as margas e ainda à extrema erosão, (Coelho, 1979).

2.2.3.3 - Escorregamento misto

Este tipo de movimento corresponde á combinação de dois ou mais dos tipos de movimentos simples anteriormente descritos. Ocorrem geralmente em maciços heterogéneos que sejam cobertos por solos homogéneos, ou em bancadas rochosas cuja inclinação seja favorável ao movimento e que a superfície de rotura corte um plano de contacto entre as formações e um leito de argilas brandas ou muito plásticas. Origina na fase inicial uma superfície de rotura esférica e uma cicatriz em meia-lua, mas os socalcos formados após o início do escorregamento planar, deixam de ser compressivos passando a existir um afastamento entre eles (Figura 2.6).

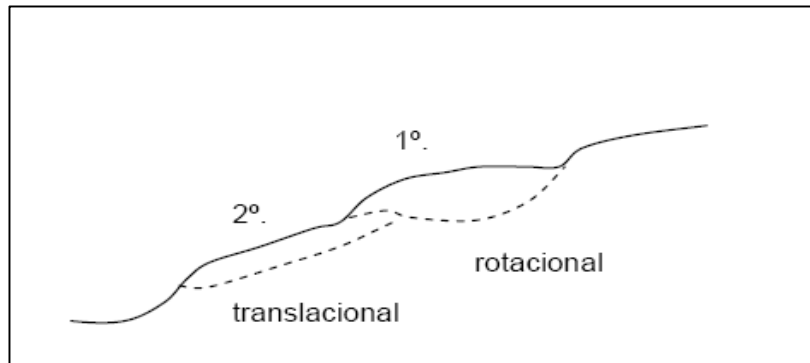


Figura 2.6 – Esquema de um movimento do tipo escorregamento misto.

2.2.3.4 - Expansão lateral de blocos

A expansão lateral de blocos ocorre por deslocação, extremamente lenta, de blocos rochosos que já se encontravam separados entre si por descontinuidades, (Figura 2.7). Este movimento desenvolve-se devido à existência de material subjacente de elevada plasticidade que possibilita a subsidência dos blocos superiores ficando estes susceptíveis a sofrerem movimentos de rotação de e translação.

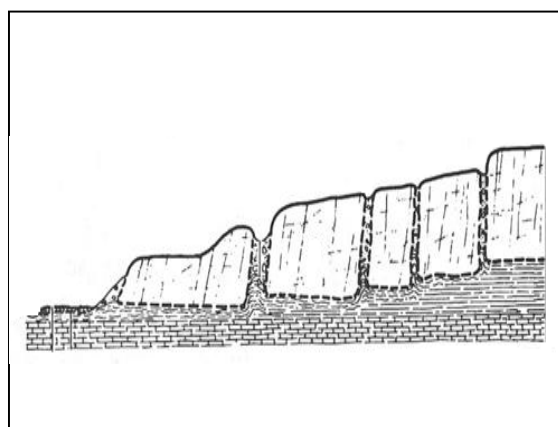


Figura 2.7 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo expansão lateral de blocos (esquema adaptado de Mirarco, 2000).

2.2.4 - Fluxos

Os fluxos são movimento muito rápidos, ao longo de uma vertente ou de uma escarpa, de massas de terrenos constituídos por misturas de solos com fragmentos de rocha. Geralmente têm origem na diminuição da resistência dos materiais que formam a capa do talude, podendo também ser desencadeados como consequência da ocorrência de abalos sísmicos.

Os fluxos podem igualmente ocorrer quando os terrenos exibem elevada percentagem de água. Nestas condições o material comporta-se como um fluido, sofrendo deformação contínua sem apresentar superfícies de rotura definidas. Assim, a água é o principal agente que controla o início do movimento, determinando o aumento do grau de saturação a perda de resistência dos materiais e a consequente fluidificação.

Estes fenómenos são geralmente superficiais e ocorrem em taludes cobertos por materiais soltos ou não consolidados, especialmente em áreas sem cobertura vegetal, podendo atingir grandes extensões. Os fluxos podem ocorrer em taludes com baixa inclinação ($<10^\circ$) e em consequência de outros movimentos, designadamente de escorregamentos ou de tombamentos.

2.2.4.1 - Torrentes ou fluxos de detritos

As torrentes ou fluxo de detritos constituem um caso particular de fluxo, que ocorrem em terrenos, homogéneos de composição predominantemente fina em que a perda de resistência dos materiais, por aumento do seu grau de saturação determina o início do movimento, (*Debris Flow*).

Os movimentos do tipo fluxo de detritos ocorrem essencialmente em resultado de deslizamentos de terrenos argilosos, que se encontram destacados do substrato rochoso, (Figura 2.8). Este tipo de movimento pode ocorrer em taludes com inclinações muito baixas até valores da ordem dos 5° , podendo a massa de terreno conter fragmentos de rocha. Contêm uma percentagem de material mais grosseiro que areias elevada e tendem a mover-se mais depressa que os fluxos de terra, constituindo sempre que as condições climatéricas sejam favoráveis à sua ocorrência, um fenómeno com carácter recorrente.



Figura 2.8 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo fluxo de detritos.

2.2.5 - Reptação

A reptação (*Creep*), ainda que não seja habitualmente considerado um movimento de vertente, constitui uma outra situação particular de fluxo, que se caracteriza por um movimento ocorrer a uma taxa extremamente lenta. A reptação é imperceptível, sendo deduzida por meio da instrumentação ou com base em indícios que provoca no meio. Este tipo de movimento afecta maciços terrosos, provocando deformações contínuas que se manifestam ao longo do tempo através da progressiva inclinação de árvores ou postes existentes nos taludes, (Figura 2.9).

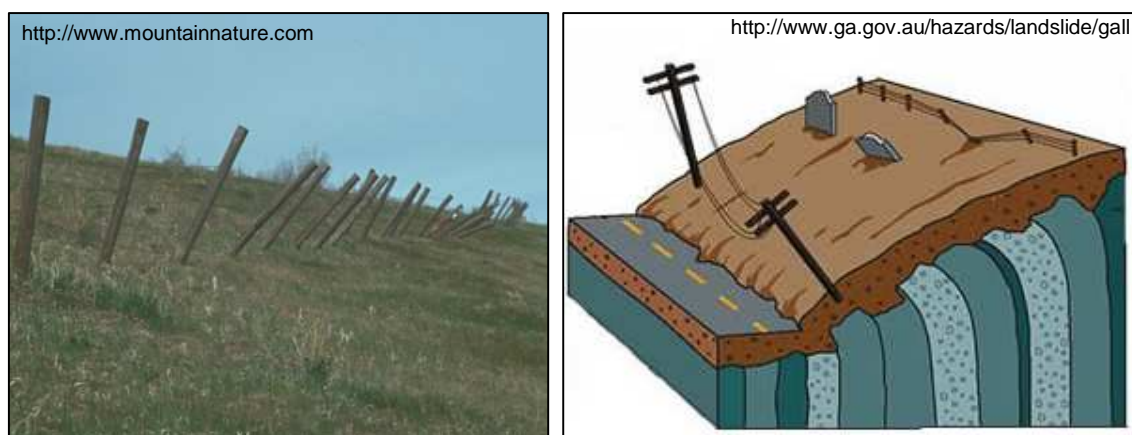


Figura 2.9 – Fotografia e esquema de um movimento do tipo reptação.

2.3 - Causas para a Ocorrência deste Tipo de Fenómenos

O balanço entre as forças internas e forças externas que actuam sobre os taludes determinam nas situações de instabilidade que as forças destabilizadoras superaram as forças estabilizadoras, ou resistentes, resultando deste facto o movimento. Os movimentos de terreno nos taludes são controlados por diversos factores que influenciam as forças internas e externas actuantes.

Nesta secção são abordados e desenvolvidos os conceitos de agentes desencadeadores, e de agentes controladores, bem como os seus efeitos e influências nos maciços.

Os agentes activos ou efectivos (factores desencadeantes), são os factores externos responsáveis pelo desencadear do movimento, colocando o talude num estado de instabilidade activa;

Os agentes passivos ou predisponentes (causas ou factores condicionantes), dependem da natureza, estrutura e morfologia do maciço que controlam e determinam as características do movimento (geometria, velocidade e duração) a partir do momento em que este se inicia (Quadro 2.7). Os agentes controladores com base nas propriedades físicas e resistentes dos materiais relacionados estritamente com a sua litologia, e nas suas características morfológicas e geométricas, determinam a predisposição de um talude à instabilidade.

Quadro 2.7 – Representação dos agentes activos e passivos.

Agentes		Influências e Efeitos
Agentes Activos	<i>Precipitação</i>	- Variações nas pressões intersticiais;
	<i>Modificações nas condições hidrogeológicas.</i>	- Saturação do solo; - Erosão.
	<i>Aplicação de cargas estáticas ou dinâmicas.</i>	- Variação na distribuição do peso dos materiais e do estado de tensão do talude; - Aumento das pressões intersticiais.
	<i>Modificações morfológicas ou geométricas dos taludes.</i>	- Variação das forças devidas ao peso; - Modificações no estado de tensão.
	<i>Erosão</i>	- Variações geométricas do talude; - Alteração na distribuição do peso dos materiais e no estado de tensão do talude.
	<i>Acções Climáticas</i>	- Alteração da percentagem de água no terreno; - Ocorrência de fendas e planos de instabilidade; - Diminuição das propriedades resistentes;
Agentes Passivos	<i>Relevo (pendente e geometria)</i>	- Distribuição do peso do terreno.
	<i>Litologia (composição mineralógica e textura)</i>	- Densidade; - Resistência; - Comportamento Hidrogeológico.
	<i>Estrutura geológica e estado de tensão.</i>	- Resistência / Deformabilidade; - Comportamento descontínuo e anisótropo; - Zonas de fraqueza; - Comportamento Hidrogeológico; - Geração de pressões intersticiais.
	<i>Desflorestação</i>	- Modificações no balanço hidrogeológico
	<i>Alteração</i>	- Modificações físicas e químicas; - Erosão externa e interna; - Geração de zonas de fraqueza.

2.3.1 - Agentes Activos (responsáveis pelo desencadear do movimento)

A influência das condições climatéricas nos movimentos de terreno relacionam-se fundamentalmente com o volume, intensidade e distribuição da precipitação. A presença de água diminuiu a resistência dos materiais, nomeadamente por modificação de estado físico dos solos argilosos, proporcionando o incremento das pressões intersticiais e favorecendo processos de erosão interna e externa. A água pode igualmente promover alterações mineralógicas ao nível dos materiais constituintes.

A infiltração de água origina fluxos superficiais e subterrâneos que conduzem ao aumento do volume de água na zona saturada e conseqüente subida do nível freático, bem assim como a geração de forças de percolação que, caso se orientem paralelamente ou em direcção ao exterior do talude contribuem para a sua instabilização. A quantidade de água que se infiltra no terreno depende da água pré-existente (posição do nível freático e grau de saturação), da permeabilidade e transmissividade do terreno, da topografia e de outras características externas como a densidade de vegetação. Dependendo destes factores podem gerar-se estados de desequilíbrio que dão origem a instabilidades nos taludes. O comportamento hidrogeológico dos materiais depende de parâmetros intrínsecos, tais como a litologia e grau de fracturação, e extrínsecos, relacionados com as condições climatéricas regionais, que influenciam o grau de alteração.

Em zonas de baixas temperaturas, os processos de gelo-degelo são igualmente responsáveis por fenómenos de instabilidade de taludes. No caso do processo de gelo-degelo se desenvolver período curto, ocorre um aumento repentino do teor em água, o que em materiais soltos, conduz facilmente ao desequilíbrio.

Os sismos também podem estar na origem de movimentos de vertente e mesmo reactivar antigos escorregamentos em estado de equilíbrio limite.

A acção humana assume um papel fundamental entre os factores que modificam as condições de estabilidade de um talude. As terraplenagens (escavações e aterros) efectuadas na modelação do terreno para implantação de uma obra modificam o estado de tensão do maciço, devido a alterações na geometria e nas condições hidrogeológicas.

As propriedades geomecânicas controlam a resistência ao corte do material. Os solos, devido ao seu carácter homogéneo e isotrópico, apresentam menor complexidade na sua caracterização, enquanto nos maciços rochosos, a sua resistência e comportamento resulta das propriedades da matriz rochosa e das discontinuidades.

O relevo assume um papel importante verificando-se que é necessário existir uma inclinação mínima que desencadeie o movimento gravitacional. Regiões com relevo mais acidentados (montanhosos) são potencialmente mais propícias à ocorrência de movimentos de terrenos designadamente de alguns dos seus tipos. No entanto, este factor não deverá ser considerado determinante, dado que podem ocorrer instabilizações de grande dimensão em zonas com pendentes suaves.

2.3.2 - Agentes Passivos (controlam as características do movimento)

A estrutura geológica, estratigrafia e litologia controlam a potencialidade dos movimentos nos diferentes tipos de materiais. A existência de superfícies de fraqueza (descontinuidades e contactos entre diferentes materiais), a constituição mineralógica, a resistência e a deformabilidade, o grau de alteração e fracturação, a porosidade e a permeabilidade são factores, que favorecem a rotura do material, podendo ser responsáveis pelo desencadear do movimento.

A existência de água assume uma acção primordial por diminuir as características de resistência dos materiais, designadamente:

- reduzindo a resistência ao corte, por geração de pressões intersticiais e anulamento de tensões neutras negativas;
- aumentando os esforços de corte por incremento do peso do terreno e formação de forças instabilizadoras em descontinuidades.

A influência dos agentes controladores nos aspectos relacionados com o comportamento geomecânico dos solos e das rochas revelam-se essencialmente na redução da resistência ao corte e no aumento dos esforços de corte. No quadro 2.8 listam-se os factores que influenciam a resistência ao corte do terreno.

Quadro 2.8 – Representação dos factores que influenciam a resistência ao corte do terreno.

Factores Responsáveis pela Redução da Resistência ao Corte	Factores Responsáveis pelo Aumento dos Esforços de Corte
Condições Iniciais - Composição, textura e estrutura; - Fracturas e falhas;	Acções de esforços temporários - Movimentos sísmicos; - Vibração por acções de explosões, máquinas e

<ul style="list-style-type: none"> - Planos de estratificação; - Rochas frágeis sobre materiais dúcteis; - Alternância de materiais de diferentes permeabilidades. 	<p>tráfego;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deslizamentos em zonas envolventes.
<p>Variações nos materiais devido a processos de alteração e reacções físico-químicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desintegração física das rochas; - Hidratação de minerais argilosos; - Dissolução e lixiviação de materiais; - Plastificação das argilas. 	<p>Perda de confinamento na lateral e base do talude</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erosão da zona de pé de talude pela acção dos rios e do mar; - Precipitação; - Erosão interna e subterrânea; - Dissolução e lixiviação de material; - Exploração mineira; - Presença de materiais plásticos subjacentes.
<p>Variações nas forças intergranulares devido à pressão de água em poros e fracturas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precipitação; - Degelo; - Lagos naturais e artificiais (albufeiras); - Irrigação; - Desflorestação. 	<p>Variações na Morfologia</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deslizamentos; - Falhas de grande extensão.
<p>Variações na Estrutura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fissuração de argilas sobreconsolidadas; - Fenómenos de descompressão em taludes rochosos. 	<p>Sobrecargas Naturais</p> <ul style="list-style-type: none"> - Peso resultante da precipitação da neve, e da água nos aquíferos - Acumulação de material resultante de movimentos de terra anteriores. - Vegetação.
<p>Perca de resistência por processos de creep</p>	<p>Sobrecargas Antrópicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Escavação; - Eliminação de elementos de contenção; - Construção de Albufeiras ou lagos.
<p>Acção de árvores ou arbustos</p>	<p>Pressão lateral</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presença de água em falhas ou cavidades; - Presença de materiais expansivos; - Mobilização de esforços residuais.
<p>Escavação por animais</p>	<p>Processos Vulcânicos</p>

2.4 - Sumário

Os movimentos de vertente ocorrem nos mais variados contextos geológicos e morfológicos. A sua diversidade, em termos de materiais envolvidos, velocidade e tipo de deslocamento, características morfológicas, mecanismos de preparação e desencadeamento, tem levado à necessidade de se proceder à uniformização de critérios que facilitem o tratamento de informação que possibilitem a classificação destes fenómenos.

As classificações dos movimentos de vertente aplicáveis a taludes naturais ou de escavação devem basear-se num conjunto de critérios distintos que permitam diferenciar as várias situações de instabilidade.

Neste capítulo apresentaram-se os principais mecanismos activos e tipos de movimentos com maior importância na região e procurou-se identificar os principais factores que controlam os movimentos de terrenos. Foram definidos os agentes activos ou efectivos (factores desencadeantes) e os agentes passivos ou predisponentes (causas ou factores condicionantes) dos movimentos de vertente.

CAPÍTULO 3

MEDIDAS DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

Intervenções e Técnicas

3.1 - Generalidades

Quando se prevê a ocorrência de rotura de um talude, ou existência de deformações que ponham em causa a sua estabilidade, devem adoptar-se determinadas medidas de estabilização com o objectivo de evitar a ocorrência de catástrofes. Similarmente, quando por razões construtivas, ambientais ou económicas há a necessidade de escavar um talude com um ângulo superior ao existente, é necessário adoptar medidas de estabilização. Para tal, devem realizar-se estudos geológicos e geotécnicos e hidrogeológicos específicos e ensaios laboratoriais que permitam a definição das propriedades geotécnicas dos materiais e dos mecanismos e geometrias das roturas possíveis. O aumento do coeficiente de segurança de um talude consegue-se através da diminuição das forças instabilizadoras ou pelo aumento das forças estabilizadoras. Existem diversas soluções de estabilização que podem ser aplicadas, em taludes de escavação, com o intuito de evitar a ocorrência de movimentos de vertente, passando-se em revista as mais importantes nas secções seguintes.

3.2 - Tipos de Obras de Estabilização de Taludes

Visando a optimização das medidas de estabilização a adoptar deve-se ponderar os custos e os meios económicos disponíveis, a necessidade da intervenção e a magnitude da instabilidade.

Os principais problemas existentes nos taludes de escavação prendem-se essencialmente com situações de:

- erosão e desagregação superficial de taludes;
- quedas de blocos;
- escorregamentos;
- fluxos.

As intervenções geralmente adoptadas para as situações de instabilidade anteriormente referidas baseiam-se especialmente em medidas de:

- Protecção
 - valas de retenção;
 - banquetas;
 - redes.
- Correção
 - reperfilamento do talude
- Reforço
 - obras de contenção (movimentos de grande magnitude);
 - drenagem e protecção da superfície;
 - biorremediação (movimentos superficiais e de pequena magnitude)

Neste trabalho são referidas de forma sucinta as medidas de estabilização habitualmente adoptadas no controlo dos movimentos de terrenos, salientando-se as medidas de biorremediação que pelo seu carácter menos usual, serão abordadas no capítulo 4.

3.2.1 - Medidas de Protecção

3.2.1.1 - Valas de retenção

Este tipo de estrutura visa a retenção de blocos na base dos taludes rochosos (Figura 3.1). O emprego destas valas depende da distância da base do talude à infra-estrutura construída e o seu dimensionamento é função da altura e da inclinação do talude. Relativamente à influência da pendente do talude na trajectória dos blocos, verifica-se que:

- em taludes muito inclinados (70° a 90°), os blocos tem percurso dominante em queda livre com uma trajectória próxima da face do talude, acumulando-se junto à sua base;
- em taludes com inclinações mais suaves (50° a 70°) os blocos tendem a ter impactos cujos ressaltos determinam uma trajectória que projecta os blocos para longe da base do talude.

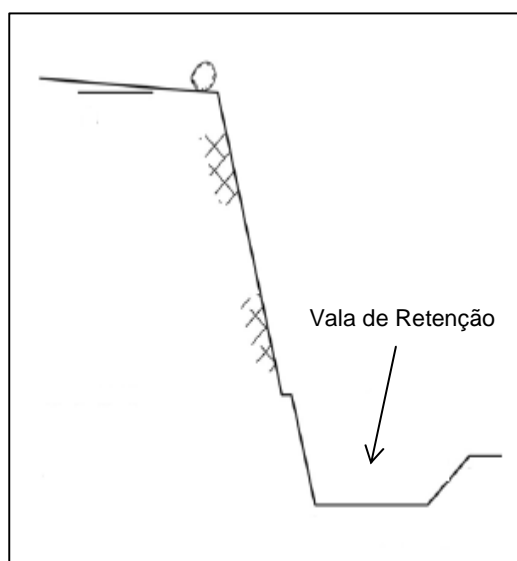


Figura 3.1 – Esquema de uma vala de retenção (adaptado de Lawrence, 2001)

3.2.1.2 - Banquetas

A utilização de banquetas nem sempre corresponde a uma eficaz medida de protecção contra a queda de blocos. As banquetas podem funcionar como uma “rampa de lançamento” dos blocos, facilitando os ressaltos dos mesmos. Nesses casos deve-se instalar uma barreira de retenção (vedação metálica) em cada banqueteta, impedindo que o rolamento e o ressalto dos blocos possam atingir estruturas a jusante.

3.2.1.3 - Redes

As redes são muito usadas no revestimento de taludes rochosos, para evitar a queda de blocos ficando estes retidos na base do talude (Figura 3.2). São compostas por malhas de triplo entrançado de arame zincado, sendo bastante resistentes e flexíveis. Adaptam-se às condições naturais dos terrenos, promovendo ainda um suporte ao desenvolvimento de cobertura vegetal, (Coelho, S., 1996).



Figura 3.2 – Fotografias de redes de protecção aplicadas em taludes.

3.2.2 - Medidas de Correção

3.2.2.1 - Reperfilamento do talude

Consiste na correção geométrica mediante obras de terraplenagem, escavações e aterros dos taludes visando a obtenção de um perfil mais estável, (Figura 3.3). Das obras de estabilização de taludes é a mais utilizada devido à sua simplicidade e eficácia. O reperfilamento do talude é geralmente complementado com obras de controlo da drenagem e de protecção superficial, de modo a reduzir a infiltração de água no terreno e controlar o escoamento superficial, minimizando os efeitos dos processos erosivos.

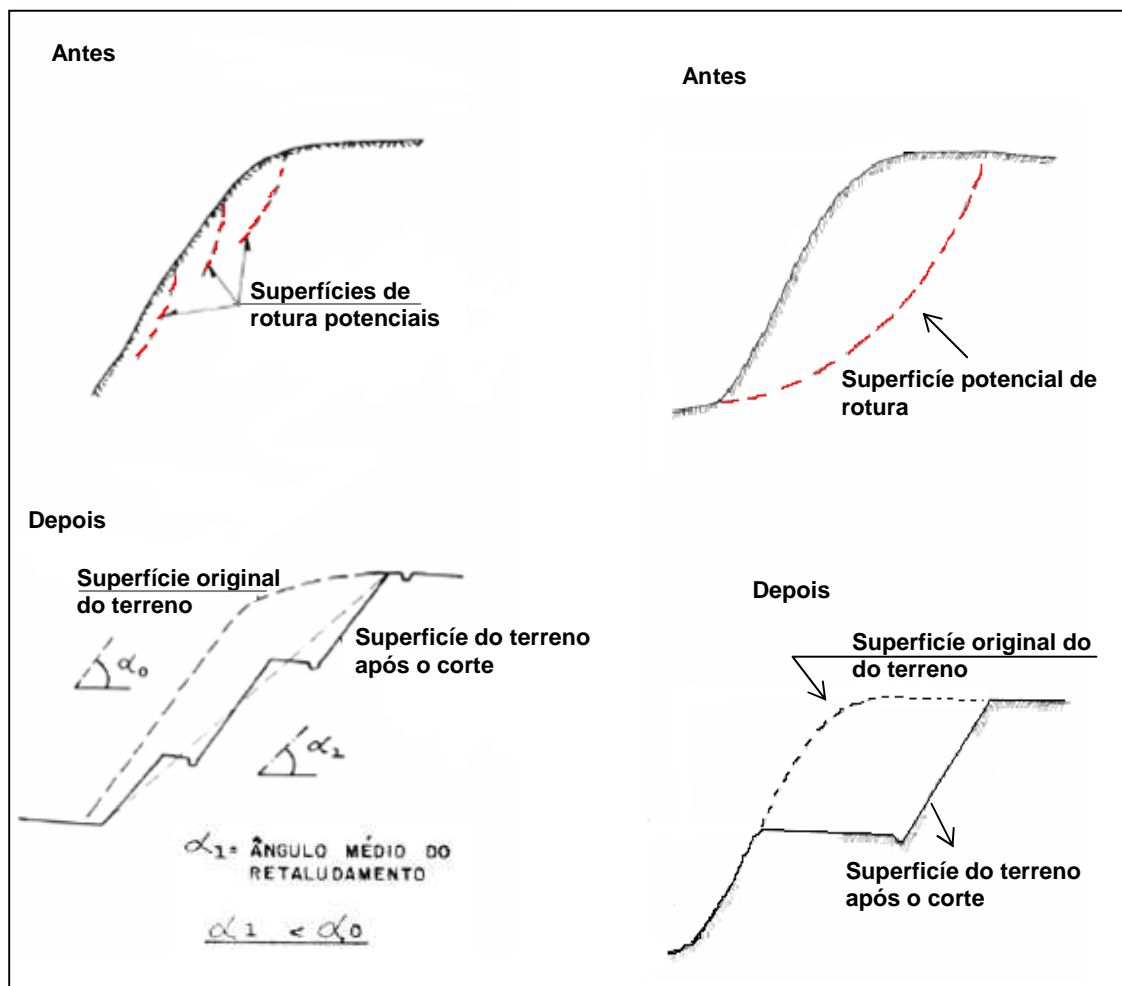


Figura 3.3 – Exemplos de execução de reperfilamento em taludes (adaptado de Carvalho *et al.* 1991).

3.2.3 - Medidas de Reforço

3.2.3.1 - Obras de contenção

As obras de contenção consistem na construção de estruturas, que uma vez implantadas num talude oferecem resistência à sua movimentação. Estas obras reforçam uma parte do maciço para que o conjunto maciço mais obra tenham capacidade suficiente para resistir aos esforços instabilizadores. O dimensionamento de uma estrutura de contenção consiste na verificação em termos de equilíbrio limite (ou tensão-deformação) do conjunto formado pelo maciço e pela estrutura face às solicitações em causa, associado a um determinado factor de segurança (FS). Estas condições tornam o sistema bastante complexo e há, portanto, a necessidade de se adoptarem modelos teóricos simplificados que tornem a análise possível. Estes modelos devem ter em conta as características dos materiais que influenciam o comportamento global, além da geometria e das condições locais.

Embora exista um conjunto vasto de soluções de obras de contenção aplicáveis às mais variadas situações de instabilidade, classificadas e sistematizadas na bibliografia segundo diversos esquemas, este tipo de obras podem classificar-se em dois grandes grupos:

- 1) Muros de Suporte
- 2) Paredes de Contenção

1) Muros de Suporte

Aplicam-se com o objectivo de contribuir com uma resistência adicional que permite colmatar a falta de resistência ao corte do terreno. Estes tipos de estruturas têm habitualmente desenvolvimentos moderados adaptando-se à resolução de problemas de instabilidade especialmente localizados. Têm como principais desvantagens o seu elevado custo e o grande impacto visual que apresentam.

Existem diversos tipos de estruturas de suporte, cuja selecção é função da situação a estabilizar. Consoante os objectivos podem ser adoptados muros flexíveis, que minimizam a ocorrência de movimento, ou estáticos que contribuem com resistência adicional para o sistema.

Entre os vários tipos de muros de suporte os mais habituais são os seguintes:

- muros de gravidade;
- muros de terra armada;
- muros de betão;
- muros de gabiões;
- etc.

a) Muros de gravidade

São muros de pedra ou de betão, simples ou armado, dotados de uma sapata de fundação com ou sem consola inferior, saliência ou contrafortes. Quanto maiores forem as solicitações maior terá de ser a base de implantação. O peso do próprio muro, por vezes associado com massas estabilizadoras de solo ou rocha, desempenha uma função significativa na contenção. Existem vários tipos de muros de gravidade, que utilizam diferenciados processos construtivos, sendo adoptados em obras de pequena e grande desenvolvimento. São indicados em situações de solicitações reduzidas já que, para atender a esforços elevados, requerem uma base de fundação com dimensão importante, cuja execução poderá acarretar custos muito elevados. Na figura 3.4, apresenta-se um esquema e uma fotografia de um muro de gravidade.

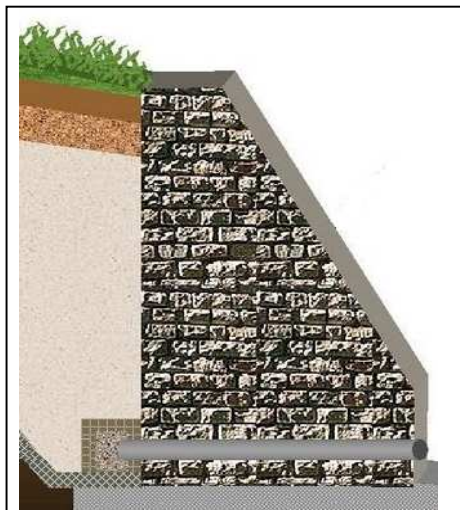


Figura 3.4 – Esquema e fotografia de um muro de suporte do tipo gravidade.

b) Muros de terra armada

Muros formados por uma parede exterior de betão ou chapas metálicas e por um aterro de solo reforçado entre o talude e o paramento. O solo é parte integrante deste tipo de obra, constituindo a sua principal componente, para além das armaduras de alta aderência de aço galvanizado e das placas de betão pré-fabricadas, (“escamas”) usadas como paramento externo. O solo é compactado e reforçado com armaduras colocadas horizontalmente, para as quais são transmitidos os esforços de tracção. A armadura permite melhorar as propriedades mecânicas do terreno nas direcções em que este é mais solicitado. A terra armada tira partido das forças de atrito que se desenvolvem no contacto terra-armadura, produzindo um maciço armado resistente a esforços estáticos e dinâmicos.

Além das características anteriormente mencionadas, a terra armada possui um aspecto estético agradável e é de rápida execução, sem necessidade de mão-de-obra especializada na sua montagem, (Figura 3.5).

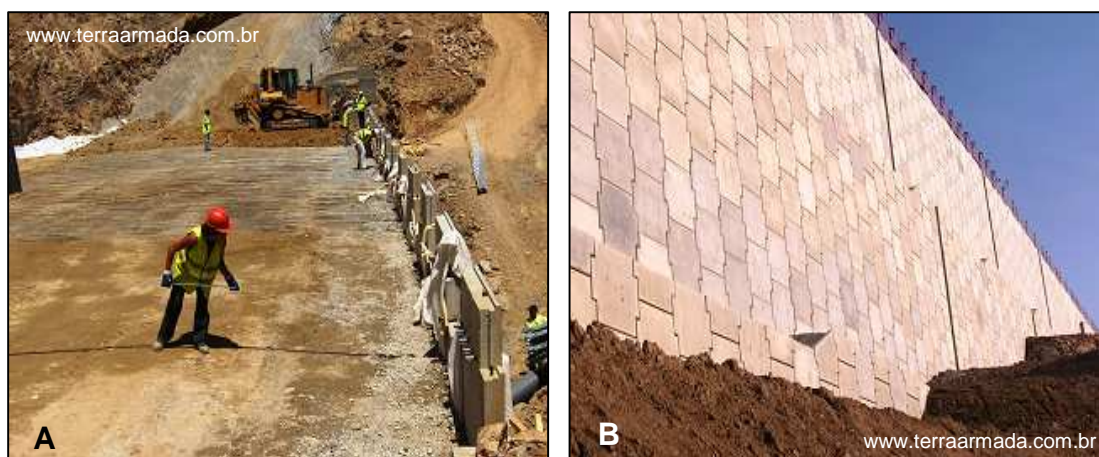


Figura 3.5 – A – Construção de um muro de suporte do tipo terra armada. B – Aspecto do paramento exterior.

c) Muros de betão

Elementos de betão pré-fabricados ou construídos *in situ*, cuja acção estabilizadora é determinada pelo seu peso próprio e também pelo peso da porção de solo adjacente, que funciona como parte integrante da estrutura de arrimo, (Figura 3.6). São obras que podem

ser executadas segundo diferentes processos construtivos e que apresentam um campo vasto de aplicações. Estas estruturas devem contemplar um sistema de drenagem adequado e a qualidade do betão deverá ser compatível com a agressividade das águas de percolação. Os muros de betão, desde que devidamente otimizados os respectivos processos construtivos, apresentam custos relativamente moderados.

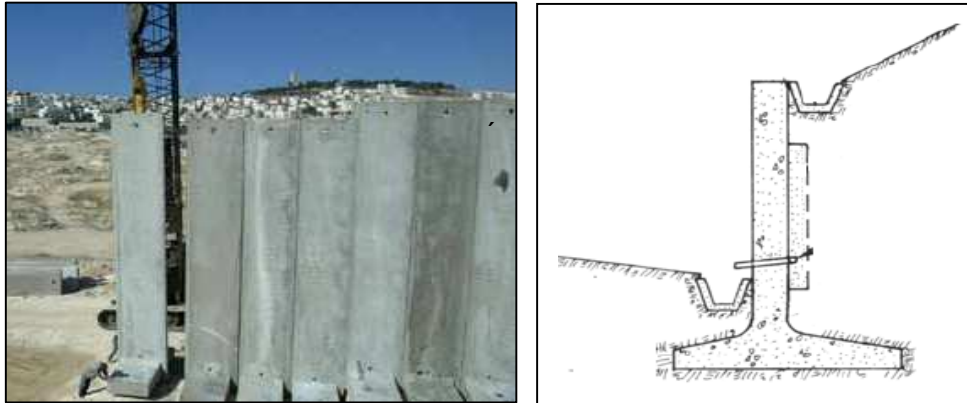


Figura 3.6 – Esquema e fotografia de um muro de betão (esquema adaptado de Carvalho, *et al.*, 1991).

d) Muros de gabiões

São estruturas flexíveis constituídas por gaiolas ou caixas de arame de aço preenchidas com pedras (Figura 3.7). Estes muros trabalham por gravidade e a sua elevada resistência mecânica é conferida pela rede metálica e pelo atrito entre os blocos de rocha sã que constituem esta estrutura. Os muros de gabiões apresentam elevada flexibilidade, absorvendo o excesso de deformações. Estas estruturas exibem também elevada permeabilidade, uma vez que a granulometria uniforme dos blocos facilita a drenagem das águas de percolação evitando a acumulação de pressões intersticiais. Na construção destas estruturas deve-se ter o cuidado de colocar no seu tardoiz uma manta de geotêxtil que materialize a transição entre o maciço e o muro, evitando o arrastamento de partículas finas pela passagem de água. Os muros de gabiões têm como principais vantagens a sua simplicidade construtiva e relativo baixo custo e são geralmente aplicados como muros de suporte até alturas moderadas (habitualmente não ultrapassam os 12-15 m de altura).



Figura 3.7 – Fotografia e esquema representativo de um muro de gabiões (esquema adaptado de Carvalho *et al.*, 1991).

No quadro 3.1, sintetizam-se algumas das características das obras de contenção do tipo muro de suporte.

Quadro 3.1 – Campo de aplicação e características dos terrenos dos muros de suporte.

Tipo de Contenção	Campo de Aplicação	Características dos Terrenos
Muro de gravidade	Desnível de terreno a conter até cerca de 6 m.	Compacidade média a alta e ausência de nível freático acima da cota final da escavação.
Muro de terra armada	Desnível de terreno a conter em geral sem limite de altura.	Aterro constituído por materiais granulares e devidamente compactado.
Muro de betão	Desnível de terreno a conter até cerca de 6 m.	Compacidade média a alta e ausência de nível freático acima da cota final da escavação.
Muro de gabiões	Desnível de terreno a conter em geral sem limite de altura.	Compacidade média a alta e ausência de nível freático acima da cota final da escavação.

2) Paredes de Contenção

São obras que normalmente surgem quando as condições de vizinhança não permitem a escavação e o aterro do talude. A execução de qualquer obra de contenção deverá ser sempre baseada num projecto que contemple os aspectos geotécnicos, estruturais, executivos, especificação de materiais, etc. Existem inúmeros tipos de estruturas de contenção cuja selecção deverá basear-se numa análise técnica e económica das várias soluções em cotejo, a escolha depende da situação a estabilizar e dos custos.

São exemplo:

- paredes tipo Berlim
- paredes ancoradas;
- pregagens;
- cortinas de estacas.

a) Paredes tipo Berlim

Este tipo de solução apresenta, em princípio, custos moderados quando o desnível de terras a conter não é superior a cerca de 12 m e quando os terrenos a conter apresentam média a elevada compactidade e/ou coesão. Apresenta como principal desvantagem a possibilidade de poder ocorrer a descompressão dos terrenos durante as operações de escavação. Esta solução consiste, genericamente, na execução de uma parede constituída por painéis com espessura variável entre 0,25 e 0,35 m, apoiados em perfis verticais, previamente instalados no terreno antes do início dos trabalhos de escavação e com afastamento médio em geral não superior a 3 m. O travamento é garantido através da realização de ancoragens em geral no centro dos painéis (Figura 3.8). No caso das paredes tipo Berlim não serem definitivas, em obras de carácter provisório, são colocadas pranchas de madeira em vez de se realizar a betonagem dos painéis.



Figura 3.8 – Parede de Contenção do tipo Berlin.

b) Paredes ancoradas

São elementos que contribuem com uma força adicional contrária à direcção de movimento. As ancoragens são elementos formados por cabos ou barras de aço, fixas a uma zona estável do maciço, que contribuem para a estabilização do maciço proporcionando uma força contrária ao movimento do terreno, (Figura 3.9). A transferência do esforço à estrutura efectua-se através da cabeça da ancoragem.

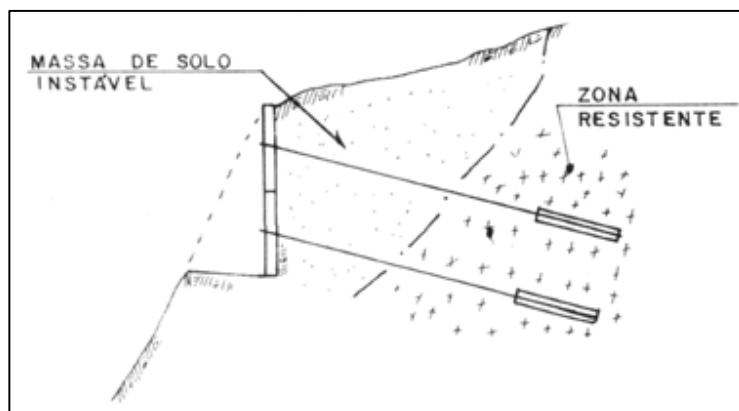


Figura 3.9 – Esquema ilustrativo de uma parede de contenção utilizando ancoragens, (adaptado de Carvalho *et al.*, 1991).

c) Pregagens

São tirantes de aço que se introduzem no talude e diferem das ancoragens por não serem traccionadas, contribuindo assim com a sua resistência própria para o incremento da resistência à tracção e ao corte do terreno. As pregagens são geralmente introduzidas e cimentadas ao longo de um furo aberto no maciço, (Figura 3.10). Constituem uma das medidas mais simples de reforço dos maciços rochosos/terrosos. As pregagens podem ser executadas ao longo de todo o comprimento do talude, constituindo, assim, o conjunto (maciço + pregagens), uma estrutura armada com barras metálicas.



Figura 3.10 – Execução de pregagens.

d) Cortinas de estacas

São elementos que aumentam a resistência do terreno na superfície de rotura. As estacas são colocadas segundo um alinhamento, sendo tangenciais entre si de modo a constituírem uma estrutura contínua (cortina de estacas) que atravessa a zona instabilizada e assenta na zona estável, (Figura 3.11). A distribuição e o comprimento

das estacas deve ser devidamente projectado, assim como a resistência aos esforços a que serão submetidas.



Figura 3.11 – Contenção do tipo cortina de estacas.

3.2.3.2 - Drenagem

A drenagem tem por objectivo eliminar ou diminuir os caudais presentes no talude e, desse modo, as tensões intersticiais existentes ou que possam vir a instalar-se com consequências gravosas para a estabilidade. A água constitui um dos factores mais importantes na estabilidade dos taludes dado que tem influência nas características resistentes dos materiais. Assim, as obras de drenagem constituem medidas efectivas de estabilização porque permitem, através da captação, o controlo e escoamento dos caudais presentes no maciço, bem como, ao diminuir os níveis piezométricos, aumentar as características de resistência dos terrenos. As intervenções ao nível da drenagem visam colectar e encaminhar as águas do escoamento superficial, e a captação das águas internas do maciço para os sistemas de drenagem superficial para escoamento posterior. A drenagem constitui um dos procedimentos mais eficientes e de maior utilização na

estabilização de todos os tipos de taludes, quer nas situações em que representa a única intervenção, quer nos casos em que é usada como medida complementar, aplicada em conjunto com obras de contenção, correcção e/ou protecção.

As intervenções de drenagem designam-se por superficial quando interessam as águas de escorrência e profunda quando visam a captação e escoamento das águas subterrâneas.

A) Drenagem Superficial e Protecção da Superfície.

B) Drenagem Profunda

A) Drenagem Superficial e Protecção da Superfície

A drenagem superficial tem por objectivo evitar/minimizar que as águas de escorrência se infiltrem no talude, determinando a saturação dos solos e o aumento das pressões intersticiais. Consiste basicamente na captação das águas superficiais e, em seguida, na sua condução para um local conveniente, (Figura 3.12). Através da drenagem superficial minimizam-se os fenómenos de erosão na superfície dos taludes e reduz-se a infiltração da água nos maciços, diminuindo-se dessa forma os efeitos gravosos que a saturação do solo origina na resistência dos terrenos.

Os sistemas de drenagem superficial podem ser constituídos por vários dispositivos, designadamente:

- valas revestidas;
- valas de betão;
- descidas de água;
- protecção contra a acção directa da chuva (vegetação e geossintéticos).

a) Valas revestidas

São canais abertos no solo, revestidos por uma fina camada de impermeabilização asfáltica ou de argamassa de cimento e areia.

b) Valas de betão

Este tipo de vala capta um maior volume de águas pluviais do que as anteriores e destinam-se a colectar águas superficiais, em obras de correcção da geometria dos taludes, são exemplo, as valetas de berma, as valas de crista e de pé de talude.

c) Descidas de água

São canais abertos ou fechados, construídos em forma de degraus nos taludes. São utilizadas principalmente em encostas com inclinações elevadas tendo grande capacidade de vazão. Estas obras são principalmente indicadas quando é necessário proceder-se à drenagem de grandes volumes de água.

Em relação a este tipo de obra são extremamente importantes os aspectos construtivos designadamente no que diz respeito ao local final de descarga do sistema de drenagem do talude, evitando-se pontos de concentração não protegidos contra a erosão. Em situações associadas a grandes caudais poderá ser necessário construir bacias de amortecimento ou caixas de dissipação como obras complementares.

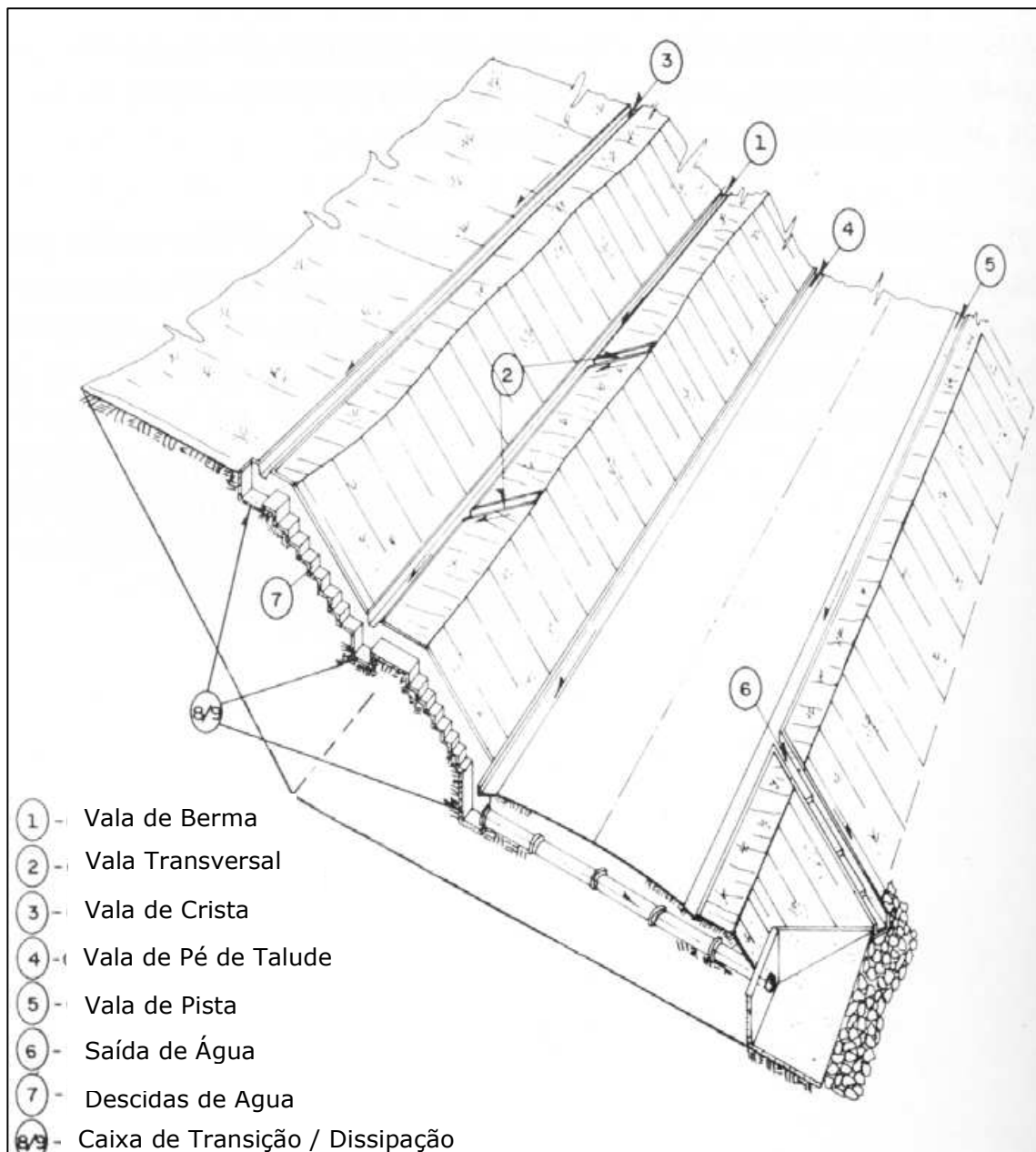


Figura 3.12 – Esquema ilustrativo de diversas soluções de drenagem superficial, (adaptado de Carvalho *et al.*, 1991).

Segundo Carvalho *et al.*, (1991), a protecção superficial é uma medida que visa evitar/minimizar os efeitos erosivos, essencialmente do escoamento superficial até ao estabelecimento da vegetação. Existe uma elevada susceptibilidade da superfície do talude escavado aos efeitos induzidos pelos diversos agentes naturais e ambientais, uma vez que estes, provocam a erosão, meteorização e fragilização progressiva dos materiais que constituem o talude. Assim, as medidas de protecção superficial procuram atenuar ou minimizar os efeitos nocivos supracitados, promovendo algum controlo nos processos erosivos. As medidas de protecção superficial recorrem a diferentes tipos de materiais de origem quer natural, quer artificial e consistem em revestimentos contínuos das fachadas expostas dos taludes.

As **técnicas de protecção superficial utilizando materiais artificiais** consistem, designadamente, nas seguintes:

- impermeabilização asfáltica;
- argamassa.

a) Impermeabilização asfáltica

Tem como função proteger os taludes e as bermas das águas pluviais, evitando a sua infiltração no maciço. Devem ser colocados drenos espaçados regularmente ao longo da superfície, de modo a evitar o aparecimento de sub pressões localizadas, que possam favorecer o descolamento deste tratamento do terreno.

b) Argamassa de cimento

É uma técnica bastante eficiente que exige pouca manutenção, no entanto, tem como principal desvantagem o seu custo relativamente elevado. Devem ser construídos drenos e juntas de dilatação de modo a permitir a drenagem das águas.

As **técnicas de protecção superficial utilizando materiais naturais** consistem, designadamente, nas seguintes:

- selos de solo argiloso;
- máscara drenante;
- gabião-manta;
- cobertura vegetal.

a) Selos de solo argiloso

Aplicam-se no preenchimento de sulcos de erosão, fissuras, etc. A sua utilização encontra-se habitualmente associada com outras de protecção superficial. Vários materiais podem ser usado como selantes: solos argilosos, calda de solo cimento, asfalto ou resinas sintéticas, estas ultimas tendo como desvantagem o seu custo bem mais elevado. A lama de bentonite, com propriedades expansivas, tem sido ocasionalmente usada no fechamento de fendas em solos arenosos, pela sua boa aderência aos espaços porosos. Entretanto esse material pode apresentar consequências negativas a longo prazo, quando aplicado em fendas profundas que venham a ser alcançadas intermitentemente pelo nível freático nos períodos chuvosos, intercalando fases de expansão e de contracção.

b) Máscara drenante

Consiste no revestimento do talude com blocos de rocha, talhados de forma regular e com dimensão centimétrica a decimétrica. Os blocos são colocados sobre o talude e aglutinados com argamassa, (Figura 3.13). Esta técnica tem função dupla, de protecção contra a erosão e de suporte.



Figura 3.13 – Fotografia de máscaras drenantes (Auto-Estrada A17).

c) Gabião-Manta

É uma estrutura do tipo gabião mas que apresenta como característica principal a pequena espessura, (Figura 3.14). Estas estruturas, possuem uma elevada capacidade autodrenante podendo quando aplicadas com o objectivo de protecção superficial, ser construídas com recurso à utilização do material local.



Figura 3.14 – Estruturas do tipo gabião-manta (rio Jamor).

d) Cobertura vegetal

Esta técnica é normalmente aplicada em encostas e taludes em que a vegetação natural tenha sido removida ou danificada. O desenvolvimento da vegetação permite aumentar a resistência do solo por acção das raízes. A cobertura vegetal protege os terrenos contra a erosão superficial e reduz a infiltração da água no solo. A selecção das espécies a adoptar deverá ter em conta alguns requisitos tais como a adaptação às condições climáticas locais, taxa de crescimento, natureza do solo, etc.

Grande parte das técnicas de protecção superficial apresentadas podem ter uma componente drenante ou até mesmo de contenção/suporte.

Estas medidas podem ser total ou parcialmente substituídas ou complementadas por técnicas de biorremediação, que se integram na área da bioengenharia que visa encontrar soluções de protecção e de remediação com base em soluções vantajosas em termos ambientais, económicos e estéticos.

As técnicas de biorremediação podem constituir, principalmente em situações de instabilidades pouco profundas, soluções interessantes, substituindo com sucesso intervenções de estabilização clássicas.

Dada a sua ainda relativamente pequena divulgação este tema irá ser abordado de uma forma mais pormenorizada no capítulo 4, como já havia sido referido.

B) Drenagem Profunda

As intervenções de drenagem profunda têm por objectivo rebaixar o nível freático captando as águas do interior do maciço. As medidas de drenagem profunda integram frequentemente as soluções de estabilização preconizadas para maciços rochosos instáveis. Na aplicação das medidas de drenagem profunda deve-se ter em consideração as características hidrogeológicas dos terrenos, designadamente da sua permeabilidade, do caudal que se pretende drenar e o raio de influência específico do elemento drenante. Estas medidas visam captar e drenar os caudais de circulação de água no interior dos maciços, diminuindo o nível de água e as pressões intersticiais nos terrenos. Tendo como objectivo a optimização das condições da funcionalidade dos dispositivos de drenagem

interna, estes deverão estar associados às obras de drenagem superficial de modo a permitir o escoamento dos caudais captados no interior do maciço.

Existem diversos dispositivos de drenagem profunda que podem ser aplicados nos taludes, designadamente:

- drenos horizontais profundos (DHP);
- galerias drenantes.

a) Drenos Horizontais Profundos (DHP)

Consistem numa medida de drenagem profunda frequente e bastante eficiente em maciços rochosos, desde que os furos intersectem as fracturas a favor das quais se processa a circulação da água. Os DHP devem ter sempre uma certa inclinação para que a água seja conduzida para o exterior do talude graviticamente (Figura 3.15).



Figura 3.15 – Execução de um dispositivo do tipo dreno horizontal profundo (túnel do Rossio).

São tubos ranhurados instalados em furos de sondagem sub-horizontais para captação de águas subterrâneas, (Figura 3.16). A sua aplicação tem como objectivo rebaixar o nível do lençol freático visando reduzir as pressões intersticiais nos terrenos e prevenir a ocorrência de fenómenos de erosão interna.

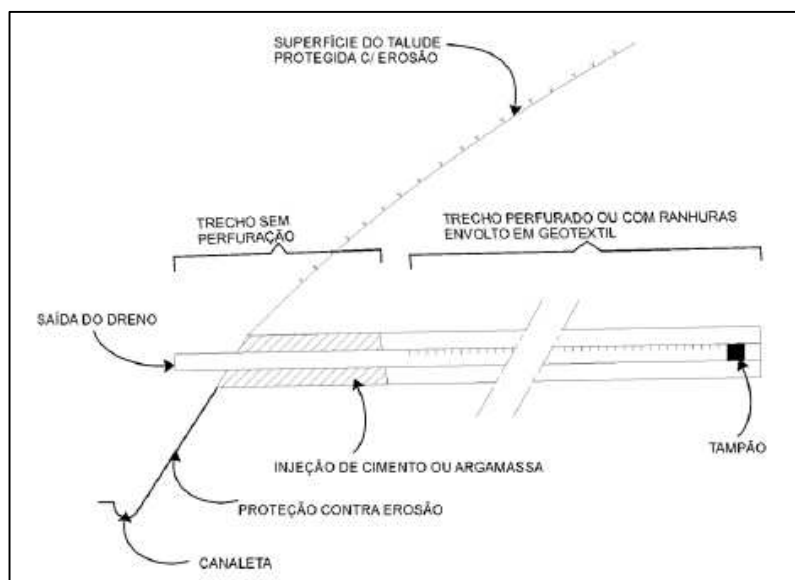


Figura 3.16 – Esquema de elementos de um DHP (adaptado de Martins *et al.*, 2006).

b) Galerias drenantes

Visam rebaixar o nível freático de algumas zonas localizadas do maciço. São eficazes no controlo dos níveis de água subterrânea, dado que possuem grande secção, que no caso dos maciços rochosos é susceptível de intersectar um grande número de discontinuidades. A sua aplicação é restrita devido a serem obras muito onerosas e de execução complexa.

3.2.3.3 - Instrumentação e observação

Tendo por base a ambiguidade da informação geológica, mesmo quando esta é disponibilizada em fase de projecto e de preparação de obra, assim como a incerteza do levantamento e da caracterização das condições de vizinhança, é imprescindível que se observe o comportamento dos terrenos e das próprias estruturas quer em fase de obra quer em fase de exploração.

A principal ferramenta que permite a consecução deste objectivo em tempo útil é a elaboração de um “Plano de Instrumentação e Observação” (PIO), este plano permite gerir o risco associado aos trabalhos tanto na obra como nas áreas vizinhas. Um plano de monitorização completo deve incluir a descrição dos equipamentos a instalar, as frequências de leituras, os critérios de alerta e de alarme e ainda as medidas de reforço a serem adoptadas caso os referidos critérios venham a ser ultrapassados.

Cada PIO tem características específicas, devendo os equipamentos a instalar e a frequência das leituras serem ajustadas em função do:

- tipo de estrutura;
- das condições geotécnicas do maciço;
- condições locais;
- condições de segurança;
- custos de operação.

Alguns dos principais equipamentos, bem como as grandezas a medir, são os seguintes (Hanna,1985):

- a) inclinómetros – equipamento para medição de deslocamentos horizontais internos (em profundidade).
- b) piezómetros – equipamento para medição do posicionamento do nível freático.
- c) células de carga – equipamentos de medição de carga nas ancoragens.
- d) alvos topográficos – equipamentos de medição de deslocamentos tridimensionais.
- e) marcas de assentamento – equipamentos para medição de deslocamentos verticais à superfície de terrenos.

Além destes, existem ainda muitos outros equipamentos e variantes dos mesmos, sendo, no entanto, mais adequados à monitorização de outros tipos de obras e não tanto à observação de comportamento de taludes e/ou de obras de contenção.

É de maior importância para que se obtenham resultados fidedignos durante a monitorização, que se proceda à correcta instalação e leitura dos equipamentos.

3.3 - Sumário

Quando por razões construtivas, ambientais ou económicas há a necessidade de escavar um talude com um ângulo superior ao existente, é geralmente necessário adoptar medidas de estabilização.

Os principais problemas existentes nos taludes de escavação prendem-se com situações de erosão superficial, quedas de blocos, escorregamentos e fluxos. As intervenções e técnicas de remediação geralmente adoptadas e aplicáveis aos problemas de instabilidade baseiam-se essencialmente em medidas de protecção, correcção e reforço. As obras executadas são variadas e têm aplicações diferenciadas, consoante as características geológico-geotécnicas de cada local e o tipo de instabilidade ocorrida. No entanto, e geralmente, é sempre necessário realizar obras de drenagem, ainda que por vezes sejam um complemento a outras de maior porte, uma vez que a água constitui um dos factores mais importantes na estabilidade dos taludes dado que tem influência nas características resistentes dos materiais.

Qualquer que seja a situação de instabilidade e a solução adoptada, é de máxima importância que se observe o comportamento dos terrenos e das próprias estruturas quer em fase de obra quer em fase de exploração. Para tal, a principal ferramenta que permite a consecução deste objectivo em tempo útil, é a elaboração de um correcto Plano de Instrumentação e Observação.

CAPITULO 4

BIORREMEDIAÇÃO COMO MEDIDA DE CONTENÇÃO

4.1 - Problemática da Nomenclatura

O estabelecimento de uma nomenclatura de referência é sempre uma tarefa complexa, não sendo excepção o tema da biorremediação. Podem ser adoptados diferentes termos para exprimir o mesmo aspecto, desde logo a própria designação deste domínio das ciências da engenharia e das técnicas associadas.

Segundo Schiechtl (1992) o conceito "*Ingenieurbiologie*" refere-se ao conjunto de técnicas e métodos de engenharia, baseadas não apenas na consideração de aspectos técnicos, mas também na observância das regras biológicas e na utilização de funções ecológicas e materiais vivos.

Desenvolve objectivos tecnológicos, ecológicos, económicos e estéticos e procura atingir esses objectivos recorrendo primeiramente a materiais vivos (sementes, plantas, partes de plantas e comunidades vegetais) e a geossintéticos.

Posteriormente decidiu-se adoptar o nome Engenharia Natural por ser mais facilmente perceptível e para entrar em consonância com o termo usado em Itália "Ingegneria Naturalistica", em Espanha chamam-lhe "Ingenieria del Paisaje", não havendo assim, consenso entre os países.

Segundo Freitas, A., (2006), o termo mais correcto não é "Engenharia Natural", uma vez que alguns dos materiais usados nesta área não são naturais. O termo que estaria mais correcto seria "Bioengenharia de Solos", tal como os norte-americanos e ingleses utilizam.

Inicialmente as técnicas desenvolvidas eram conhecidas por Técnicas de Engenharia Biofísica (TEB). No entanto, neste trabalho será adoptada a designação de Engenharia Natural, e Técnicas de Engenharia Natural (TEN) uma vez que são os termos estabelecidos em Portugal.

4.2 - Domínio de aplicação das TEN

Os métodos construtivos de Engenharia Natural podem ser aplicados em todos os locais onde as plantas utilizadas como materiais de construção se possam instalar e desenvolver adequadamente. Esse é o caso dos trópicos, sub trópicos e zonas temperadas. As zonas secas e frias, ou seja, as zonas áridas, semi-áridas e glaciais constituem fronteiras claras, nestas condições climáticas, a carência hídrica existente pode em certas situações ser compensada por irrigação. Na Europa os limites de aridez podem ocorrer ocasionalmente na zona mediterrânica, sendo muito mais frequentes nas zonas alpina e ártica. Estes limites são normalmente reconhecíveis nas linhas limites do crescimento de lenhosas (florestas, árvores ou arbustos) e no limite superior do desenvolvimento denso de herbáceas. Quanto mais pobre em espécies é uma região, mais limitada é a possibilidade de aplicação de técnicas construtivas de Engenharia Natural.

4.2.1 - Funções e Efeitos das Técnicas

De acordo com Venti *et al.* (2003), a finalidade das medidas construtivas de Engenharia Natural tem por base o cumprimento de determinados objectivos, quer sejam tecnológicos, ecológico, económicos ou estéticos, sendo a seguir discriminados.

Objectivos Tecnológicos

- protecção da superfície do solo relativamente à acção erosiva do vento, da precipitação, do gelo e do escoamento hídrico;
- prevenção ou contenção de forças mecânicas destrutivas;
- redução da velocidade do fluxo ao longo do talude;
- aumento da coesão superficial e profunda do solo e sua estabilização;
- drenagem;
- promoção da deposição de areia e outros sedimentos;

- funções ecológicas, em particular aquelas omissas ou muito parcialmente preenchidas pelas intervenções clássicas de engenharia civil.

Objectivos Ecológicos

- melhoria do regime hídrico por melhoria da interceptação, infiltração e capacidade de retenção hídrica, assim como consumo pela vegetação;
- drenagem do solo;
- protecção contra poluentes atmosféricos;
- melhoria do balanço de nutrientes do solo e aumento da fertilidade de solos incipientes ou de substratos inertes;
- promoção das condições mecânicas do solo através das raízes;
- reposição das condições naturais através da implementação de vegetação autóctone;
- incremento da biodiversidade.

Os efeitos económicos da aplicação destas técnicas são designadamente:

- menores custos de construção (reaproveitamento de materiais);
- menores custos de manutenção e recuperação;
- criação de áreas verdes úteis.

Em termos da função estética os principais aspectos são nomeadamente:

- ocultação de estruturas ofensivas e restauração da paisagem afectada por catástrofes naturais ou intervenções humanas;
- integração de estruturas na paisagem;
- enriquecimento da paisagem através da criação de novos elementos, estruturas, formas e cores da vegetação.

Após o enquadramento anterior é possível listar algumas vantagens e desvantagens da aplicação das Técnicas de Engenharia Natural (TEN) na estabilização e controlo de erosão de taludes de escavação, estas são apresentadas no quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Vantagens e desvantagens das TEM.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
- Baixo custo e reduzida manutenção a longo prazo relativamente às obras de engenharia convencionais;	- O período de construção é normalmente limitado à época de dormência vegetativa;
- Baixo nível de manutenção após a plena adaptação da vegetação às condições locais;	- A disponibilidade de plantas autóctones poderá ser limitada;
- Benefícios ambientais ao nível da criação de nichos ecológicos, melhorias na qualidade da água e de enquadramento na paisagem;	- Métodos de construção intensivos e especializados;
- Aumento das forças estabilizantes do solo, derivada do desenvolvimento contínuo das raízes.	- Dificuldade em encontrar operários familiarizados com os princípios construtivos das TEN, sendo necessário promover uma prévia formação.

A integração atempada de um especialista em engenharia natural no processo de planeamento, em especial de grandes projectos é de extrema importância, já que assim se poderão garantir reduções significativas dos custos, assim, como uma melhor integração da obra na paisagem.

Verifica-se, no entanto, que, de um modo geral, o recurso à engenharia natural tem ocorrido sobretudo na sequência de insucessos em que tinham sido adoptados métodos de estabilização habituais. Deverá consistir um dos objectivos do projecto que a obra se integre da melhor forma possível na paisagem e que não comprometa as funções ecológicas de determinado local. Para a prescrição deste objectivo é necessário fazer uma adequada caracterização das condições locais, incluindo a avaliação das características ecológicas.

4.3 - Tipos de Materiais Utilizados em Engenharia Natural

O resultado das intervenções no âmbito da engenharia natural consiste na génese de sistemas vivos que, através de um processo dinâmico de auto regulação e gestão natural sem gastos artificiais de energia, prossigam o seu desenvolvimento num quadro de equilíbrio dinâmico. Através da selecção correcta dos materiais construtivos vivos e inertes, assim como dos tipos de construção, obtém-se uma elevada sustentabilidade sem necessidade de grande manutenção.

De um modo geral, estas técnicas utilizadas na estabilização e controlo de erosão em taludes e escarpas, são baseadas em critérios mecânicos, biológicos e ecológicos, que se caracterizam pela utilização conjunta de materiais de construção vivos (plantas) e inertes (madeira, pedra, geossintéticos, etc.).

a) Materiais vivos

Os materiais construtivos considerados vivos são, plantas, sementes, partes de plantas e associações vegetais obtidas no local de construção ou na sua vizinhança imediata. De um modo geral são os mais adequados, uma vez que já estão adaptados às características locais. Torna-se por isso necessário determinar se durante a construção, parte da vegetação natural tem de ser removida e se esta pode ser reutilizada no processo construtivo. Os materiais vivos mais usados nas TEN são:

- estacarias arbustivas;
- plantas;
- sementes

b) Materiais inertes

São utilizados como preparação do terreno para a recepção das plantas (materiais vivos).

São usados numa série de TEN's e os mais comuns na construção deste tipo de obras são:

- madeira (troncos, barrotes e estacas);
- pedras;
- geossintéticos
- metais (barras de aço, pregos e arames);
- fibras (sintéticas e naturais).

Na figura 4.1 pode-se observar exemplos de materiais vivos e inertes aplicados nas Técnicas de Engenharia Natural.

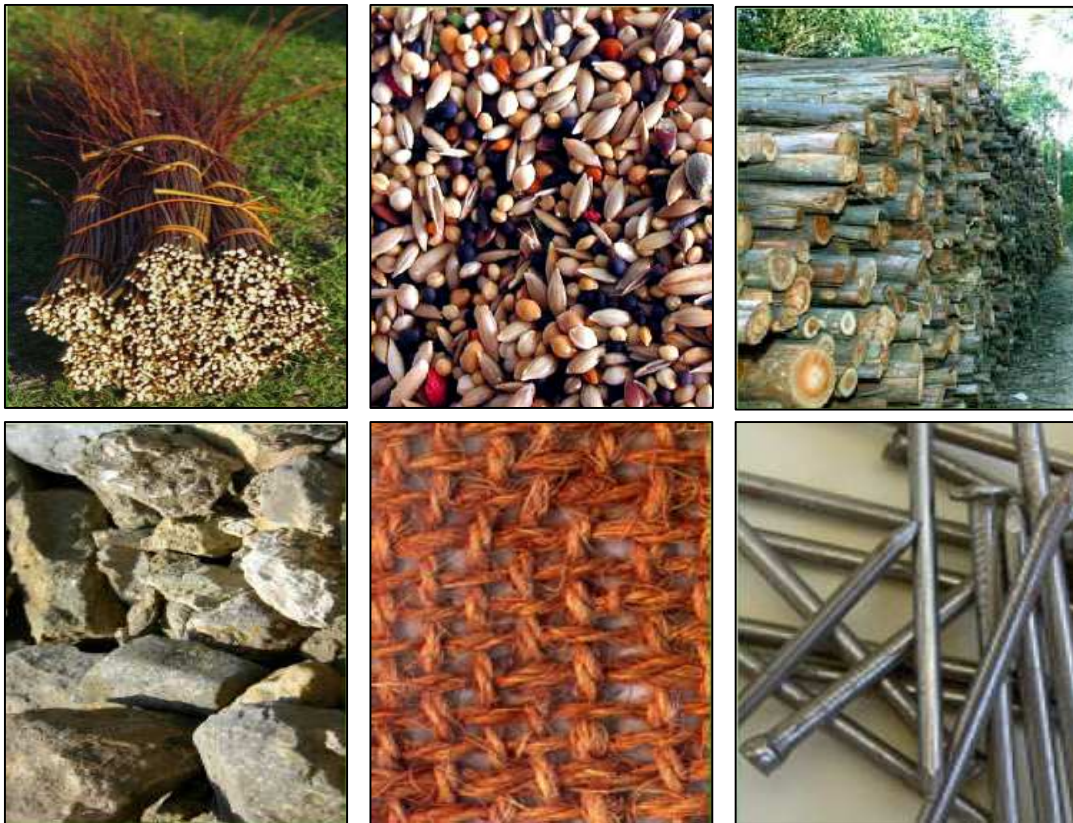


Figura 4.1 – Alguns exemplos de materiais vivos e inertes aplicados nas TEN.

Devido à importância e à diversidade dos tipos de plantas e de geossintéticos, estes serão abordados nos subcapítulos seguintes.

4.3.1 - Papel da Vegetação

Uma estrutura vegetal completa é constituída por plantas de diferentes estratos vegetais: estrato *muscíneo* (musgos), *herbáceo* (ervas, plantas com caule maleável), *arbustivo* (arbustos, plantas lenhosas de baixo porte) e *arbóreo* (árvores, plantas lenhosas de grande porte). No entanto é raro, indivíduos de todos os estratos ocorrerem em simultâneo, tanto devido à acção antrópica, por meio de fogo, pastoreio ou desbastes, como pela própria natureza, através de competição entre espécies ou degradação dos solos.

A vegetação influencia a estabilidade dos solos de diversas formas e os benefícios dessa estabilidade dependem tanto do tipo de vegetação como do tipo de processo de degradação actuante. Uma cobertura densa com plantas herbáceas e/ou arbustivas é uma das melhores protecções contra erosão superficial por acção da chuva ou do vento (Florineth e Molon, 2004).

A presença de raízes no solo é um excelente método estabilizante, uma vez que provoca uma modificação na hidrologia do terreno por diminuição da humidade do solo através da evapotranspiração. Neste processo são libertadas pelas raízes algumas substâncias que provocam a agregação dos solos, aumentando a coesão das partículas (Florineth e Molon, 2004).

O movimento dos invertebrados contribui ainda para uma maior permeabilidade à água e ao ar, favorecendo uma percolação mais rápida da água através das diferentes camadas de solo. Assim reduzem-se as zonas de retenção de água nos estratos superficiais do terreno, mais susceptíveis a movimentos de terra peliculares.

A exposição de taludes por remoção da vegetação potencia os efeitos de erosão e de instabilização a que o mesmo irá ficar sujeito. Deste modo, a selecção e aplicação correcta de espécies vegetais, conduz a uma maximização dos aspectos positivos anteriormente referidos.

4.3.1.1 - Efeitos benéficos

A vegetação tem um efeito estabilizador, designadamente por interceptar a água das chuvas nas folhas, o que reduz a erosão na superfície do solo e diminui a possibilidade de destacamento de partículas originado pelo impacto directo das gotas de chuva no solo.

Outro efeito prende-se com a evapotranspiração, processo pelo qual as raízes retiram água do solo diminuindo a possibilidade de ocorrência de pressões intersticiais nos seus vazios.

Por intermédio do desenvolvimento do sistema radicular, as plantas poderão ancorar-se a substratos mais estáveis, estabilizando o solo. A eficácia da estabilização por intermédio do desenvolvimento de raízes é directamente proporcional à idade do sistema em causa, (Schiechtl, 1991).

4.3.1.2 - Efeitos negativos

Existem situações em que o facto de se utilizar plantas como meio de protecção, pode dar origem a efeitos contrários aos pretendidos.

O principal mecanismo destabilizante é provavelmente o efeito do vento na vegetação, podendo, por acção mecânica das raízes no maciço, originar instabilidades pontuais no talude.

Se por um lado a presença de vegetação lenhosa, pelo seu desenvolvimento (aumento de carga externa), contribui para a estabilidade do talude, por outro este aumento de carga pode atingir valores que o próprio talude não consiga suportar, tornando-se, deste modo, num efeito adverso.

A diminuição da humidade do solo, e no limite o seu esgotamento, constitui um efeito extremamente importante, porque nestas condições deixam de existir condições que asseguram a sobrevivência das plantas. É ainda de referir que o crescimento das raízes em taludes rochosos desloca blocos e promove a abertura de fracturas pré-existentes no maciço, concorrendo para a sua instabilização.

4.3.1.3 - Raízes e suas funcionalidades

A parte radicular da vegetação tem um papel muito importante, não só na sustentação e na alimentação das próprias plantas, como também na agregação dos solos. É de notar que diferentes morfologias do sistema radicular, com distintas funcionalidades, beneficiam as plantas de diversas formas. As raízes de maiores dimensões, com maior diâmetro, conferem maior estabilidade, enquanto que as de menor diâmetro têm a capacidade de captar água nos interstícios dos solos, conferindo-lhes um maior grau de agregação.

O sistema radicular das plantas é geralmente menos conhecido que o sistema aéreo, devido às dificuldades existentes no seu estudo. As espécies arbóreas são as que se encontram estudadas com maior pormenor (Schiechtl, 1991), devendo estes estudos ser igualmente desenvolvidos em arbustos e herbáceas (Florineth e Molon, 2004), de modo a conhecer melhor a estrutura, funcionalidade e contributo, que cada espécie possa ter, na , estabilização de taludes.

A vegetação afecta a estabilidade dos solos por intermédio das raízes, principalmente pelo aumento da resistência de corte e da coesão das partículas. O incremento da resistência de corte depende da tensão exercida pelas e sobre as raízes, bem como das propriedades da interface das próprias raízes com o solo e da concentração destas no mesmo.

As raízes e a sua arquitectura são governadas tanto pela genética, variando de espécie para espécie, como pelas características locais (Gray e Sotir, 1996). Assim, é necessário compreender as características locais, de forma a escolher mais acertadamente as espécies vegetais a implementar para a obtenção de uma estabilização mais efectiva.

4.3.1.4 - Classificação da estrutura e terminologia

Numa mesma planta existem diferentes tipos de raízes, sendo cada um deles caracterizado por uma função e localização distinta no sistema radicular.

Segundo Gray e Sotir (1996), podem-se distinguir três tipos diferentes de raízes: a raiz central (*Tap Root*), as raízes secundárias (*Lateral Root*) e ainda as de terceira ordem (*Sinker Root*), (Figura 4.2). A raiz central está localizada directamente debaixo do tronco da árvore, com função penetrante. As raízes secundárias crescem da raiz central com

uma direcção radial. Por sua vez, as raízes de terceira ordem, são as de menor dimensão e desenvolvem-se com uma direcção vertical, a partir tanto da raiz principal vertical como das secundárias laterais. Pela sua reduzida dimensão, estas últimas têm a capacidade de explorar os interstícios do solo, captando a humidade neles existente.

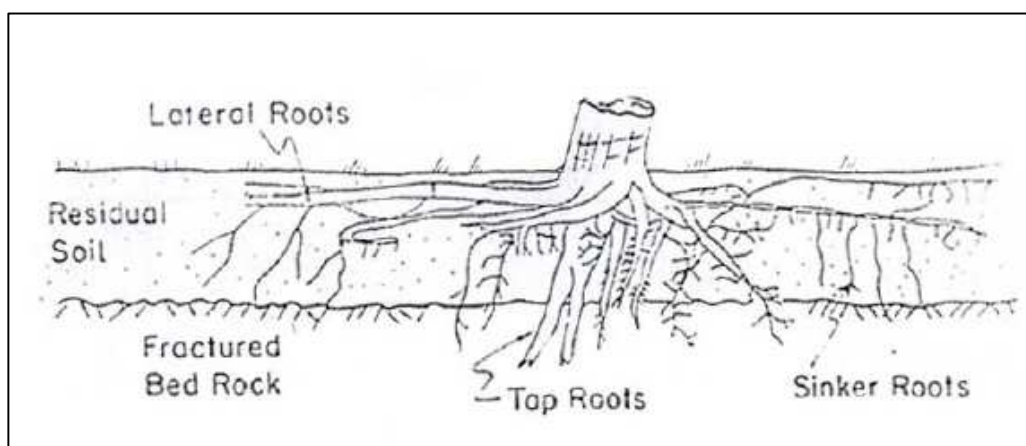


Figura 4.2 – Esquema representativo da morfologia de uma raiz, (adaptado de Gray e Sotir, 1996).

4.3.1.5 - Desenvolvimento do sistema radicular

Enquanto as raízes centrais (*tap root*) são profundamente penetrantes, as de menor dimensão (*sinker root*) aumentam a resistência a pequenos deslizamentos.

Para uma mesma espécie vegetal, a distribuição das raízes é fortemente influenciada pelas propriedades físicas do solo, sobretudo pela densidade aparente e estabilidade estrutural (Menegazzi e Aillaud, 2004).

Segundo Gray e Sotir (1996), o sistema radicular desenvolve-se mais amplamente e profundamente em solos bem drenados. Habitualmente, os horizontes superficiais caracterizam-se por apresentarem maior porosidade que os subjacentes, o que facilita a infiltração da água e a oxigenação do solo. O reforço mecânico ou influência na estabilização, tanto do solo como das próprias plantas pelas raízes. Tal é devido aos teores de oxigénio, pois este é um factor limitante, levando a que a maior concentração de

raízes se encontre à superfície, diminuindo essa concentração com o aumento de profundidade.

Durante um período de seca, são os horizontes superficiais que perdem o seu conteúdo em água mais rapidamente, sendo as raízes que colonizaram os horizontes mais profundos a assumirem um papel preponderante na nutrição da planta.

4.3.2 - Geossintéticos como Materiais Inertes

Os geossintéticos são produtos manufacturados, obtidos a partir de materiais poliméricos ficando em contacto com o solo, rocha e/ou outro material utilizado nas obras de engenharia civil como uma parte integral de um projecto, estrutura ou sistema (Shukla & Yin, 2006). Estes elementos de construção são relativamente recentes e a sua aplicação teve um incremento extraordinário. As suas propriedades contribuem para a melhoria das obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais das funções presentes no quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Diferentes funções dos geossintéticos nas obras geotécnicas (adaptado de Shukla & Yin, 2006)

Funções	Definição
Separação	Acção de impedir a mistura ou interacção de materiais adjacentes.
Impermeabilização	Acção de bloqueio ou desvio de fluidos.
Drenagem	Acção de condução de um fluído pelo corpo de um geossintético.
Filtração	Acção de retenção de um solo ou de outras partículas, permitindo a passagem livre do fluído em movimento.
Reforço	Acção de melhoria do comportamento mecânico de uma estrutura geotécnica, com a utilização das propriedades mecânicas dos geossintéticos
Protecção	Acção de limitação ou prevenção de danos a elementos de obras geotécnicas.
Controlo da erosão superficial	Acção de prevenção da erosão de solos ou rochas.

Os geossintéticos surgiram como resposta a vários problemas da Engenharia Civil, tais como a estabilização e reforço de solos moles, drenagem de solos e impermeabilização de, por exemplo, reservatórios de água ou depósitos de produtos contaminantes. Os materiais sintéticos ao serem fabricados industrialmente poderão sofrer modificações das suas propriedades físicas e químicas, que visam otimizar as suas características no sentido de dar uma melhor resposta às aplicações para as quais são solicitadas.

4.3.2.1 - Tipos de geossintéticos

Existem vários tipos de geossintéticos com diferentes funções e composições, (IGS, 2000.) Em seguida faz-se uma breve descrição dos diferentes tipos de geossintéticos existentes, bem como uma relação do tipo com a respectiva função nas TEN's.

a) Geotêxteis

Denomina-se geotêxtil um produto têxtil bidimensional permeável, composto de fibras cortadas, filamentos contínuos, mono filamentos, laminas ou fios, formando uma estrutura tecida, não tecida ou tricotada, cujas propriedades mecânicas e hidráulicas permitem que desempenhe várias funções numa obra geotécnica, nomeadamente, separar, drenar, filtrar, proteger e reforçar. As características de um geotêxtil dependem fundamentalmente da natureza e das propriedades intrínsecas da matéria constituinte das fibras do geotêxtil e do modo como essas fibras se combinam entre si. É económico, leve e de fácil aplicação, apresentando grande resistência à tracção. As principais causas de degradação dos geotêxteis prendem-se com a sua exposição aos raios ultravioletas, e com os efeitos decorrentes da poluição do solo ou da atmosfera.

b) Geomembranas

Material planar, relativamente impermeável, de composição polimérico (sintética ou natural), usado em contacto com o solo, rocha, betão, etc. Têm como principal objectivo impermeabilizar um determinado meio. A escolha do tipo de geomembrana é função das solicitações químicas e mecânicas e da vida útil esperada para a obra. A geomembrana é um produto bidimensional, de baixíssima permeabilidade, composto predominantemente

por asfaltos, elastómeros, podendo ser utilizada quer face às solicitações em causa para o controlo de fluxo, quer para separação.

c) Geossintéticos de reforço

Dentro desta categoria temos vários tipos de geossintéticos, nomeadamente as geobarras que é um produto em forma de barra com função predominantemente de reforço, as geotiras que são produtos em forma de tira e as geogrelhas. Uma geogrelha é uma estrutura plana, polimérica, constituída por uma grelha aberta e regular de elementos resistentes à tracção, ligados entre si por colagem ou entrelaçamento, cujas aberturas têm dimensões superiores à grelha formada pelo elemento constituinte.

d) Geossintéticos para drenagem

Os geossintéticos para efeitos de drenagem são os **geoespaçadores** que são produtos com estrutura tridimensional construídos de forma a apresentar grande volume de vazios, sendo utilizados predominantemente como meio drenante. As **georedes** são produtos com estrutura em forma de grelha e têm uma função de drenagem. Estes produtos consistem em duas séries de elementos paralelos que se cruzam formando ângulos constantes; **geotubos**, produtos de forma tubular com função drenante.

e) Geomantas

Trata-se de um produto com estrutura tridimensional permeável, usado para controlo da erosão superficial dos solos, também conhecido como “biomanta” no caso de serem biodegradáveis. Uma das suas principais aplicações consiste na sua colocação sobre o solo para controlo temporário da erosão designadamente em taludes de composição arenosas e silto-arenosa em que a necessária protecção vegetal é reforçada com geomantas, visando o controlo da erosão originada pelo escoamento superficial.

f) Geocélulas

As geocélulas possuem uma estrutura tridimensional aberta, permeável, polimérica (sintética ou natural), alveolar ou similar, constituída por tiras de geossintéticos interligados. Estes materiais têm uma função de reforço e de controlo da erosão. Esta solução é largamente utilizada no revestimento de taludes.

g) Geocomposto

São produtos industriais constituídos pela sobreposição ou associação de um ou mais geossintéticos entre si, ou com outros produtos. Estes materiais são geralmente concebidos para desempenhar uma função específica.

4.4 - Legislação Italiana

No contexto normativo, verifica-se através da análise de diversa legislação italiana sobre as intervenções a efectuar na paisagem, que existem leis que apelam à necessidade de usar as Técnicas de Engenharia Natural. Outro aspecto muito importante prende-se com o facto de as intervenções de estabilização mais “tradicionais” poderem ser substituídas por obras de engenharia natural. Em Itália estas intervenções estão incluídas entre as actividades definidas como “obras públicas”.

Os principais aspectos normativos italianos referentes à Engenharia Natural a nível nacional, segundo Cornellini (2001) in Freitas, A. (2006), são os que se apresentam no quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Aspectos normativos italianos referentes à Engenharia Natural, segundo Cornellini (2001).

Data	Título	Objectivo Principal
Decreto Ministerial de 20 Agosto 1912	"APROVAÇÃO DAS NORMAS PARA APREPARAÇÃO DOS TRABALHOS DE SISTEMATIZAÇÃO HIDRÁULICA	Faz referência à fase onde se projectam as requalificações paisagísticas.
Lei de 18 Maio 1989 , nº183	"NORMAS PARA A SISTEMATIZAÇÃO ORGANIZATIVA E FUNCIONAL DA DEFESA DO SOLO"	Assegurar a sistematização, a conservação e a recuperação do solo nas bacias hidrográficas, com intervenções hidrogeológicas, hidráulicas, hidráulica-florestais, hidráulica-agrárias, silvo-pastoris, de florestação e de saneamento das águas, de defesa do solo, do uso e da gestão do património hídrico para os usos de racional desenvolvimento económico e social e a tutela dos aspectos ambientais.
Lei de 2 Maio 1990 , nº102	"DISPOSIÇÕES PARA A RECONSTRUÇÃO E O RENASCIMENTO DA <i>VALTELLINA</i> "	Primeira lei a nível nacional que apela à necessidade de usar técnicas de Engenharia Natural, embora na altura fosse chamada por Bioengenharia.
Decreto do Presidente da República de 14 Abril 1993	ACTO DE ENDEREÇO E COORDENAMENTO ÀS REGIÕES, DE CRITÉRIOS E MODALIDADES PARA A REDACÇÃO DOS PROGRAMAS DE MANUTENÇÃO HIDRÁULICA E FLORESTAL	Sublinha que deve ser feita particular atenção à conservação das associações vegetais e à renaturalização das margens das linhas de água e recomenda, onde seja possível, a substituição de algumas obras com "tecnologia de Engenharia Ambiental.
Lei de 3 Agosto 1998 , nº267, (conversão com modelo do D.L. 11/06/1998, nº180)	MEDIDAS URGENTES PARA A PREVENÇÃO DO RISCO HIDROLÓGICO E A FAVOR DAS ZONAS ATINGIDAS POR DESASTRES DE DESLIZAMENTOS DE TERRAS NA REGIÃO <i>CAMPANIA</i>	Determinação das posições e perímetros das zonas em potencial risco, instaurando medidas de protecção que previnam os deslizamentos de terras.

<p>Texto coordenado do Decreto-Lei de 11 Fevereiro 1994, nº 109</p>	<p>LEIQUADRO, COORDENADA COM AS MODIFICAÇÕES INTRODUZIDAS PELO DECRETO-LEI A.S. 2288 EM MATÉRIA DE OBRAS PÚBLICAS</p>	<p>Introduz a Engenharia Biofísica (Natural) entre as actividades definidas como “obras públicas</p>
---	---	--

4.5 - Técnicas de Engenharia Natural (TEN)

No caso específico de utilização em taludes, as TEN têm aplicação e situações de instabilidade pouco profundas em que não haja o envolvimento de massas de terreno de grande dimensão. O campo de aplicabilidade das TEN não se resume apenas a estabilização de taludes de escavação, sendo também utilizadas para estabilização de margens fluviais. Contudo, não se abordará a estabilização de margens de linhas de água, por não se enquadrar no âmbito mais específico deste trabalho.

As TEN's podem ser agrupadas em termos de técnicas de revestimento, estabilização e consolidação.

a. Técnicas de Revestimento

- sementeira e hidrosementeira;
- manta orgânica;
- geotêxteis.

b. Técnicas de Estabilização

- paliçada viva;
- entrançado vivo;
- faixa de vegetação.

c. Técnicas de Consolidação

- muro de suporte vivo;
- grade viva.

4.5.1 - Sementeira e Hidrosementeira

De acordo com a AIPIN (2002), a sementeira (*semina*) promove o revestimento e consolidação de superfícies em erosão, obtido mediante uma distribuição manual de uma mistura de sementes de espécies herbáceas adequadas às condições climáticas e biológicas da área de intervenção. A mistura de sementes a aplicar, numa quantidade variável de 30 a 100 g/m², é composta por sementes de gramíneas e leguminosas. Depois de se lançarem as sementes ao solo, estas devem ser ligeiramente recobertas com terreno. A sementeira deverá ser efectuada no período de actividade vegetativa, tendo o cuidado de proceder posteriormente a irrigações, adubações e cortes periódicos.

De acordo com a AIPIN (2002), a hidrosementeira (*idrosemina*) é uma técnica que promove o revestimento fácil e rápido de superfícies em erosão com espécies herbáceas, obtido mediante a distribuição com meios mecânicos de uma mistura de sementes e água. Esta técnica é utilizada frequentemente como um complemento a outros tipos de obras estabilizantes, (Figuras 4.3 e 4.4).



Figura 4.3 – Fotografia de aplicação de hidrosementeira sobre uma grade viva.



Figura 4.4 – Fotografia de hidrossementeira após crescimento das espécies vegetais.

4.5.2 - Manta Orgânica

Existem vários tipos de mantas orgânicas mas geralmente são constituídas por uma malha geossintética leve de reforço, e conforme a aplicação, têm inclusões de fibras de origem vegetal, tais como palha, juta e fibra de coco. Pode ser utilizada de forma singular ou conjuntamente com a aplicação de hidrossementeira na protecção superficial de taludes. Protege os taludes contra a erosão eólica e hidráulica e melhora o aspecto paisagístico.

São comercializadas em rolos (Figura 4.5) e para a sua instalação, é necessário regularizar o terreno. Eliminadas as saliências, abre-se uma trincheira de cerca de 15 cm de profundidade, onde se introduz o início do rolo da manta orgânica. Desenrolam-se as mantas, sem esticar, procurando que fiquem em contacto com o solo, a fim de facilitar o crescimento das plantas através da manta, (Figura 4.6). Sobrepõem-se as mantas lateralmente cerca de 10 cm desde o princípio até ao final.



Figura 4.5 – Fotografia de rolos de diferentes tipos de mantas orgânicas.








Figura 4.6 – Aplicação de manta orgânica num talude.

As vantagens da aplicação de mantas orgânicas são:

- absorção da energia cinética produzida por partículas erosiva;
- aumento da capacidade de retenção de água no solo;
- material biodegradável que ao se decompor aumenta a fertilidade do terreno;
- regulação da temperatura do solo;

A composição da manta orgânica assim como o tipo de grampo de fixação são seleccionados, tendo em conta o tipo de solo e inclinação do talude, (Quadro 4.4).

Quadro 4.4 – Quadro de correlação entre o tipo de manta orgânica e o tipo de talude.

		Inclinação do Talude		
Altura do Talude	3:1	2:1	1:1	
5 metros	S	SE; SK; K; E	SK; SE	
25 metros	S	SE; SK; K; E	SE; SK; K; E	
40 metros	SE; SK	K; E	K; E	
> 40 metros	K; E	K; E	K; E	
Legenda				
S – 100% Palha	E – 100% Esparto	K – 100% Fibra de coco	S/E – 50% Palha 50% Esparto	S/K – 50% Palha 50% Coco
				

4.5.3 - Geotêxteis

Os geotêxteis são um produto cujas propriedades mecânicas e hidráulicas permitem que desempenhe várias funções, nomeadamente de separação, drenagem, filtração, protecção e reforço. É composto por feltro de fibras de polyester ou polipropileno, é económico, leve e de fácil aplicação, apresentando grande resistência à tracção. A aplicação é sensivelmente igual à de uma manta orgânica.

Existem 3 tipos de geotêxtil:

- geotêxtil anti-ervas – geotêxtil de fibras protege o solo evitando o crescimento de infestantes. É utilizado previamente sob o revestimento do solo com inertes ou manta orgânica biodegradável;
- geotêxtil tecido – estrutura de tecido de malhas planas, ortogonais e fechadas a base de filamentos e fibras de polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida, são aplicados com função de filtro, separação e reforço, (Figura 4.7 A);
- geotêxtil não tecido – mantas permeáveis de filamentos sintéticos principalmente de poliéster distribuídos aleatoriamente, sendo aplicados com função de separação, filtro, drenagem, reforço e protecção. Para obras hidráulicas, viárias, ferroviárias, de protecção do meio ambiente, controlo da erosão, repavimentação asfáltica (Figura 4.7 B).

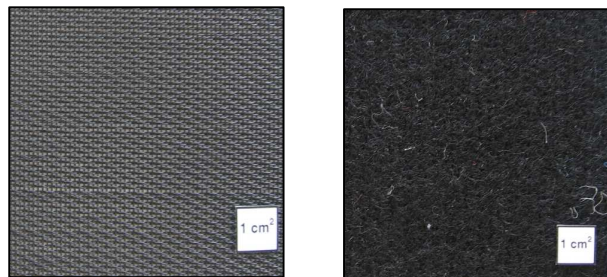


Figura 4.7 – Fotografias de geotexteis. A – Geotêxtil Tecido. B – Geotêxtil não tecido.

4.5.4 - *Paliçada Viva*

A paliçada viva (*palizzata viva*) é uma estrutura viva transversal aplicada em taludes de substratos arenosos e/ou argilosos. Cravam-se as estacas vivas verticalmente, ao lado umas das outras estabelecendo-se uma fila. Cada uma das estacas deve ser enterrada no solo, a uma profundidade mínima de 1/3 do seu comprimento. Procede-se à sua união através de estacas horizontais de espécies lenhosas com capacidades vegetativas, (Figura 4.8).

A disposição em socalcos diminui a inclinação do talude e reduz a erosão provocada pela escorrência das águas superficiais, por redução da velocidade e consequentemente de

energia e capacidade de transporte das águas de escorrência que removem as camadas superficiais do substrato que estejam soltas . O próprio material vegetal vivo, uma vez enraizado e desenvolvido, vai ajudar na consolidação e contenção dessas mesmas terras.



Figura 4.8 – Fotografia de uma obra da técnica do tipo paliçada viva.

Segundo Ferrari, R. (2000), esta técnica consiste na sobreposição de troncos horizontais apoiados em troncos verticais, servindo assim de suporte ao terreno, usando pouco material para a construção, apenas estacas vivas com diâmetro de 8-20 cm e comprimento entre 1-3 m, estacas para fixação e arame, (Figura 4.9).

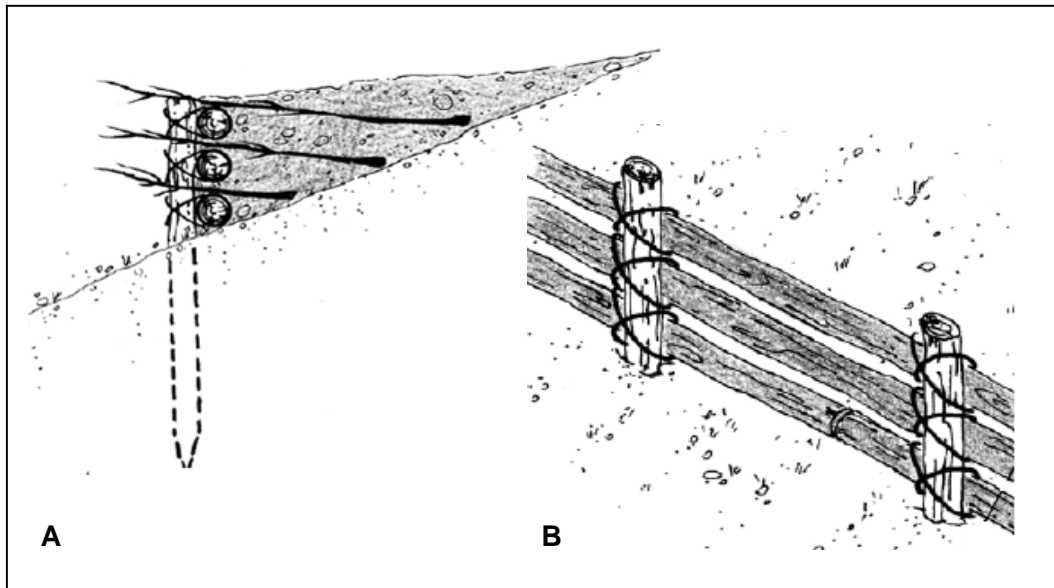


Figura 4.9 – Esquema ilustrativo de uma obra do tipo paliçada viva. A – Vista transversal. B – Vista frontal. (adaptado de Ferrari, R., 2000, volume 15).

Segundo Venti *et al.* (2003), as vantagens que uma obra deste tipo apresenta são as seguintes:

- rápida execução;
- efeito anti-erosivo;
- exerce uma função de detenção imediata;
- boa capacidade de adaptação à morfologia;
- custos reduzidos.

Segundo Venti *et al.* (2003), as desvantagens que uma obra deste tipo apresenta são designadamente:

- contenção em profundidade limitada;
- necessidade de uma grande quantidade de material vivo;
- necessidade de condições favoráveis ao crescimento das espécies.

Este tipo de intervenção deve ser executado durante o período de repouso vegetativo. No que diz respeito às operações de manutenção, é necessário proceder periodicamente ao corte da vegetação, sendo este um dos parâmetros importantes a ter em conta aquando da selecção das espécies a adoptar em determinada obra.

4.5.5 - Entrançado Vivo

O entrançado vivo (*viminata*) trata-se de uma medida de estabilização de taludes onde se revela a necessidade de se proceder à retenção da camada superficial de solo. Aplicação desta medida tem como objectivo a consolidação imediata do solo em profundidade, derivado da actuação de movimentos na zona sub-superficial do terreno. A sua eficácia é função inicialmente da profundidade a que se cravam as estacas e aumenta com a acção de enraizamento e consequente consolidação do solo.

Esta técnica consiste na cravação das estacas no solo a uma distância de cerca de 50 a 100 cm. Em seguida, entre as estacas, procede-se ao entrançar de ramos vivos, cuja extremidade mais grossa é introduzida no mínimo 20 cm no solo. Por último, procede-se ao enchimento dos entrançados com terra vegetal para que não sequem, (Figuras 4.10, 4.11 e 4.12).



Figura 4.10 – Fotografia da técnica do tipo entrançado vivo.

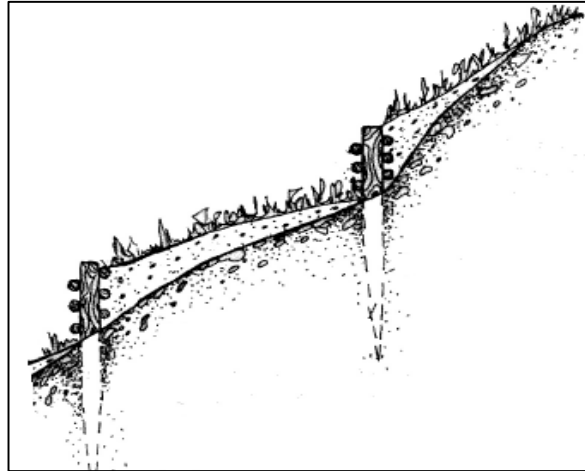


Figura 4.11 – Esquema ilustrativo da técnica do tipo entrançado vivo, vista transversal (adaptado de Venti *et al.*, 2003).

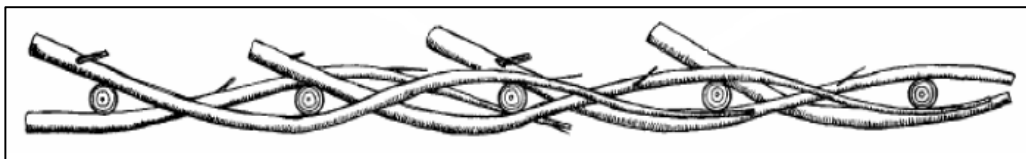


Figura 4.12 – Esquema ilustrativo da técnica do tipo entrançado vivo, vista superior, (adaptado de Ferrari, R., 2000, volume 3).

Segundo Ferrari, R. (2000) na técnica do tipo entrançado vivo, são utilizadas estacas mortas, estacas e ramos vivos (comprimento min. 0,5-1,0 m), ramos flexíveis de espécies com capacidade de enraizamento (comprimento min. 150 cm), terra para enchimento e eventualmente entrançados pré-fabricados.

Esta obra deve ser executada no início do período de repouso vegetativo.

Segundo Venti *et al.* (2003), as vantagens que uma obra deste tipo apresenta são:

- contenção imediata do material;
- aplicável em qualquer morfologia de talude.

Segundo Venti *et al.* (2003), as desvantagens que uma obra deste tipo apresenta são as seguintes:

- execução muito demorada e requer uma quantidade de mão de obra elevada;
- indisponibilidade, por vezes, de utilizar hastes longas e elásticas passíveis de serem enraçadas;
- o enraçamento é modesto (superficial) em comparação com a quantidade de materiais utilizados;
- técnica não compatível de ser adoptada em terrenos de granulometria grosseira;
- requer cuidadosa manutenção.

Habitualmente necessita de operações de manutenção nos primeiros meses após a construção (AIPIN, 2002). Após este período, estas operações passam a ter um carácter plurianual devendo-se verificar o enraçamento das estacas, procedendo à sua substituição quando estiverem danificadas.

Venti *et al.*, (2003), considera que esta técnica é menos eficaz comparativamente com outras técnicas estabilizadoras da engenharia natural.

4.5.6 - Faixas de Vegetação

A faixa de vegetação (*granonata viva*) é utilizada na estabilização dos níveis superficiais dos aludes, designadamente em situações onde ocorra a acumulação de material solto, em zonas de erosão, ou susceptíveis a deslizamentos superficiais de terrenos, o nível instável deverá situar-se a uma profundidade não superior a 1,5 m (AIPIN, 2002).

Baseia-se na escavação de valas perpendiculares à linha de máxima inclinação do talude, efectuadas através de uma escavação em contra inclinação. No seu interior são colocadas as plantas autóctones cujas raízes serão recobertas com terra de modo a formar densas filas de arbustos. Tem uma função de estabilização do talude do tipo mecânico, permitindo, ainda, o uso de algumas espécies vegetais (salgueiros, freixos) diminuir o grau de saturação dos terrenos, aumentando dessa forma as suas características resistentes, tornando-o mais estável, Venti *et al.* (2003).

Segundo a AIPIN (2002), as valas deverão ser escavadas com uma profundidade entre os 50-100 cm e com uma contra inclinação mínima de 10° . A distância entre as valas é variável consoante a inclinação do talude. AIPIN (2002) recomenda para inclinações inferiores a 20° e entre os 25° - 30° , distâncias entre valas de 2-3 m e 1-1,5 m, respectivamente (Figuras 4.13 e 4.14).

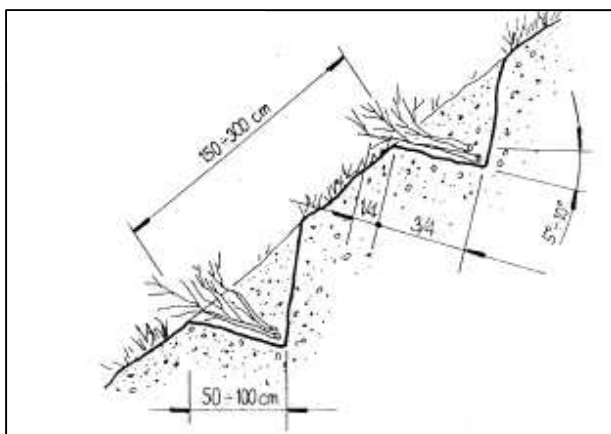


Figura 4.13 – Esquema ilustrativo da técnica faixa de vegetação (adaptado de Venti *et al.*, 2003).

A construção de uma faixa de vegetação requer segundo AIPIN (2002) os seguintes materiais:

- ramos com capacidade de propagação vegetativa, preferencialmente de salgueiro;
- barras de ferro;
- estacas de espécies arbustivas pioneiras, entre as quais se incluem as espécies: *Arbutus unedo*, *Colutea arborescens*, *Cytisus scoparius*, *Viburnum tinus*, *Spartium junceum*; estas estacas devem ter um comprimento entre 0,5 a 5 m e colocam-se numa densidade de 10 a 20 estacas por metro linear;
- hidrossementeira.

Segundo Venti *et al.* (2003), as vantagens que uma obra deste tipo apresenta são as seguintes:

- execução simples e rápida;
- consolidação em profundidade;
- permite diminuir a velocidade de fluxo das águas de escorrência superficial, reduzindo a erosão.

Segundo Venti *et al.* (2003), as desvantagens que uma obra deste tipo apresenta são as seguintes:

- requer quantidades elevadas de material vivo;
- crescimento lento das espécies vegetais como as latifólias quando utilizadas;
- eficácia reduzida em taludes com afloramentos rochosos ou com espessura de solo reduzida.

O período ideal para a realização da intervenção é durante o repouso vegetativo, embora em zonas montanhosas possa ser implementada até Abril. No caso de intervenções fora da época recomendada, é necessário o uso de irrigação adicional.

Nos anos sucessivos à intervenção pode ser além disso necessário a reintegração das plantações que falharam no enraizamento com novas colocações de plantas (AIPIN, 2002).



Figura 4.14 – Fotografias da técnica faixa de vegetação. A – Fase de construção. B – Aspecto final.

4.5.7 - Muro de Suporte Vivo

De acordo com a AIPIN (2002), o muro de suporte vivo (palificata viva) é uma técnica de estabilização de taludes, que se caracteriza por ser uma obra deformável e permeável. Esta técnica apresenta elevada versatilidade sendo possível de executar em condições adversas, designadamente em taludes em condições de estabilidade reduzida. Também pode servir como base de apoio à construção de uma grade viva. Este tipo de técnica aplica-se em taludes que apresentam um declive entre os 35° – 45°.

O muro de suporte vivo é uma construção em madeira constituída por uma estrutura em forma de caixa, formada por troncos de madeira dispostos perpendicularmente, com a instalação no seu interior de plantas ou estacas vegetativas. Durante o enchimento do muro com material drenante, são inseridas as estacas vivas ou as plantas lenhosas

enraizadas, (Figura 4.15). A sua realização é simples e permite um rápido consolidamento da área interessada (AIPIN, 2002).



Figura 4.15 – Várias fases de construção de um muro de suporte vivo.

Previamente ao início dos trabalhos de construção propriamente ditos, dever-se-á efectuar a preparação do terreno onde se irá implantar a obra, que consiste na limpeza do terreno com a remoção de eventuais detritos de rochas e vegetação.

Em seguida, procede-se à escavação do terreno onde se irá implantar a estrutura. A superfície de base deverá ser materializada com uma inclinação de cerca de 10-15° para o interior do maciço (Figura 4.15 – 1).

A construção do muro inicia-se com a colocação de duas filas de troncos paralelamente ao talude, sendo o seu posicionamento devidamente controlado e a solidarização entre troncos sucessivos assegurada através de pregos ou barras de ferro. Após se ter assente aquela primeira fila de troncos proceder-se à colocação de nova fila de troncos dispostos transversalmente à inicial, sendo os troncos das duas filas solidarizados, mais uma vez, com recurso a barras ou pregos de ferro.

Para se obter uma correcta solidarização é necessário perfurar completamente os troncos a fixar, dado que um furo parcial pode provocar ruptura ou fissuração dos mesmos. (Figura 4.16).

A construção do muro consiste na colocação de estratos sucessivos de troncos de madeira são colocados no lugar respectivo, repetindo o esquema anteriormente descrito, posicionando porém as diversas fileiras de troncos longitudinais em posição mais recuadas em relação à inferior, de modo a conferir à parte frontal uma inclinação de cerca de 30-50° necessária para garantir o crescimento das plantas. Durante as operações de escavação e de posicionamento da primeira fila de troncos fixados no talude, devem ser colocados troncos verticais com a função de tirante, sendo a sua fixação aos troncos transversais assegurada por pregos de ferro (Figura 4.17).

As diversas fileiras de troncos transversais poderão ser colocadas em posição desfasada entre elas. O posicionamento desfasado dos troncos transversais aumenta a estabilidade. Uma vez finalizada a estrutura em madeira procede-se ao seu preenchimento com inertes, provenientes da escavação realizada para a implantação daquela estrutura e com terreno vegetal.

Após estas operações procede-se à introdução das estacas vegetativas no muro de suporte vivo, colocadas nos interstícios existentes entre os troncos transversais, geralmente em posição estendida. As estacas deverão sobressair da parte frontal do muro de suporte vivo em cerca de 25 cm e atingir o terreno natural na parte posterior da estrutura.

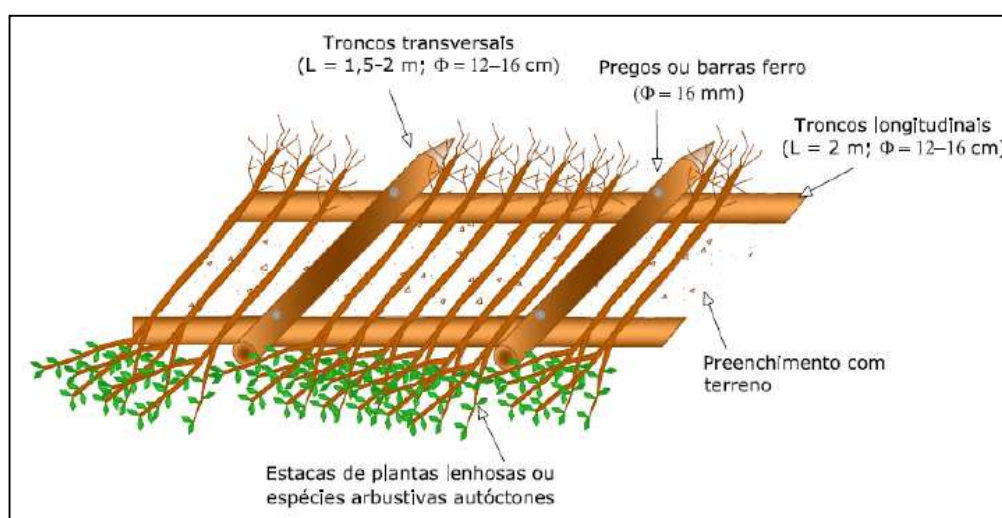


Figura 4.16 – Plano de colocação de base do muro de suporte vivo (Freitas, A., 2006).

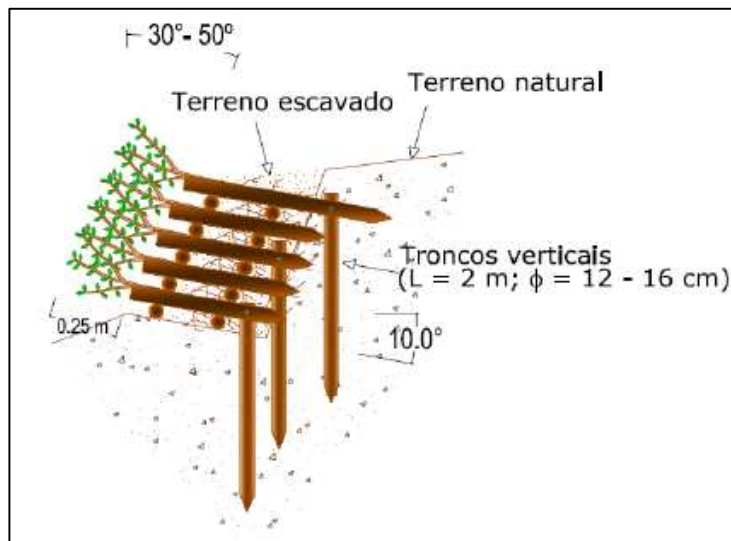


Figura 4.17 – Alçado transversal de um muro de suporte vivo (Freitas, A., 2006).

De acordo com Cornelini & Menegazzi, (2001) os materiais a usar na construção de um muro de suporte vivo consistem designadamente nos seguintes:

- troncos descascados de castanheiro com um diâmetro (\varnothing) entre 12-16 cm e comprimento (L) = 1,5 e 2 m;
- pregos ou barras de ferro de \varnothing 16 mm;
- preenchimento da estrutura com os terrenos escavados;
- estacas ou plantas lenhosas, e outras espécies arbustivas autóctones, dotadas de boa capacidade vegetativa, entre as quais se incluem as seguintes espécies: *Acer campestre*, *Colutea arborescens*, *Cornus sanguinea*, *Coronilla emerus*, *Corylus avellana*, *Crataegus monogyna*, *Euonymus europeaeus*, *Laburnum anagyroides*, *Ligustrum vulgare*, *Lonicera caprifolium*.

Segundo Venti *et al.*, (2003), as vantagens que uma obra deste tipo apresenta são as seguintes:

- estabilização imediata do talude;
- material vivo facilmente recolhido da zona de intervenção;
- as espécies vegetais têm uma função drenante, na medida em que a água necessária ao seu desenvolvimento é absorvida dos terrenos;
- custos de manutenção relativamente baixos;
- flexibilidade estrutural.

Segundo Venti *et al.*, (2003), as desvantagens que uma obra deste tipo apresenta são as seguintes:

- desenvolvimento em altura da obra relativamente limitado;
- recurso a meios mecânicos para execução das escavações.

Segundo a AIPIN (2002), a altura de um muro de suporte vivo é, geralmente, reduzida da ordem dos 1-1,5 m. Para o seu dimensionamento o muro de suporte vivo deverá ser considerado como uma obra de gravidade, constituída por madeira em cerca de 15-20% do seu volume.

Este tipo de obra deverá ser construído durante o período de repouso vegetativo das plantas porque nessa época do ano, a disponibilidade hídrica do solo será maior contribuindo esse factor para um bom desenvolvimento radicular. Em condições climáticas favoráveis as plantas em torrão podem ser transplantadas também durante o Verão, na condição de não serem danificadas durante a construção.

No que diz respeito às operações de manutenção, é necessário durante o primeiro ano proceder a numerosas visitas de inspecção de modo a verificar se ocorre um eventual descalçamento da obra. No caso de se verificar um forte crescimento dos caules lenhosos, torna-se necessário executar desbastes ao nível do terreno, de modo a

favorecer a formação das raízes. Deve-se efectuar ainda a substituição das estacas ou plantas que não enraizaram (AIPIN, 2002).

Nas figuras 4.18 e 4.19 apresentam-se alguns casos de obra, em Itália, em que se recorreu a este tipo de técnica.



Figura 4.18 – Fotografia de várias obras do tipo muro de suporte vivo realizado ao longo de um talude em Itália.



Figura 4.19 – Fotografia de uma obra do tipo muro de suporte vivo realizado ao longo de um talude numa estrada em Itália.

4.5.8 - Grade Viva

A grade viva (*grata viva*) é uma técnica de estabilização que pode ser adoptada em taludes e escarpas muito inclinados. Este tipo de obra consiste na colocação de troncos de madeira de castanheiro dispostos perpendicularmente entre si, de modo a criar uma estrutura reticular, que é posteriormente ancorada ao substrato. Toda a sua superfície é preenchida com terreno local, plantada com estacas vivas de espécies arbustivas autóctones e/ou arbustos em torrão. Com o tempo o desenvolvimento radicular das plantas acaba por constituir o processo de estabilização do talude, função anteriormente desempenhada pela estrutura morta.

Assim, a função primordial da grade é permitir/facilitar o desenvolvimento da vegetação em escarpas e taludes desprovidos de vegetação. Esta técnica é utilizada em obras de estabilização de níveis superficiais e subsuperficiais de taludes em condições de

estabilidade precária, em taludes escarpados, em zonas onde já ocorreram deslizamentos prévios e por condicionantes diversos não é possível a realização de obras de correcção geométrica, em taludes de infra-estruturas viárias e margens em erosão (AIPIN, 2002).

O efeito estabilizante da estrutura em madeira, uma vez apodrecida, será substituído pelo desenvolvimento do aparelho radicular (Venti *et al.*, 2003).

De acordo com a AIPIN (2002), esta técnica pode ser adoptada com sucesso na estabilização de níveis de terreno superficiais, estando a sua aplicação condicionada por aspectos associados à natureza do substrato e com a inclinação do talude.

Deste modo, altura máxima admissível para este tipo de obra é de cerca de 15 metros, sendo a sua construção possível em taludes com uma inclinação entre os 45°-55°, (Figuras 4.20, 4.21 e 4.22).

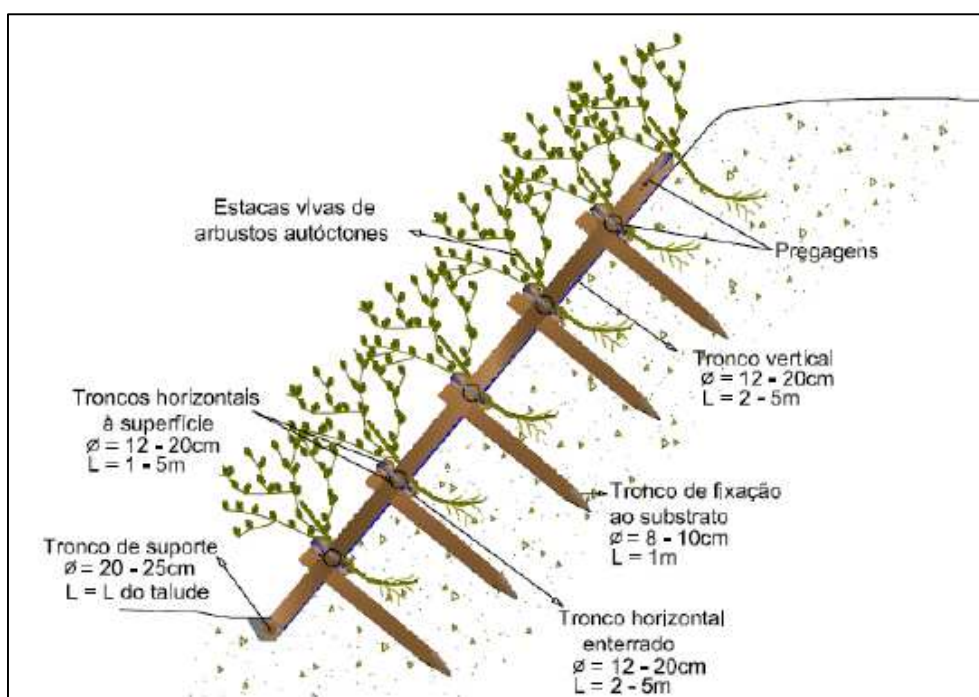


Figura 4.20 – Esquema do perfil de uma estrutura do tipo grade viva (Martinho, P., 2005).

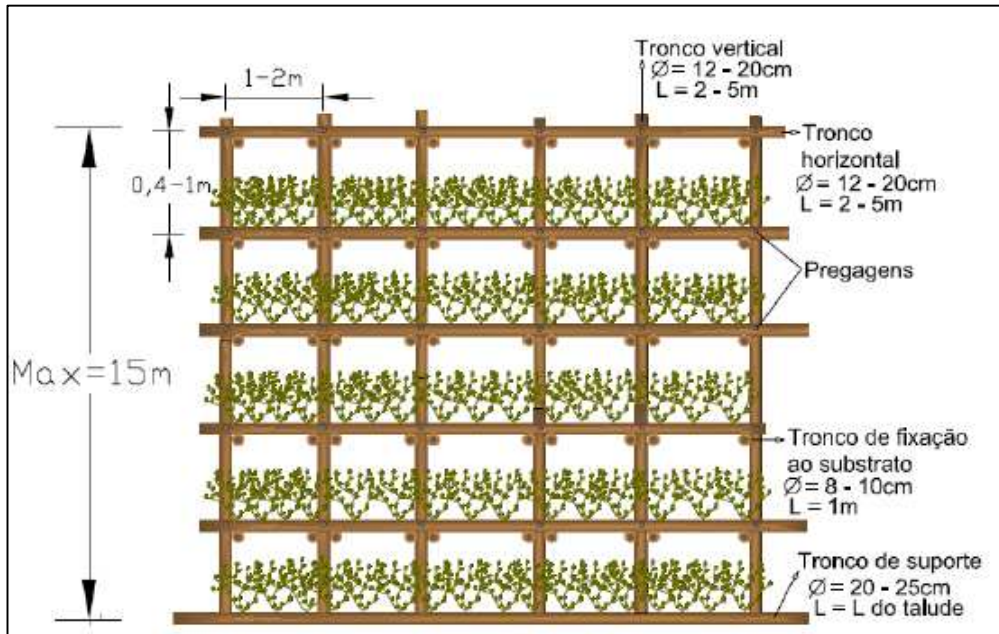


Figura 4.21 – Esquema da vista do alçado frontal de uma estrutura do tipo grade viva, (Martinho, P., 2005).

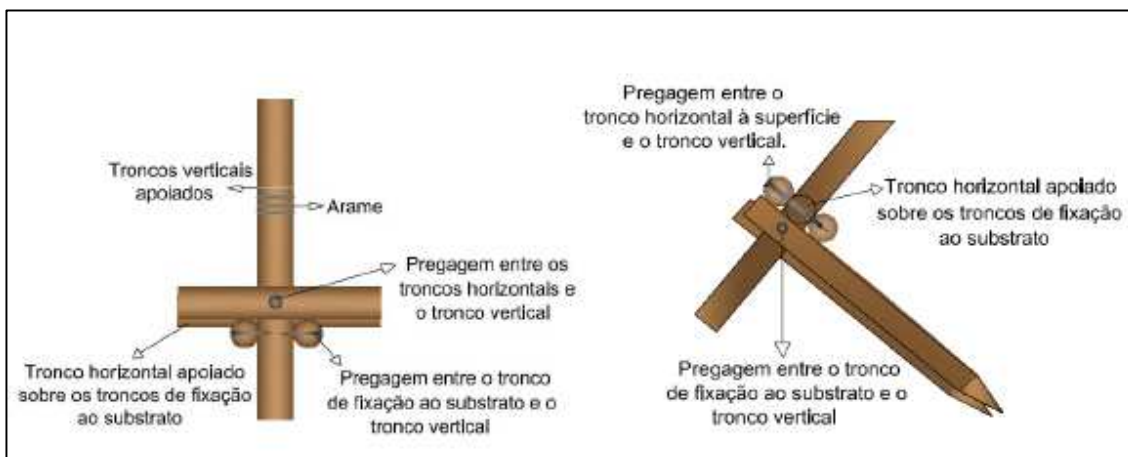


Figura 4.22 – Esquema do pormenor dos encaixes de uma construção do tipo grade viva, (Martinho, P., 2005).

Em termos de metodologia de construção, e após a preparação do terreno, os trabalhos iniciam-se pela materialização da base que sustentará a grade. Esta poderá consistir numa pequena vala longitudinal onde se coloca um tronco a servir de pé, num muro de suporte vivo ou num nível de enrocamento.

Após a construção da plataforma de base, procede-se à escavação de pequenas valas no talude, distando entre 0,4 a 1 m, onde são colocados os troncos horizontais enterrados, que ficarão cobertos com os terrenos provenientes da escavação das valas.

Em seguida colocam-se os troncos verticais sobre o declive, com um espaçamento entre si de 1 a 2 m, sobre os quais são fixos os troncos horizontais superficiais, de modo conjunto a materializarem a estrutura da grade. Os troncos com maiores diâmetros são colocados nas zonas mais próximas da base, sendo os de menor diâmetro, dispostos na parte superior do talude.

A construção da grade viva procede com a solidarização da estrutura com o terreno através de troncos e/ou pregos/barras de ferro, cravados no solo perpendicularmente à superfície do declive. O enchimento da grade deve ser efectuada com terreno local, à medida que se vão colocando as estacas de espécies arbustivas autóctones nas zonas imediatamente acima dos troncos horizontais. A restante área deve ser semeada e plantada com arbustos em torrão ou raiz nua, (Cornelini & Menegazzi, 2001). Na figura 4.23 vê-se uma construção do tipo grade viva já com alguns elementos vegetativos.



Figura 4.23 – Fotografia de uma construção da técnica grade viva.

De acordo com Cornellini & Menegazzi, (2001) os materiais a usar na construção de uma grade viva consistem nos seguintes:

- troncos mortos ou vivos (diâmetro (\varnothing) entre 8 - 25 cm e comprimento (L) entre 2 - 5 m);
- troncos horizontais e verticais (\varnothing entre 12 e 20 cm e L até 5 m);
- troncos de fixação ao substrato (\varnothing entre 8 e 10 cm e L de cerca de 1m);
- tronco de suporte (\varnothing entre 20 a 25 cm e L = L do talude);
- terreno local;
- pregos ou varas de aço com diâmetros até 16 mm e comprimento até 1m;
- arame de aço;
- estacas vivas de espécies arbustivas autóctones, se possível recolhidos na zona envolvente, com comprimentos susceptíveis de intersectarem eventuais superfícies de deslizamento relativamente superficiais;
- arbustos autóctones em torrão ou raiz nua;
- mistura de sementes adequada às condições locais.

Segundo (Venti *et al.*, 2003), as vantagens que uma obra deste tipo apresenta são as seguintes:

- estabilização imediata do talude;
- as operações de escavação e de preparação da plataforma de base do talude são reduzidas;
- o efeito de estabilização aumenta assim que as espécies vegetais inseridas começam a enraizar;
- as espécies vegetais desenvolvem uma função drenante dado que a água necessária ao seu desenvolvimento é absorvida do terreno;
- permite o desenvolvimento de vegetação em taludes com declives muito acentuados sem a necessidade de obras de reperfilamento;

- reutilização dos terrenos escavados como material de aterro;
- aplicação com sucesso em locais com condicionantes de espaço e logísticas importantes.

Segundo (Venti *et al.*, 2003), as desvantagens que uma obra deste tipo apresenta são as seguintes:

- execução longa e com custos elevados;
- as estacas vivas utilizadas devem ter um comprimento suficiente de modo a intersectarem a superfície de deslizamento;
- não é idónea sobre taludes com afloramentos rochosos.

A construção de uma estrutura do tipo grade viva deverá ser realizada durante o período de repouso vegetativo, incluindo os trabalhos de colocação das estacas e das plantas em torrão. As sementeiras poderão ser executadas durante o período vegetativo.

As operações de manutenção são mínimas quando a execução da intervenção não apresenta problemas importantes sendo apenas necessário proceder à substituição das estacas ou plantas que não consigam enraizar. De qualquer forma, convém proceder a visitas de inspeção nos primeiros meses após a construção, em que a acção dos agentes erosivos sobre o talude poderá ser mais gravosa dado que este ainda se encontra desprovido de vegetação. No caso de se verificar um forte crescimento dos caules lenhosos, torna-se necessário executar desbastes ao nível do terreno, de modo a favorecer a formação das raízes. Deve-se também inspeccionar as zonas onde a sementeira não obteve sucesso e reparar este aspecto através da plantação de mais estacas ou plantas enraizadas (AIPIN, 2002).

Na figura 4.24, está representada as diferentes fases de construção de uma obra do tipo grade viva, para contenção de uma encosta numa ribeira.



Figura 4.24 – Diferentes fases de construção de uma obra de engenharia natural do tipo grade viva, para contenção de uma encosta numa ribeira.

Nas figuras seguintes (4.25 a 4.27) são apresentadas algumas combinações de obras do tipo muro de suporte vivo associado a obras do tipo grade viva.



Figura 4.25 – Construção de uma grade viva sobre muro de suporte vivo, em Itália.



Figura 4.26 – Construção de uma grade viva sobre muro de suporte vivo, em Itália.



Figura 4.27 – Combinações de obras do tipo grade viva e muro de suporte vivo, em Itália.

4.6 - Análise comparativa das Técnicas de Engenharia Natural

Segundo a bibliografia consultada, verifica-se que geralmente, os custos de uma intervenção de engenharia natural, variam conforme as dimensões da técnica e a quantidade de material usado, dependendo também das características da zona de intervenção.

No quadro 4.5, apresentam-se as velocidades de execução e respectivos custos médios para as técnicas de engenharia natural anteriormente abordadas.

Quadro 4.5 – Velocidades de execução e respectivos custos médios para as TEN abordadas.

Técnica	Velocidade de Execução	Custo Médio
Paliçada Viva <i>“Palizzata viva”</i> <i>“Palisade construction”</i>	5 estacas/h (manual) 30 estacas/h, (máquinas)	5 - 10 euros/m
Entrançado Vivo <i>“Viminata viva”</i> <i>“Wattle fence”</i>	15 minutos /m	30 - 80 euros/m
Faixa de Vegetação <i>“Gradonata viva”</i> <i>“Brush layer”</i>	30 minutos/m	10 - 20 euros/m
Muro de Suporte Vivo <i>“Palificata viva”</i> <i>“Vegetated log cribwall”</i>	60 minutos/m ²	100 -250 euros/m ²
Grade Viva <i>“Grata viva”</i> <i>“Slope grid”</i>	30 minutos/m ²	100 - 300 euros/m ²

Apresenta-se ainda um quadro síntese (Quadro 4.6) com as características das principais técnicas de engenharia natural, anteriormente abordadas.

Quadro 4.6. – Síntese das características das principais TEN abordadas.

Técnica	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
Paliçada Viva	Taludes arenosos e ou argilosos. Diminui a inclinação do talude.	- rápida execução; - efeito anti-erosivo; - exerce uma função de detenção imediata; - boa capacidade de adaptação à morfologia; - custos reduzidos.	- contenção em profundidade limitada; - necessidade de uma grande quantidade de material vivo; - necessidade de condições favoráveis ao crescimento das espécies.
Entraçado Vivo	Estabilização de taludes onde exista a necessidade de retenção da camada superficial de solo.	- contenção imediata do material; - aplicável em qualquer morfologia de talude	- execução muito demorada e requer uma quantidade de mão de obra elevada; - indisponibilidade, por vezes, de utilizar hastes longas e elásticas passíveis de serem entrançadas; - o enraizamento é modesto (superficial) em comparação com a quantidade de materiais utilizados; - técnica não compatível de ser adoptada em terrenos de granulometria grosseira; - requer cuidadosa manutenção.
Faixas de Vegetação	Estabilizar superficialmente taludes, onde exista acumulação de material solto, em zonas de erosão e em risco de deslizamento de terras, com uma profundidade de horizonte de deslizamento não superior a 1,5 m.	- execução simples e rápida; - consolidação em profundidade; - permite diminuir a velocidade de fluxo das águas de escorrência superficial, reduzindo a erosão.	- requer quantidades elevadas de material vivo; - eficácia reduzida em taludes com afloramentos rochosos ou com espessura de solo reduzida
Muro de Suporte Vivo	Intervenções de consolidação de taludes sendo uma obra deformável e permeável, adapta-se bem a	- estabilização imediata do talude; - material vivo facilmente	- desenvolvimento em altura da obra relativamente limitado; - recurso a meios mecânicos para

	<p>intervenções sobre taludes instáveis.</p>	<p>recolhido da zona de intervenção;</p> <ul style="list-style-type: none"> - as espécies vegetais têm uma função drenante, na medida em que a água necessária ao seu desenvolvimento é absorvida dos terrenos; - custos de manutenção relativamente baixos; - flexibilidade estrutural. 	<p>execução das escavações.</p>
<p>Grade Viva</p>	<p>Estabilização de taludes e escarpas muito inclinados com substrato compacto em erosão.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - estabilização imediata do talude; - as operações de escavação e de preparação da plataforma de base do talude são reduzidas; - o efeito de estabilização aumenta assim que as espécies vegetais inseridas começam a enraizar; - as espécies vegetais desenvolvem uma função drenante dado que a água necessária ao seu desenvolvimento é absorvida do terreno; - permite o desenvolvimento de vegetação em taludes com declives muito acentuados sem a necessidade de obras de reperfilamento; - reutilização dos terrenos escavados como material de aterro; - aplicação com sucesso em locais com condicionantes de espaço e logísticas importantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - execução longa e com custos elevados; - as estacas vivas utilizadas devem ter um comprimento suficiente de modo a intersectarem a superfície de deslizamento; - não é idónea sobre taludes com afloramentos rochosos.

4.7 - Escolha do tipo de TEN mais adequado

Na maior parte das situações, o objectivo definido pode ser atingido através do recurso a diferentes tipos de construção. Devem ser escolhidas as intervenções da TEN que, de acordo com as condições ocorrentes no local permitam atingir melhor os objectivos definidos, utilizando os materiais vivos disponíveis mais apropriados e mais duradouros, exigindo a menor manutenção possível de modo a serem também os mais económicos.

A calendarização da obtenção do material vegetal bem como a orientação dos trabalhos de construção é da maior importância, uma vez que ambos não podem ser conduzidos com sucesso em qualquer estação do ano, mas apenas em determinadas épocas pré-definidas. Do mesmo modo, todos os trabalhos devem ser devidamente articulados com os trabalhos de movimentação de terras e de outras especialidades.

4.7.1 - Cuidado e Manutenção das TEN

É conhecido que a eficácia plena das construções de engenharia natural só é completamente atingida após o pleno desenvolvimento da vegetação, assegurando no início uma protecção relativamente reduzida. Para apoiar este desenvolvimento e reduzir deste modo o tempo necessário à plena eficácia da intervenção, são normalmente necessárias medidas de manutenção. Estas devem ser tanto mais intensivas quanto mais extremas são as condições de desenvolvimento das plantas.

No que diz respeito aos trabalhos de manutenção, estes compreendem todas as actividades necessárias à conservação da vegetação estabelecida, assim, como da sua eficácia técnica e ecológica. Quando se procede à adopção de soluções de engenharia natural optimizadas, bem como de plantas adaptáveis às condições ambientais do local da obra, é expectável não ser necessário proceder-se à realização de trabalhos de manutenção após o segundo ano.

Normalmente os trabalhos de manutenção são trabalhos da sua eficácia funcional e podem ser necessários em intervalos médios (3 a 10 anos), intervalos prolongados (superiores a 10 anos) ou então após acontecimentos como catástrofes naturais, fogos ou danos causados por terceiros.

Os trabalhos de manutenção podem incluir as seguintes actividades:

- prevenção dos danos causados pela fauna selvagem ou pelo gado;
- ceifa e transporte do material ceifado;
- pastoreio extensivo por espécies adequadas;
- cobertura do solo (com palhas) de plantações de lenhosas em particular em zonas áridas;
- irrigação;
- drenagem;
- melhoramento do solo através de adubação, arejamento ou movimentação;
- podas dos materiais lenhoso para remoção de partes mortas ou doentes, regeneração, redução da densidade e favorecimento de espécies preferenciais.

Em intervenções de engenharia natural de grande dimensão deve ser elaborado um projecto de manutenção para um período no mínimo da ordem dos 30 anos, onde sejam indicados os trabalhos a efectuar e a época do ano em que deverão ser obrigatoriamente ser executadas.

4.7.2 - Escolha da Vegetação

Na selecção da vegetação a aplicar numa intervenção, deverá existir o cuidado da escolha recair sobre a vegetação autóctone, uma vez que aquelas espécies estão mais adaptadas às condições existentes em determinado local. Excepcionalmente, poderá ser utilizada vegetação não autóctone, caso esta contribua com uma maior eficácia. Neste caso é necessário ter em atenção, que posteriormente e sempre que possível aquelas espécies possam ser facilmente substituídas pela vegetação autóctone.

A selecção de vegetação deverá ser a mais heterogénea possível, evitando-se a formação de comunidades de uma só espécie, que pouco contribuem para a dinâmica da vegetação. Assim, na selecção da vegetação a aplicar, deverão ser escolhidas plantas

que promovam a alternância de espécies, que possuam aparatos radiculares, com raízes superficiais e profundas de modo que o terreno fique com uma distribuição de raízes homogénea.

4.7.2.1 - Vegetação herbácea

Em condições normais, uma cobertura densa de vegetação herbácea confere uma boa protecção contra a escorrência superficial e erosão eólica (Gray e Sotir, 1996). Uma boa cobertura de herbáceas pode ser estabelecida tanto por sementeira, como por plantas com raízes desenvolvidas ou ainda tapetes de herbáceas.

Na sementeira, as misturas de sementes deverão incluir tanto herbáceas de germinação rápida, como herbáceas anuais. Esta mistura visa não só fornecer protecção a curto prazo, mas também no incluir herbáceas perenes de crescimento lento, que necessitam de mais algum tempo para se estabelecerem, obtendo uma protecção a longo prazo.

A mistura óptima depende do tipo de solo, do local, das condições climáticas e do objectivo que se pretende atingir.

4.7.2.2 - Vegetação arbustiva

Na escolha da vegetação arbustiva é importante ter em conta a cobertura que esta promove no solo, dimensão, tipo de fuste e as raízes que a planta desenvolve. Por exemplo, uma planta com um fuste denso e difuso como o *Cytisus scoparius*, reduz eficazmente a velocidade das gotas de chuva, minimizando os efeitos da erosão superficial no solo. Por apresentar grande flexibilidade do fuste, dissipa facilmente a tensão produzida sobre as raízes, por acção do vento, responsável pelo desenraizamento de plantas.

4.7.2.3 - Vegetação arbórea

Nas TEN, a utilização de vegetação arbórea é desaconselhada, por constituírem uma sobrecarga relevante para o talude. Além disso, o vento exerce uma acção mecânica nas raízes susceptível de causar danos importantes nos taludes, podendo no limite originar a queda e conseqüente desenraizamento das espécies arbóreas, com a produção de novos episódios de erosão.

4.7.3 - Consequências da remoção de vegetação

A remoção da vegetação torna os solos mais mais susceptíveis à ocorrência de instabilização. Estudos realizados por Bishop e Stevens (Gray, 1996) verificaram um aumento significativo tanto na frequência de deslizamentos como no tamanho das áreas afectadas por esses movimentos de terreno após a remoção da vegetação. Estes autores concluíram que a destruição e o declínio gradual do sistema de raízes é a principal razão do aumento dos deslizamentos.

4.7.4 - Durabilidade das TEN

No que diz respeito à durabilidade das obras de engenharia natural, sabe-se que as construções modernas são relativamente recentes. As mais antigas, conhecidas através de publicações Schiechtl (1991 e 1992) foram realizadas por *Hassenteufel, Kraebel e Prueckner* datam do início do século XX (anos 30).

Existe ainda uma enorme variedade de obras realizadas por Schiechtl que têm cerca de meio século e estão plenamente funcionais. A maior parte delas não têm tido trabalhos de manutenção devido a dificuldades financeiras, o que não as impede de continuarem a cumprir os objectivos para que foram construídas.

As obras referidas constituem um exemplo de intervenções de sucesso que resultaram de uma avaliação adequada das condições ecológicas no processo de planeamento, assim como da escolha adequada das espécies de plantas e das técnicas de construção durante a sua realização.

O conhecimento e a consideração da dinâmica destas formações vegetais artificiais (ou seja, a sucessão natural) evitam surpresas desagradáveis e reduzem os custos de manutenção. Normalmente a vegetação pioneira evolui em etapas sucessivas até uma associação vegetativa que exprima as condições ecológicas locais. Esta etapa constitui uma situação estável a longo prazo que não se altera a não ser que ocorram modificações, designadamente climáticas, das condições locais.

4.8 - Sumário

Os métodos construtivos de engenharia natural podem ser aplicados em todos os locais onde as plantas utilizadas como materiais de construção se possam instalar e desenvolver adequadamente e através da selecção correcta dos materiais construtivos vivos e inertes, assim como dos tipos de construção, obtém-se uma elevada sustentabilidade sem necessidade de grande manutenção. São usados diversos tipos de materiais nas técnicas de engenharia natural, vivos (estacarias arbustivas, plantas, sementes) e inertes (madeira, pedras, geossintéticos, metais).

É de notar a inexistência de um contexto normativo definido em Portugal, ao contrário da situação que se vive em Itália onde existem leis que regem a construção das diferentes técnicas bem como promovem a sua aplicação em detrimento das técnicas “tradicionais” de engenharia civil.

A escolha do tipo de vegetação a aplicar numa intervenção deste tipo é bastante importante pois cada espécie vegetativa se encontra mais adaptada a um determinado local e devem ser escolhidas plantas que possuam aparatos radiculares, com raízes superficiais e profundas de modo que o terreno fique com uma distribuição de raízes homogénea.

CAPÍTULO 5

CASOS DE ESTUDO

5.1 - Introdução

Neste capítulo descrevem-se algumas situações de instabilidade e de técnicas utilizadas no seu controlo, que foram tratadas nos capítulos precedentes. Assim, apresenta-se como caso de estudo de estabilidade de taludes em rochas silto-argilosas, diversos acidentes ocorridos durante a construção do sublanço Bucelas – Arruda dos Vinhos, da A10 – Auto-Estrada Bucelas/Carregado/IC3.

Do sublanço em causa foram seleccionados dois trechos localizados, o primeiro entre os km 5+300 e 5+700 e o segundo entre os km 7+000 e os 7+300 (Figura 5.1). Estes trechos foram seleccionados porque as instabilizações ocorridas são diferenciadas em termos da sua geometria, magnitude e complexidade, determinando por essa razão à adopção de técnicas de estabilização distintas. Salientam-se que apenas no segundo caso, a situação de instabilidade era passível de ser solucionada com recurso a técnicas de engenharia natural.

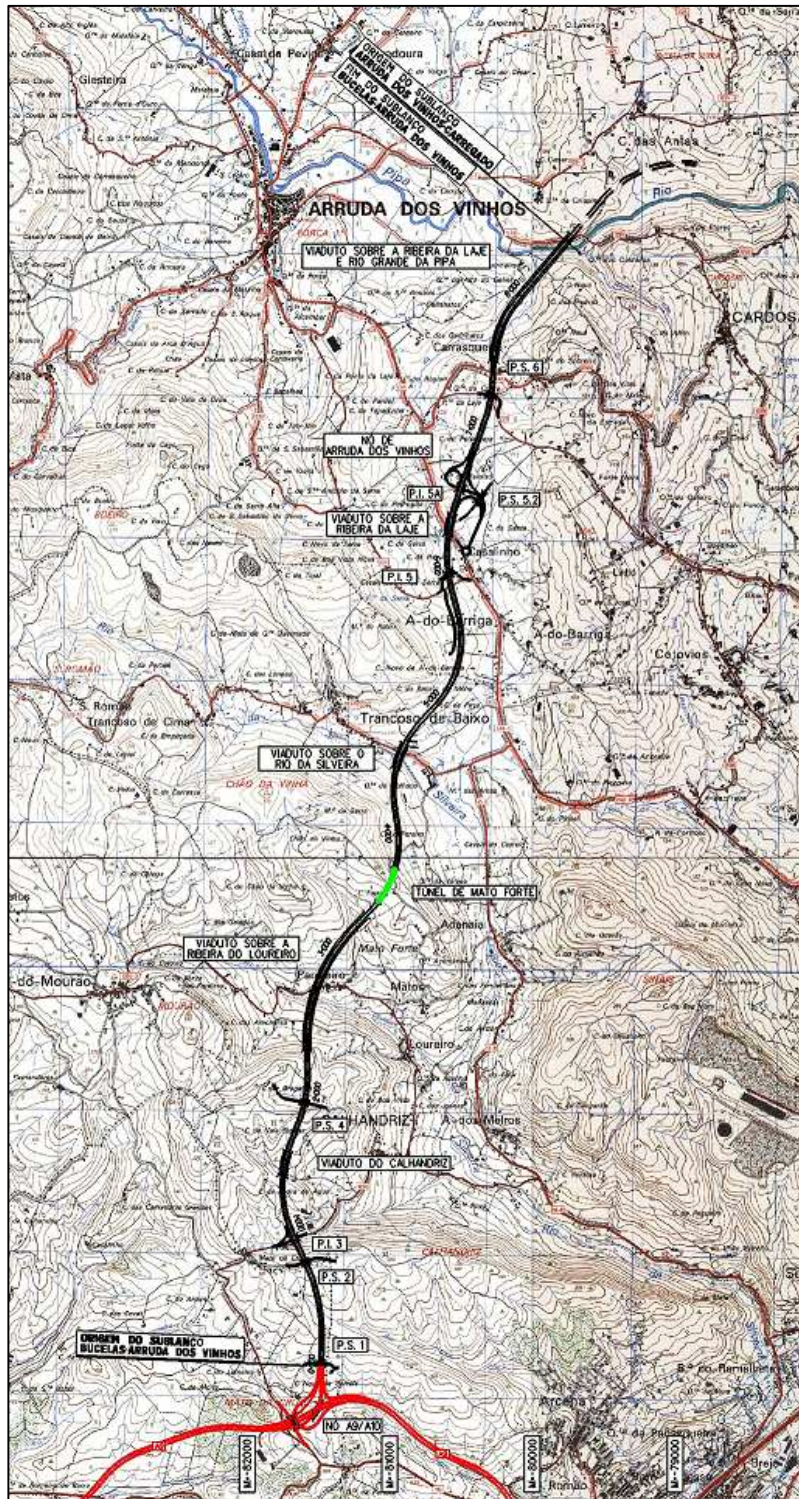


Figura 5.1 – Trechos das Cartas Militares, 389, 390, 403 e 404, evidenciando a zona de traçado.

5.2 - Enquadramento Geotécnico

O sublanço Bucelas – Arruda dos Vinhos, da A10 intersecta de Sul para Norte, inicialmente, o complexo margo-calcário pteroceriano que contacta nas proximidades de Mato Forte com a Formação Abadia, que é constituída por margas, argilitos margosos, siltitos cinzentos ou cinzentos esverdeados micáceos, por vezes laminados com intercalações de massas calcárias irregulares e de bancadas de arenito compacto (figura 5.2).

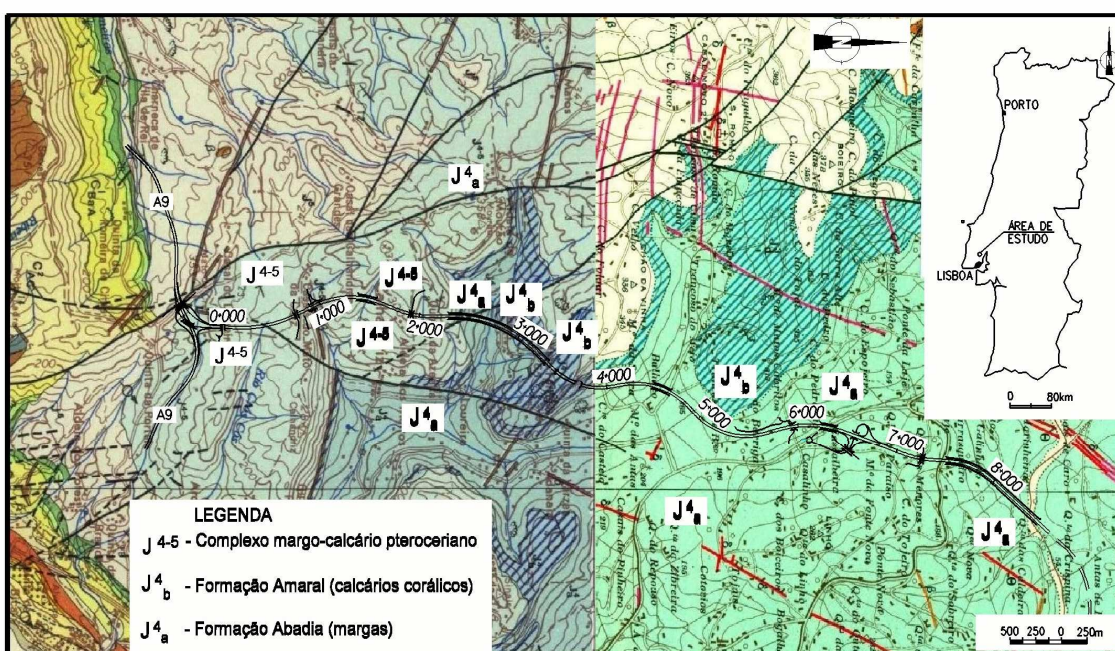


Figura 5.2 – Carta Geológica da área em estudo, (baseada nas folhas 30D – Alenquer e 34B-Loures) com a localização do traçado da Auto-Estrada A10.

Os dois casos de estudo seleccionados localizam-se na unidade Formação Abadia. As condições geológicas nos dois locais caracterizam-se pela ocorrência de um manto de depósitos de vertente sobrejacentes a um substrato margoso correspondente à unidade geológica anteriormente referida. Os depósitos de vertente apresentam composição argilosa, caracterizando-se por serem constituídos por solos remexidos, sendo o seu

comportamento geotécnico controlado pela fracção fina, independentemente da maior ou menor percentagem de pedras e blocos rochosos que possam conter.

Estes depósitos apresentam, associado ao seu estado seco ou saturado, um comportamento em termos de resistência muito diferenciado. Assim, nos períodos de estiagem, apresentam uma consistência elevada que contrasta profundamente com a sua muito fraca resistência ao corte e elevada deformabilidade aquando da sua saturação. Face às suas características geotécnicas os depósitos de vertente estão frequentemente associados à frequente ocorrência de fenómenos de instabilidade sobretudo, após períodos prolongados de precipitação.

Apresentam-se em seguida alguns dos dados obtidos nos ensaios realizados sobre amostras de solos dos depósitos de vertente e da Formação Abadia, (Quadro 5.1).

Quadro 5.1 – Resultados obtidos nos ensaios de solos dos Depósitos de Vertente e Formação Abadia.

Formação	% passada no peneiro nº 200 (ASTM)	Limite de Liquidez	Índice de Plasticidade
Depósitos de Vertente	31-65%	34 a 46%	12 a 22%
Formação Abadia	60 a 96%	32 a 43%	12 a 20%

Estes valores foram obtidos com base nos resultados dos ensaios laboratoriais efectuados para os estudos geotécnicos da obra. Verifica-se que os depósitos de vertente apresentam percentagem de finos elevada, superior a 30%, com carácter plástico a muito plástico. Relativamente à Formação Abadia a percentagem de finos é superior a 50%, denunciando a sua composição predominantemente silto-argilosa, de natureza igualmente plástica a muito plástica.

5.3 - Trecho entre km 5+300 e o km 5+700

5.3.1 - Condições Geológico-Geotécnicas Locais

As condições geológicas locais caracterizam-se pela presença de depósitos de vertente que podem atingir espessuras da ordem dos 8 m, sobrejacentes a um maciço constituído por rochas silto-argilosas, por vezes com camadas areníticas ou calcárias intercaladas, mais resistentes.

Os depósitos de vertente apresentam composições silto-argilosas a arenosas, por vezes, com calhaus e blocos de calcário de dimensão decimétricas a métricas, que se encontram dessiminados na matriz de composição argilosa/arenosa. Os blocos de calcário são provenientes do desmatelamento da formação Coralico do Amaral, ocorrente no topo desta encosta, condicionando esta unidade a evolução de área em estudo.

A diferenciação dos materiais de Aterro/Depósitos de Vertente, relativamente ao substrato torna-se mais evidente se se tiver em conta os valores de N (número de pancadas) do ensaio de SPT que se apresentam inferiores a 20 (Quadro 5.2).

O outro, mais profundo, constitui o substrato local de características geotécnicas diferenciadas do complexo anterior, formado por terrenos de fácies margosa a argilosa, acastanhada a negra. Apresenta valores N de nega, por vezes mesmo em 1ª fase, apresenta ainda alguns valores anómalos que corresponderão ao horizonte mais descomprimido e de topo deste complexo.

No âmbito dos estudos para o projecto da auto-estrada A10 foram efectuados um conjunto significativo de trabalhos de prospecção e ensaios que incluíram perfis de refacção sísmica, poços, sondagens mecânicas, ensaios com penetrómetro super-pesado e ensaios de caracterização laboratorial sobre amostras de solos e de rochas.

Na figura 5.3 encontra-se uma planta de localização dos trabalhos realizados *in situ*, aos kms 5+300 e 5+700.

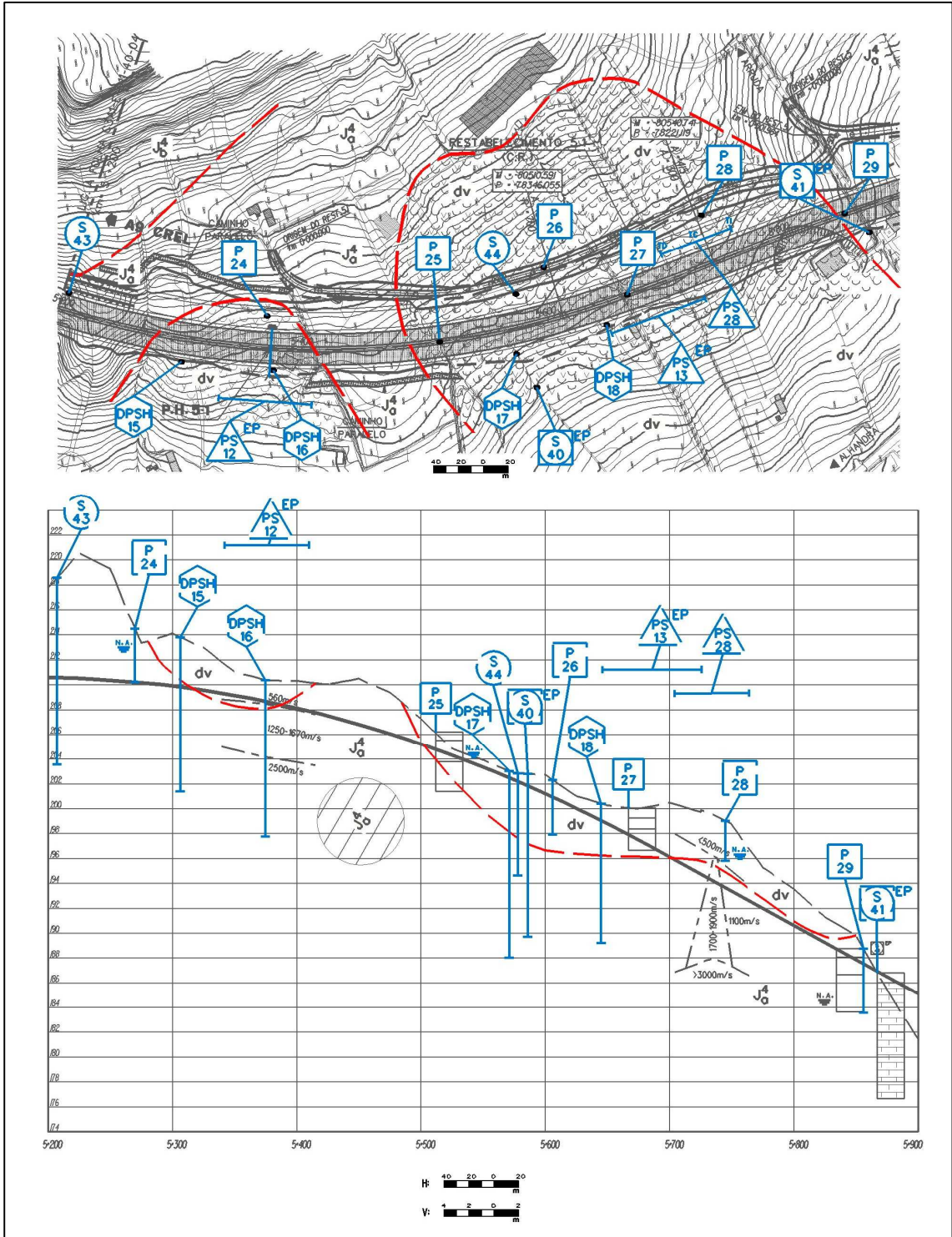


Figura 5.3 – Localização dos trabalhos de reconhecimentos efectuados aos kms 5+300 e 5+700.

Nos quadros 5.2 a 5.8 apresentam-se de forma sucinta e resumida os resultados obtidos nesses trabalhos de prospecção e ensaios realizados na área de estudo.

Quadro 5.2 – Resumo das principais características das Sondagens realizadas para o trecho entre o km 5+300 e o km 5+700.

Sondagem Nº	Localização aproximada (km)	Prof. atingida (m)	N _{SPT} (prof. em m)	% Recuperação (prof. em m)	% RQD (prof. em m)	Nível de água (m)	Grau de Fracturação (F) (prof. em m)	Formação interessada
S43	5+208	15,0	60 (1,5)	70% (1,7 – 4,2) 100% (4,2-15,0)	20% (1,7 – 4,2) 40-60% (4,2-15,0)	8,4	F4-5 (2,0 – 8,7) F4 a F3 (8,7 – 15,0)	J _a ⁴
S44	5+579	15,0	10 – 16 (1,5 e 3,0) 56 (4,5) 60 (6,0)	20-70% (0 – 5,7) 90-100% (5,7-15,0)	30-50% (2,7 – 7,7) 60-80% (7,7-15,0)	1,9	F4 a F3 (5,0 – 15,0)	dv/J _a ⁴
S40 EP	5+586	13,1	7-15 (1,5 – 4,5) 60 (6,0 e 7,5) 60 (9,0 – 13,0) 1ªF	-	-	-	-	dv/J _a ⁴
S41 EP	5+867	10,0	21 (1,5) 60 (6,0 – 7,5) 60 (7,0 – 10,0) 1ª F	-	-	4,0	-	

Dv – depósitos de vertente - J_a⁴ - Formação Abadia

Quadro 5.3 – Resumo das principais características dos Perfis Sísmicos de Refracção realizados para o trecho entre o km 5+300 e o km 5+700.

Perfis Sísmicos	Localização aproximada (km)	V _p (m/s)	Prof. de ocorrência (m)
PS28	5+733	<500	<2,4 – 2,8
		1100 - 1900	2,4 – 2,8 a 10,0 – 13,5
		>3000	>10,0 – 13,5
PS12 EP	5+372	560	<2,5 – 3,0
		1250 - 1670	2,5 – 3,0 a 6,6 – 6,8
		2500	>6,6 – 6,8
PS13 EP	5+685	670	<2,0 – 2,3
		1670	2,0 – 2,3 a 5,3
		2500	>2,3 – 5,3

Quadro 5.4 – Síntese dos Horizontes sísmicos definidos.

Horizontes Sísmicos	Vp (m/s)	Formações interessadas
HS1	0 – 600	dv, dv/a
HS2	1000 – 1800	J ⁴⁻⁵ , J ⁴ _b , J ⁴ _a
HS3	> 2200	J ⁴⁻⁵ , J ⁴ _b , J ⁴ _a

dv – depósitos de vertente; dv/a – depósitos colúvio-aluvionares; J⁴⁻⁵ – Complexo Margo-calcário Pteroceriano; J⁴_b – Formação Amaral; J⁴_a – Formação Abadia

Quadro 5.5 – Resumo das principais características dos Poços de Reconhecimento realizados para o trecho entre o km 5+300 e o km 5+700.

Poço N.º	Localização aproximada (km)	Formações interessadas	Espessura de terra vegetal	Profundidade atingida (m)	Nível de Água (m)
P24	5+370	dv/J ⁴ _a	0,3	4,3	1,5
P25	5+512	dv/J ⁴ _a	0,7	4,8	1,7
P26	5+606	dv/J ⁴ _a	0,8	4,5	-
P27	5+666	At/dv	0,8	3,4	-
P28	5+745	dv	0,1	3,2	2,7
P29	5+855	J ⁴ _a	0,7	5,1	4,3

dv – depósitos de vertente

J⁴_a – Formação Abadia

Quadro 5.6 – Resumo das principais características dos ensaios DPSH para os kms 5+300 e 5+700.

DPSH Nº	Localização Aproximada (km)	Prof. Atingida (m)	Formações Interessadas	Resistência Dinâmica	
				Prof. (m)	Qd (MPa)
DPSH 15	5+305	12,4	dv/J ⁴ a	0,0 – 11,8 11,8 – 12,4 > 12,4	0,0 – 15,0 15,0 – 55,0 > 55,0
DPSH 16	5+375	12,6	dv/J ⁴ a	0,0 – 9,4 9,4 – 12,4 12,4 – 12,6 > 12,6	0,0 – 10,0 10,0 – 30,0 30,0 – 55,0 > 55,0
DPSH 17	5+570	8,2	dv/J ⁴ a	0,0 – 8,0 8,0 – 8,2 > 8,2	0,0 – 20,0 20,0 – 60,0 > 60,0
DPSH 18	5+645	11,2	dv/J ⁴ a	0,0 – 7,8 7,8 – 11,2 > 11,2	0,0 – 15,0 15,0 – 55,0 > 55,0

dv – depósitos de vertente / J⁴_a – Formação Abadia

Quadro 5.7 – Resultados dos ensaios laboratoriais de materiais terrosos para o trecho entre o km 5+300 e o km 5+700.

Amostra	Localização aproximada (km)	Formação interessada	Prof. da amostra (m)	Granulometria			Teor em água (%)	Limites		Classificação AASHTO
				% Arg. + Silte	% Areias	% Cascalho		LL	IP	
P24/AM1	5+370	J ⁴ a	2,9	98	2	0	17	39	17	A-6 (11)
P25/AM1	5+512	dv	1,7	50	15	35	16	42	20	A-7-6 (7)
P25/AM2	5+512	J ⁴ a	3,7	93	7	0	19	43	20	A-7-6 (12)
P26/AM1	5+606	dv	2,8	88	7	5	16	46	22	A-7-6 (13)
P26/AM2	5+606	J ⁴ a	4,3	88	11	1	30	38	16	A-6 (10)
P27/AM1	5+666	dv	2,8	56	14	30	21	41	19	A-7-6 (8)

P28/AM1	5+745	dv	1,9	93	5	2	21	42	19	A-7-6 (12)
P28/AM2	5+745	dv	2,9	40	14	46	18	42	21	A-7-6 (4)
P29/AM1	5+855	J ⁴ a	1,8	90	8	2	20	41	18	A-7-6 (11)
P29/AM2	5+855	J ⁴ a	3,9	98	2	0	18	39	16	A-6 (10)

dv – depósitos de vertente

J⁴_a – Formação Abadia

Quadro 5.8 – Resultados dos ensaios laboratoriais de materiais rochosos para o trecho entre o km 5+300 e o km 5+700.

Amostra		445	
Sondagem		S44	
Localização Aproximada (km)		5+579	
Profundidade (m)		12,75 – 13,60	
Formação Interessada		J ⁴ a	
Litologia		Marga	
Baridade (Mg/m³)		2,36	
Azul de Metileno (g/100g_{am.})		3,33	
Slake Durability	Id₁	(%)	93,4
	Id₂		89,6
	Id₃		76,9

Com base na análise dos resultados obtidos, os depósitos de vertente caracterizam-se por serem menos resistentes, se apresentarem mais fracturados e possuírem uma qualidade inferior, (os valores de SPT e RQD vão aumentando com a profundidade). Apresentam valores de velocidade de propagação entre os <500 e os 670 m/s. De um modo geral os depósitos de vertente apresentam ainda menores percentagens de argila e silte e percentagens muito superiores de cascalho, devido aos blocos rochosos que por vezes se encontram na matriz argilo-arenosa.

5.3.2 - Trecho ao km 5+300

5.3.2.1 - Enquadramento do problema

Durante o Outono de 2002 ocorreram um conjunto de instabilizações progressivas, individualmente caracterizadas por uma geometria curva e por movimentos de grande amplitude, dando origem a uma superfície morfológica com sucessivas depressões e ressaltos (Figuras 5.4 e 5.5).



Figura 5.4 – Zona instabilizada ao km 5+300.

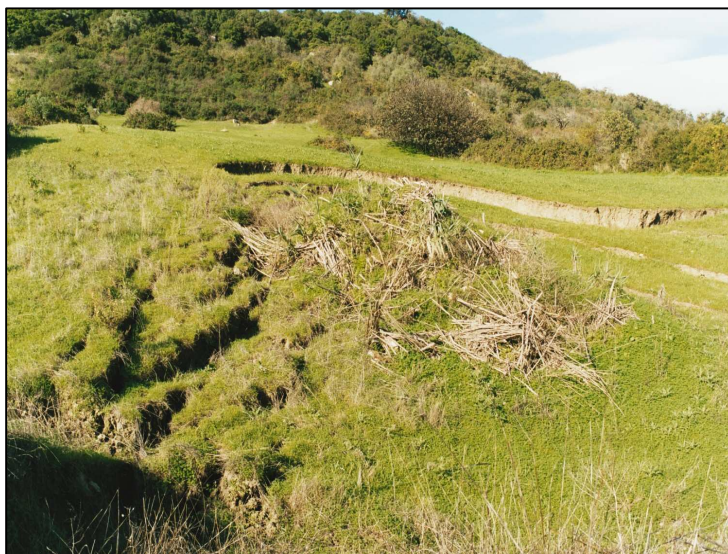


Figura 5.5 – Pormenor da morfologia da zona instabilizada ao km 5+300.

Estas instabilizações abrangeram uma extensão de cerca de 130 m, segundo a linha de maior declive. A área instabilizada encontra-se limitada a sul por uma *parede ancorada* (M3) (Figura 5.6) já anteriormente projectada e realizada face às condições geotécnicas, locais caracterizados pela ocorrência de formações silto-argilosas confinadas superiormente por afloramentos rochosos constituídos por calcários.



Figura 5.6 – Vista do final da parede ancorada (M3).

5.3.2.2 - Solução de estabilização

No seguimento da verificação desta situação procedeu-se à elaboração de um programa de reconhecimento complementar que incluiu a realização de sondagens. Os resultados obtidos permitiram confirmar a precariedade das condições geotécnicas dos depósitos de vertente e a sua importante espessura, da ordem dos 7 a 10 m, bem como detectar a ocorrência do nível freático perto da superfície.

Com base na informação geológico-geotécnica obtida do reconhecimento de superfície e dos trabalhos de prospecção que permitiram constatar a fragilidade e sensibilidade dos terrenos ocorrentes e a presença abundante de água, procedeu-se à modelação do terreno, essencialmente, através do saneamento da franja mais superficial dos depósitos de vertente (2 a 3 m) e à execução de um *prisma de contenção drenante* de grande dimensão fundado no substrato, constituído pelas formações silto-argilosas, adjacente à plataforma rodoviária. Em complemento a esta estrutura de contenção drenante foi ainda implementado a montante da mesma um conjunto de valas drenantes.

Estas intervenções visaram assegurar o rebaixamento dos níveis de água de modo a evitar a saturação dos depósitos de vertente ocorrentes a montante do prisma de contenção drenante.

Na figura 5.9, apresenta-se uma perspectiva do trecho instabilizado após a colocação das intervenções anteriormente descritas.



Figura 5.8 – Substituição da zona instabilizada por materiais de enrocamento.



Figura 5.9 – Aspecto final da obra ao km 5+300.

5.3.3 - Trecho ao km 5+700

5.3.3.1 - Enquadramento do problema

No trecho em análise as instabilizações iniciaram-se em Agosto de 2002, atingindo em fases mais avançadas do processo, 450 m de largura e um desenvolvimento com cerca de 150 m, segundo a linha de maior declive. Este movimento de massa foi precedido pelo início de obras de terraplenagem da plataforma rodoviária na qual se efectuou um corte de altura moderada com geometria a 1/2 (v:h) que não ultrapassou os seis metros de altura. O reconhecimento de superfície permitiu verificar a ocorrência de fendas de grande abertura e extensão numa superfície topográfica com uma pendente média da ordem dos 10°. A uma cota superior à da área instabilizada existia uma plataforma onde foi instalada uma unidade fabril, junto à qual foi construído um *muro em gabões* (Figura 5.10).



Figura 5.10 – Vista de um dos muros de gabões colocados junto à unidade fabril ao km 5+700.

Os estudos efectuados previamente ao início das obras tinham já identificado este trecho como particularmente sensível face à previsível e elevada espessura dos depósitos de vertente e à presença abundante de água. Face a este cenário desfavoráveis, tinha-se previsto integrar um prisma de contenção drenante contínuo, devidamente fundado, precedendo a área adjacente à plataforma.

A situação de instabilidade evoluiu rapidamente na sequência de períodos de elevada pluviosidade ocorridos durante o Inverno de 2002/2003, verificando-se a progressão gradual da área instabilizada no sentido do muro de gabiões situado no pé da plataforma da unidade fabril e a formação de diversas depressões associadas a escorregamentos parciais de geometria curva, que integravam um grande movimento de massa de geometria essencialmente translacional (Figuras 5.11 e 5.12). Face às precariedade da situação, procedeu-se com urgência a estudos complementares de caracterização geotécnica e de estabilização da zona, tendo agora como prioridade salvaguardar a integridade da unidade industrial.



Figura 5.11 – Vista aérea da área instabilizada ao km 5+700.



Figura 5.12 – Detalhe de uma zona da área instabilizada ao km 5+700.

5.3.3.2 - Solução de estabilização

Com base nos resultados dos trabalhos de prospecção e ensaios realizados, que incluíram poços, sondagens e ensaios laboratoriais de identificação, foi reconhecido que os depósitos de vertente atingiam frequentemente 7 a 8 m de espessura e que a partir, sobretudo, da observação de poços, a ocorrência de um nível superior de muito fracas características geotécnicas, com cerca de 2 a 3 m de espessura.

O programa de reconhecimento complementar permitiu também caracterizar o substrato argilo-margoso que integra uma franja de interface muito amolecida e lubrificada. O nível freático foi reconhecido, nas sondagens, regularmente perto da superfície.

Com base no conhecimento existente das formações interessadas e na informação geológico-geotécnica obtida no programa de reconhecimento complementar, procedeu-se à definição conceptual da solução através de estudos de retroanálise, seguidos da modelação de uma solução baseada na execução de uma *cortina de microestacas*

ancorada e na *drenagem intensa sub-superficial* da zona, que se apresenta de forma esquemática em perfil e em planta nas figuras 5.13 e 5.14, respectivamente.



Figura 5.13 – A – Construção da cortina de microestacas ancorada. B – Vista geral da cortina. C – Pormenor da cortina de microestacas ancorada.

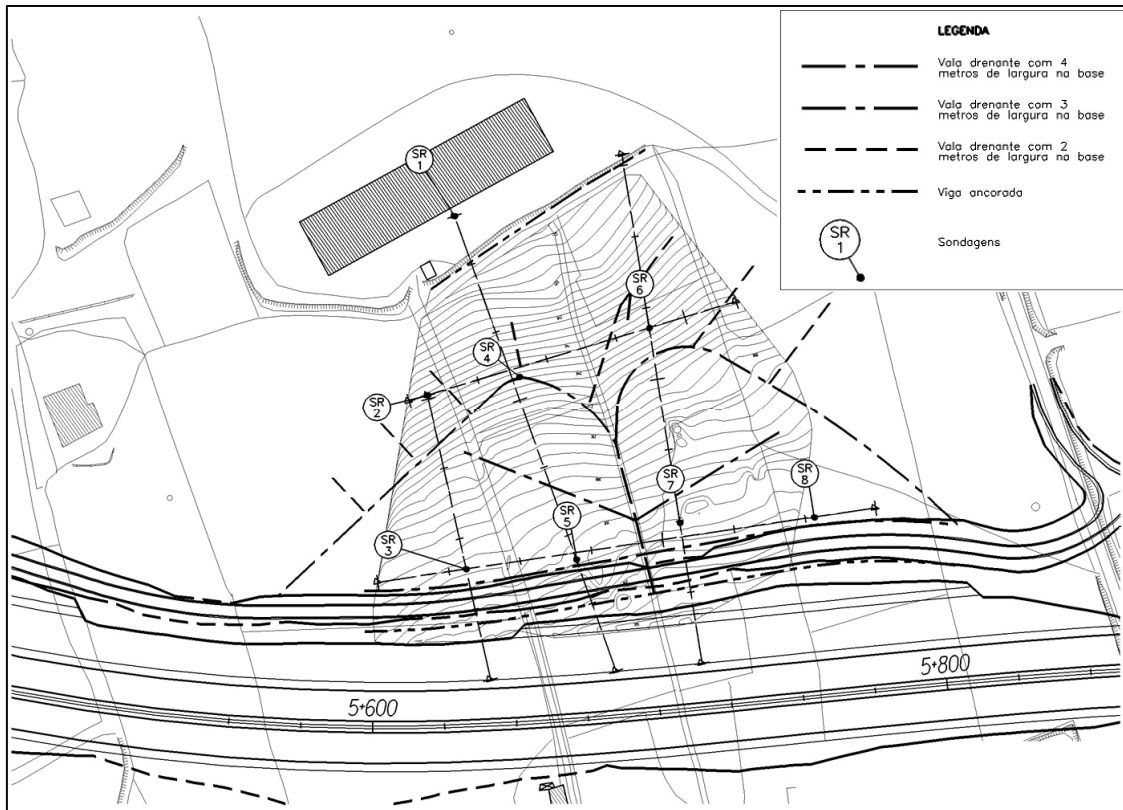


Figura 5.14 – Esquema do sistema de drenagem efectuado ao km 5+700.

A pormenorização e optimização da solução global de toda a área, levou à definição de um nível superficial a sanear, (correspondendo à franja vegetal e ao nível superior com piores características geotécnicas dos depósitos de vertente, anteriormente descritos), e a um conjunto de trincheiras drenantes (Figura 5.15) que com o saneamento efectuado puderam interessar o substrato, contribuindo também de modo significativo para estabilização de toda a área.



Figura 5.15 – Execução de trincheiras drenantes ao km 5+700.

Após a evolução da zona instabilizada para montante, no sentido do muro de gabiões anteriormente referido, foram construídos, com objectivo de constituírem uma defesa específica, adjacentes às áreas de implantação das plataformas industrial e rodoviária, estruturas de contenção do tipo *parede ancorada fundada em microestacas* (Figura 5.16), devidamente fundadas no substrato margoso.



Figura 5.16 – Construção da segunda cortina de microestacas.

Na figura 5.18 apresenta-se uma perspectiva da área em causa após a execução das obras de estabilização anteriormente descritas.



Figura 5.18 – Vista final das obras de estabilização ao km 5+700.

5.4 - Escorregamento ao km 7+000

5.4.1 - *Condições Geológico-Geotécnicas Locais*

As condições geológicas ocorrentes nesta zona, caracterizam-se pela ocorrência de depósitos de vertente que constituem solos descomprimidos, com espessuras, por vezes importantes, compostos por uma matriz argilosa que pode conter no seu seio pedras e blocos, designadamente de natureza arenítica, com dimensões centimétricas e decimétricas. Subjacente a estes depósitos, ocorre um maciço de natureza argilo-margosa, formado por margas e argilitos, micáceos, de cor cinzenta e cinzenta-esverdeada.

Na figura 5.19 encontra-se perfil geotécnico bem como a localização dos trabalhos realizados *in situ*, ao km 7+000.

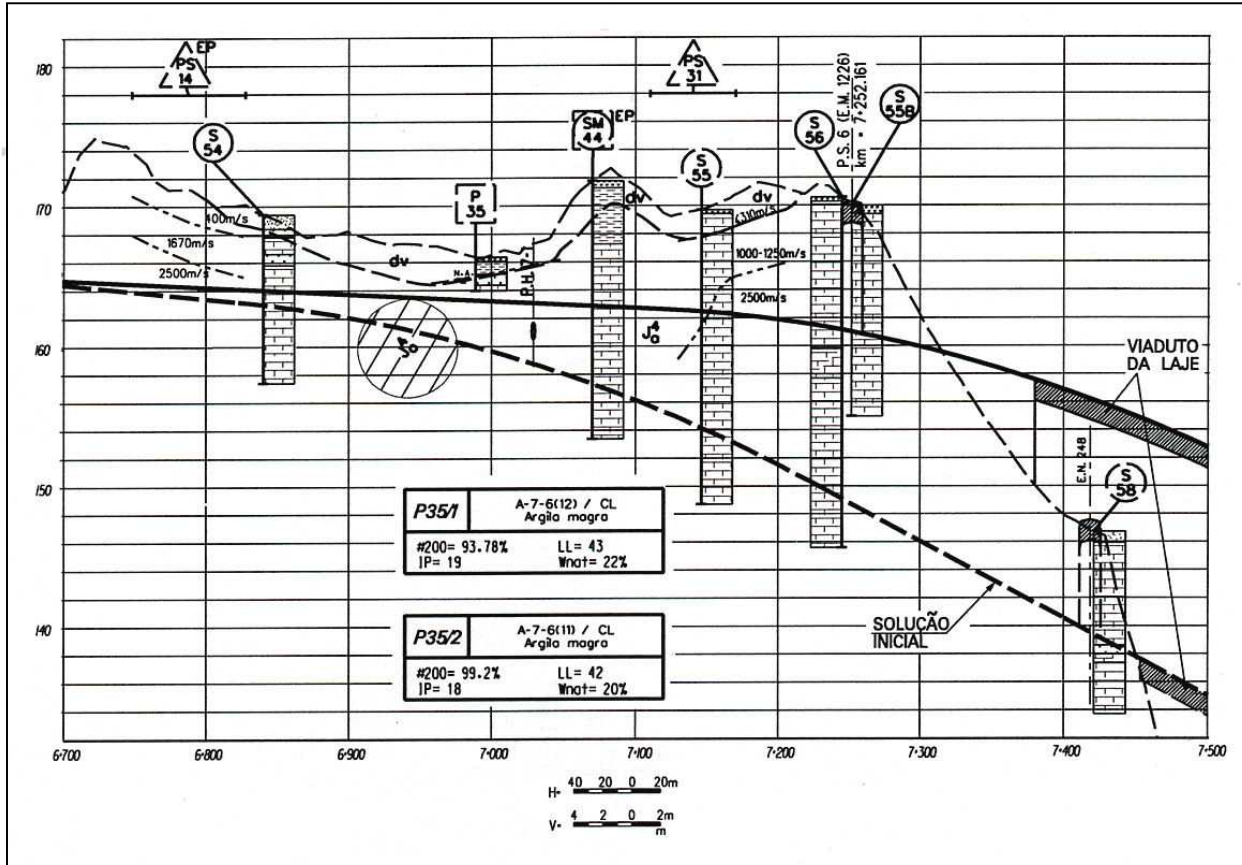


Figura 5.19 – Perfil longitudinal geotécnico entre os kms 6+700 e 7+500.

Nos quadros 5.9 a 5.14 apresentam-se de forma sucinta e resumida os resultados obtidos nos trabalhos de prospecção e ensaios realizados na área.

Quadro 5.9 – Resultados dos Poços de Observação Km 7+000.

Nº do Poço	Localização			Formações	Espessura dos depósitos de cobertura (m)	Prof. atingida (m)	Nível de água (m)
	M (m)	P (m)	Cota (m)				
P1	-80333,732	-77116,730	174,8	dv	4,0	3,6	-
P2	-80308,589	-77093,022	176,7	dv/J ⁴ a	1,2	2,8	-
P3	-80301,408	-77070,673	177,2	dv/J ⁴ a	1,5	2,8	-
P4	-80300,012	-77046,336	175,8	dv/J ⁴ a	1,7	3,5	2,6
P5	-80302,638	-77019,600	173,7	dv/J ⁴ a	1,3	3,2	-
P6	-80312,721	-76999,719	171,9	dv/J ⁴ a	1,2	2,0	-
P7	-80298,756	-76963,243	173,1	dv/J ⁴ a	1,2	3,5	-
P8	-80286,054	-76938,063	174,6	dv/J ⁴ a	1,0	2,2	-
P9	-80278,068	-76913,992	174,7	dv/J ⁴ a	1,2	1,8	-
P10	-80263,562	-76868,119	174,6	dv/J ⁴ a	0,6	1,6	-

dv – depósitos de vertente

J⁴a – Formação Abadia

Quadro 5.10 – Resumo das principais características dos Perfis Sísmicos de Refracção ao km 7+000.

Perfis Sísmicos	Localização aproximada (km)	Vp (m/s)	Prof. de ocorrência (m)
PS30	7+157	<600 – 1100	<2,0 – 5,7
		2200 - 2950	>2,0 – 5,7
PS31	7+128	<500	<3,2 – 3,6
		2000 - 2500	>3,2 – 3,6
PS32	7+296	<500	<3,0 – 4,7
		2400 - 2700	3,0 – 4,7 a 6,0 – 11,5
		>3000	>6,0 – 11,5
PS33	7+336	<700	<2,6 – 3,6
		1700 - 2300	2,6 – 3,6 a 7,5 – 13,0
		>3500	>7,5 – 13,0
PS15 EP	7+000	470	<2,6 – 2,7
		2500	>2,6 – 2,7
PS16 EP	7+168	280 - 310	<1,5 – 1,9
		1000 - 1250	1,5 – 1,9 a 5,3 – 10,3
		2500	>5,3 – 10,3
Síntese dos Horizontes sísmicos definidos			
Horizontes Sísmicos		Vp (m/s)	Formações interessadas
HS1		0 – 600	dv, dv/a
HS2		1000 – 1800	J ⁴⁻⁵ , J ⁴ _b , J ⁴ _a
HS3		> 2200	J ⁴⁻⁵ , J ⁴ _b , J ⁴ _a
dv – depósitos de vertente; dv/a – depósitos colúvio-aluvionares; J ⁴⁻⁵ – Complexo Margo-calcário Pteroceriano; J ⁴ _b – Formação Amaral; J ⁴ _a – Formação Abadia			

Quadro 5.11 – Resumo das principais características dos Poços de Reconhecimento ao km 7+000.

Poço N.º	Localização aproximada	Formações interessadas	Espessura de terra vegetal	Profundidade atingida (m)	Nível de Água (m)
P35	6+989	J ⁴ _a	0,3	2,4	0,9 / 1,5 / 2
P36	7+259	J ⁴ _a	0,9	4,0	-
P37	7+280	J ⁴ _a	0,6	4,4	-

Quadro 5.12 – Resumo das principais características das Sondagens realizadas ao km 7+000.

Sondagem Nº	Localização aproximada (km)	Prof. atingida (m)	N _{SPT} (prof. em m)	% Recuperação (prof. em m)	% RQD (prof. em m)	Nível de água (m)	Grav de Fracturação (F) (prof. em m)	Formação interessada
S55	7+146	21,0	50 (1,5) 60 (3,0)	70-100% (0 – 5,2) 100% (5,2-21,0)	20-70% (0 – 6,2) 60-90% (6,2-21,0)	4,5	F4 (0,3 – 9,0) F4 a F3 (9,0 – 21,0)	J ⁴ _a
S55 A	7+252	15,0	60 (1,5)	60% (1,5 – 4,7) 80-100% (4,7-15,0)	<40% (1,5 – 4,7) 30-90% (4,7 – 15,0)	2,5	F4-5 (2,0 – 5,5) F3 a F2 (5,5 – 9,8) F3 (9,8 – 15,0)	J ⁴ _a
S55 B	7+252	15,0	60 (1,5)	40% (1,5 – 4,0) 100% (4,0-15,0)	60-80% (4,0 – 7,2) 100% (7,2-15,0)	3,8	F5 (2,0 – 4,2)	J ⁴ _a
S56	7+245	23,0	60 (1,5)	80% (0 – 1,3) 100% (1,3-10,0)	40% (0 – 2,7) 60-80% (2,7 – 14,8) 10-40% (14,8 – 23,0)	2,1	F4-5 (0 – 3,3) F3 a F2 (3,3 – 13,2) F4-5 (13,2 – 23,0)	J ⁴ _a
S57	7+307	12,0	33 (1,5) 60 (3,0)	60-70% (3,2 – 7,2) 100% (7,2-12,0)	30-70% (7,2 – 12,0)	4,3	F4-5 (3,0 – 8,0) F3 a F2 (8,0 – 12,0)	J ⁴ _a

Quadro 5.13 – Resultados dos ensaios laboratoriais de materiais terrosos ao km 7+000.

Amostra	Localização aproximada (km)	Formação interessada	Prof. da amostra (m)	Granulometria			Teor em água (%)	Limites	
				% Arg. + Silte	% Areias	% Cascalho		LL	IP
P35/AM1	6+989	J ⁴ _a	1,6	94	6	0	22	43	19
P35/AM2	6+989	J ⁴ _a	2,2	99	1	0	20	42	18
P36/AM1	7+259	J ⁴ _a	2,9	98	2	0	18	43	21
P37/AM1	7+280	J ⁴ _a	3,1	98	2	0	18	42	19

Quadro 5.14 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais de materiais rochosos ao km 7+000.

Amostra		448	
Sondagem		S55	
Localização Aproximada (km)		7+146	
Profundidade (m)		9,20 – 12,10	
Formação Interessada		J ⁴ _a	
Litologia		Marga	
Baridade (Mg/m³)		2,42	
Azul de Metileno (g/100g_{am-})		3,83	
Limites de Atterberg	LL	(%)	33
	LP		19
	IP		14
Corte Directo	Ø	°	30
	c	KPa	5
Slake Durability	Id₁	(%)	90,1
	Id₂		83,6
	Id₃		71

Com base na análise dos resultados obtidos, a Formação de Abadia caracteriza-se por ser mais resistente do que os depósitos de vertente, apresentando valores de velocidade de propagação >1000 m/s, mas também é possível verificar que mesmo sempre dentro da mesma formação, os níveis mais superficiais são menos resistentes do que os mais profundos. De um modo geral, a composição granulométrica e os limites de consistência não variam muito ao longo do trecho. Os valores elevados obtidos nos ensaios laboratoriais, (expansibilidade, azul de metileno, limites de consistência) mostram que se tratam de materiais sensíveis à água, denotando elevado potencial de expansão e muito susceptíveis à desintegração quando sujeitos a variações do teor em água ou a ciclos de secagem e molhagem.

5.4.2 - Enquadramento do Problema

A área escorregada localiza-se no lado direito da auto-estrada aproximadamente ao km 7+000, caracterizando-se por um desenvolvimento, em planta, de cerca de 50 m e transversalmente, em termos morfológicos, por abatimentos sucessivos, com roturas, em regra não superiores a 1 m. O escorregamento afectou na sua zona central a banquetta e o talude de escavação superior da auto-estrada.

O escorregamento de carácter superficial interessou sobretudo os depósitos de vertente e, eventualmente, a franja superior do maciço silto-argiloso mais alterada e amolecida, e menos resistente, (Figura 5.20).

O escorregamento ocorrido teve como controles principais as condições de permeabilidade e o grau de saturação dos terrenos. De facto a saturação dos depósitos de vertente após a ocorrência de períodos chuvosos prolongados associada às suas características de baixa permeabilidade bem como das formações silto-argilosas do substrato, origina um nível freático com escoamento preferencialmente ao longo da interface entre os depósitos e o substrato. Esta interface constitui uma potencial superfície de escorregamento devido a processos de lubrificação associados à circulação intensa de água e/ou frequente ao longo daquela superfície.



Figura 5.20 – Vista do escorregamento ocorrido ao km 7+000.

5.4.3 - Solução de Estabilização

Com base na informação geológica-geotécnica disponível baseado em parte numa campanha de poços de reconhecimento executada especificamente para a caracterização das condições locais, a solução de estabilização foi desenvolvida tendo como conceitos fundamentais a remoção da zona instabilizada dos depósitos de vertente (Figura 5.21) ocorrentes no talude de escavação da auto-estrada e a sua substituição por materiais de enrocamento mais resistentes e com características de permeabilidade muito mais elevadas, bem como a drenagem das águas superficiais e sub-superficiais (Figura 5.22) afluentes na área em causa.



Figura 5.21 – Remoção da zona instabilizada dos depósitos de vertente ao km 7+000.

As obras de drenagem profunda foram realizadas, a montante da crista do talude, tendo como função captar e controlar com elevada fiabilidade os caudais afluentes na interface dos depósitos de vertente e o maciço silto-argiloso e, deste modo, impedir a sua circulação ao longo dessa potencial superfície de escorregamento.

A solução de estabilização desenvolvida teve como principais fases de trabalhos as seguintes:

no trecho entre os km 6+887 e 7+025:

- construção de uma vala perimetral de drenagem, visando captar e controlar os caudais sub-superficiais, com um encastramento mínimo de cerca de 0,6 m no maciço argilo-margoso, construída com enrocamento fino e protegida exteriormente por geotêxtil filtrante; cobertura da vala com solos numa espessura que permita a sua utilização agrícola, através de aterros devidamente compactados;
- construção de valas de drenagem radiais divergentes da vala perimetral devidamente encastradas no substrato foram executadas com enrocamento fino, protegido exteriormente por geotêxtil;
- saneamento dos terrenos instabilizados na zona do talude de escavação da auto-estrada, aproximadamente entre os km 6+887 e 7+025 e sua substituição por um prisma de enrocamento, protegido com geotêxtil;
- regularização da encosta a montante do prisma de enrocamento designadamente nas zonas em que ocorreram abatimentos de terreno, mediante a execução de aterros devidamente compactados;
- construção entre o km 6+890 e o km 7+020 sob a valeta da banquetta de um dreno em PVC assente em coxim de betão, protegido por geotêxtil e envolvido em material drenante;
- construção de um sistema de drenagem superficial no tardo do prisma de enrocamento.

no trecho entre os km 7+025 e 7+150

- construção de uma vala de drenagem longitudinal, distando cerca de 8 m da crista do talude de escavação da auto-estrada, com o objectivo de captar e controlar os caudais sub-superficiais, com um encastramento mínimo de cerca de 0,6 m no maciço argilo-margoso, construída com enrocamento fino e protegida com geotêxtil, cobertura da vala com solos numa espessura que permita a sua utilização agrícola, mediante a execução de aterros devidamente compactados;

- o construção de sistema de drenagem superficial na crista do talude de escavação da auto-estrada.



Figura 5.22 – Pormenor das obras de drenagem sub-superficiais

Nos taludes de escavação que cortavam superiormente os depósitos de vertente e em profundidade as rochas silto-argilosas da Formação Abadia, como designadamente no caso deste trecho, as exurgências de água, eventualmente ocorrentes na face do talude constituem um potencial mecanismo de instabiulização, devido sobretudo à grande sensibilidade das rochas silto-argilosas à água. Assim, visando evitar o ravinamento provocado pelo escoamento superficial, procedeu-se ao revestimento do talude. Este revestimento foi realizado do seguinte modo:

- a) revestimento da superfície escavada do maciço com uma camada de terra vegetal;

- b) aplicação sobre a camada de terra vegetal anterior de uma manta geossintética do tipo Enkamat simples (não reforçada com geogrelha) devidamente fixada ao terreno;
- c) realização de hidrosementeira sobre a manta anterior;
- d) aplicação de uma geogrelha para assegurar a estabilidade do conjunto (Figura 5.23);
- e) aplicação de uma nova camada de terra vegetal.



Figura 5.23 – Geogrelha aplicada no talude ao km 7+000.

Na figura 5.23 apresenta-se a aplicação do revestimento, anteriormente descrito, na face do talude de escavação nas proximidades do km 7+000. Salienta-se que numa zona localizada a descarga anómala das águas superficiais originou a erosão das camadas de terra vegetal colocando à vista a geogrelha aplicada, um nítido contraste com as áreas laterais em que o coberto vegetal reveste totalmente os taludes de escavação evidenciando a boa adequabilidade desta solução ao problema (Figura 5.24).



Figura 5.24 – Vista final da obra ao km 7+000.

5.5 - Aplicação à Biorremediação

Tendo em conta que as técnicas de engenharia natural são apropriadas a situações de instabilidade com carácter superficial e de dimensão relativamente moderada admite-se que este tipo de técnicas se pudessem ser aplicadas no caso de estudo descrito para o trecho ao km 7+000.

Nesta situação e tendo por base as características do terreno e das TEN disponíveis seria possível instalar no talude ao km 7+000 um muro de suporte vivo. Esta técnica tem o seu campo de aplicação para intervenções de consolidação de taludes quando o seu declive varia entre os 35° – 45° .

O muro de suporte vivo resiste às forças externas do solo por intermédio do seu peso, auxiliado pela inclinação com que é colocado ou não sobre o talude. Uma estrutura colocada com alguma inclinação sobre o talude num ângulo inferior a 90° ($90^{\circ}-\alpha$) aumenta significativamente a estabilidade do mesmo.

Para assegurar a estabilidade global, tanto da estrutura como do talude, é necessário realizar um conjunto de verificações da estabilidade, em relação à rotação, em relação ao deslizamento da base e em relação à capacidade de suporte da própria estrutura. Assim, para o cálculo da estabilidade de um muro de suporte vivo é necessário determinar as dimensões e o peso da estrutura (P), bem como as forças laterais do solo que actuam sobre a estrutura (I), (Figuras 5.25 e 5.26).

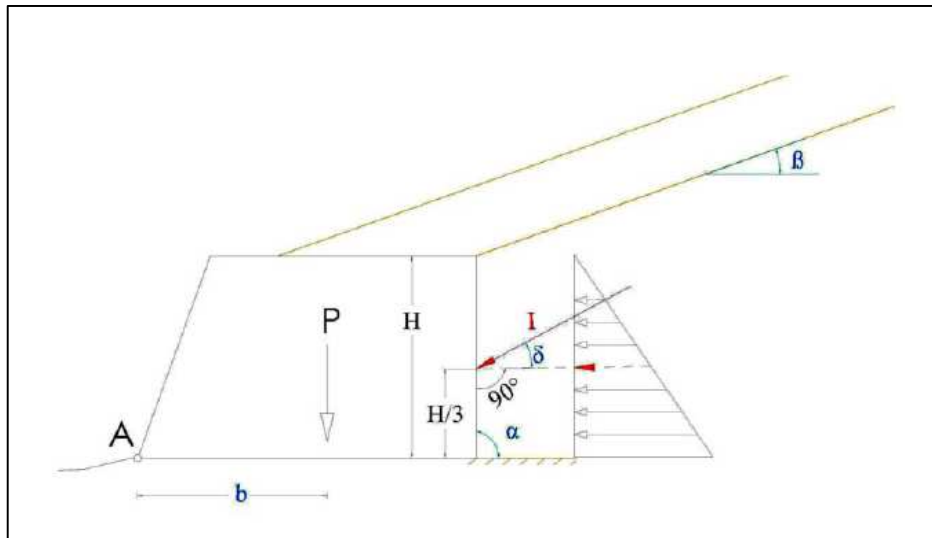


Figura 5.25 – Esquema de forças sobre o muro de suporte vivo sem rotação da estrutura (adaptado de Ribeiro, 2005).

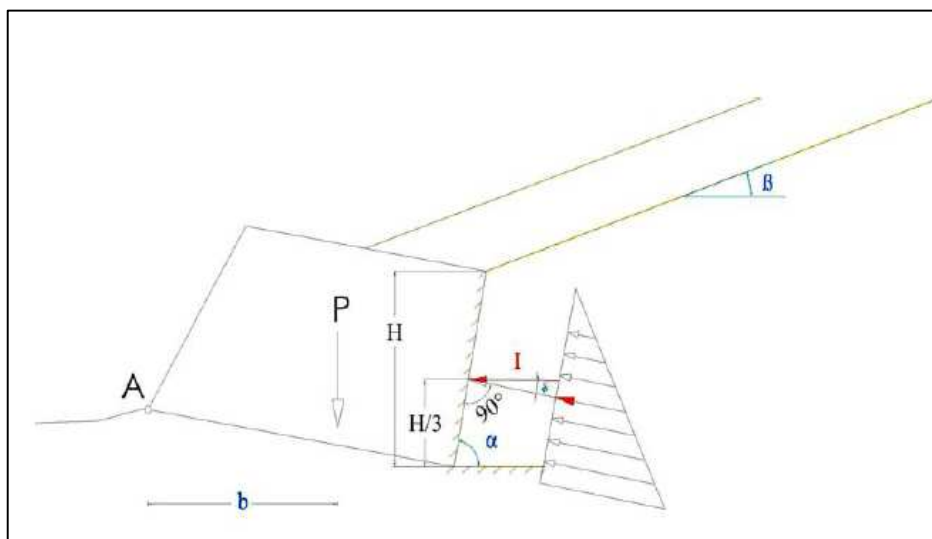


Figura 5.26 – Esquema de forças sobre o muro de suporte vivo com rotação da estrutura sobre o ponto A, (adaptado de Ribeiro, 2005).

Segundo Farinha (2005), a verificação da estabilidade de uma estrutura do tipo muro de suporte vivo pode ser efectuada com base nas formulações seguintes.

O impulso activo é o mínimo dos impulsos com que um terreno pode solicitar a estrutura.

Impulso Activo I_u :

$$K = \left[\frac{\text{sen}(\alpha - \varphi)}{(n-1) \times \text{sen} \alpha} \right]^2 \times \frac{1}{\text{sen}(\delta + \alpha)}$$

$$n = \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) \times \text{sen}(\varphi - \beta)}{\text{sen}(\alpha + \delta) \times \text{sen}(\alpha - \beta)}}$$

Em que:

φ - Ângulo de atrito interno;

δ - Ângulo de atrito entre o terreno e a superfície do suporte;

β - Ângulo que forma o terrapleno com a horizontal;

α - Ângulo de paramento interior da parede com a horizontal.

Com o auxílio da fórmula de *Coulomb*, a Impulsão Total é dada pela fórmula:

$$I = \frac{1}{2} \times K \times \gamma \times H^2$$

Em que:

H – Altura do Muro (m);

γ - Peso volúmico do solo (KN/m³)

Verificação de segurança à rotação em torno do ponto A:

$$Coef. Seg. Rot. = \frac{Momentos Estabilizantes}{Momentos Destabilizantes} = \frac{P \times b}{I \times \frac{1}{3} \times H} \geq 1,5$$

Verificação de segurança ao deslizamento:

$$Coef. Seg. Desliz. = \frac{Forças Estabilizantes}{Forças Destabilizantes} = \frac{\tan\left(\frac{2}{3} \times \varphi\right) \times P}{I} \geq 1,5$$

O dimensionamento da estrutura poderá ser efectuado, mediante o auxílio de uma folha cálculo, estimando valores, conforme o factor de segurança que se pretende obter.

Associado à construção de um muro de suporte vivo, teria de existir sempre um sistema de drenagem superficial visando o escoamento das águas superficiais de modo a evitar a acumulação excessiva das águas sobre o talude.

Analisando os efeitos que se poderão esperar após a realização de uma obra deste tipo, sabe-se que a curto prazo, a estabilidade da obra será assegurada principalmente pelo material inerte. A estrutura da técnica implementada garante a estabilidade do terreno nos primeiros meses após a realização das obras, posteriormente, a médio e a longo prazo, a tarefa de assegurar a estabilidade passa a ser efectuada prioritariamente pela parte vegetal viva.

As plantas têm assim uma acção extremamente eficaz na estabilização de taludes, que em termos funcionais é dupla, (a) aumento da resistência mecânica da obra, através do seu aparelho radical e (b) um gradual efeito estético-ecológico, graças à função biológica que expõem, partindo dos estados vegetacionais mais baixos.

Através das suas características biotécnicas, as plantas iriam satisfazer os requisitos requeridos, aumentando por exemplo: a capacidade de resistência ao arranque ou ao corte por parte das raízes, a capacidade de resistir a elevadas solicitações mecânicas, e a capacidade de drenar terreno permeabilizando-o com as raízes. Desta forma, é de esperar no talude alvo de intervenção, um aumento não só da resistência à erosão, como também um maior controlo dos movimentos de terrenos superficiais, em consequência do desenvolvimento da vegetação ao longo do tempo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Com este trabalho procurou-se inventariar e caracterizar as técnicas de engenharia natural mais correntes, como solução alternativa de estabilização a adoptar em taludes em rochas silto-argilosas. Este tipo de rochas face às suas características geológicas e geotécnicas particulares exibem um comportamento evolutivo e em geral deficiente nas obras. O número reduzido de estudos que têm sido realizados no meio técnico nacional, visando a caracterização das rochas silto-argilosas, é o principal motivo da reduzida informação disponível nos diversos aspectos associados à utilização e interacção com estes litotipos.

No entanto, o facto de existir um número crescente de obras de engenharia que envolvem este tipo de materiais, constitui uma oportunidade para a realização de estudos de caracterização das propriedades geológicas e geotécnicas destas rochas.

No caso de estudo abordado na presente dissertação procedeu-se a uma optimização das soluções de estabilização em função das características dos movimentos e das condições geotécnicas locais, evidenciando o seu acompanhamento e o seu bom desempenho.

Desde há muitos séculos que, de maneira tradicional se utilizavam estruturas com recurso a materiais naturais para protecção do solo contra o risco de erosão, contudo a descoberta do cimento e sua utilização, originou o declínio destes sistemas tradicionais. Actualmente, retomam-se os conhecimentos ancestrais, por estes serem tanto ecológica com funcionalmente viáveis.

Para uma correcta aplicação das TEN, é necessário compreender os mecanismos que determinam o comportamento dos solos. A presença de água em excesso e a ocorrência de sobrecargas pode conduzir à instabilização de taludes constituídos por estes materiais. No caso de instabilizações com carácter superficial, a vegetação pode constituir uma solução alternativa para a sua estabilização tendo uma dupla função que consiste em:

(a) proteger a superfície dos taludes contra a erosão superficial e (b) estabilizar os solos internamente, prevenindo movimentos de vertente.

Aqui, as diferentes partes constituintes das plantas desempenham funções essenciais e distintas. A parte aérea, por intermédio dos fustes, reduz a acção dos agentes erosivos, efectuando também um enquadramento paisagístico da intervenção. O sistema radicular, consolida em profundidade o solo, incrementando as características de resistência ao corte do terreno. A formação de um sistema radicular extenso e profundo, permite também à planta sobreviver durante os períodos de défice hídrico, protegendo-a contra a seca. Este facto aumenta igualmente as características de resistência do terreno porque permite a redução de humidade a partir dos interstícios do solo, através das raízes de menor dimensão. A presença destas raízes constitui um reforço do solo, transferindo as solicitações de corte no solo, para as raízes, aumentando assim a segurança global do conjunto (solo+vegetação) contra deslizamentos de pequena profundidade e agregando-o simultaneamente.

Procurou-se neste trabalho efectuar uma breve abordagem aos custos associados às diferentes TEN, concluindo-se que os custos médios para cada tipologia de intervenção podem variar significativamente em função das características da zona de intervenção e da quantidade de material autóctone, que possa ser aproveitado. No entanto, e de um modo geral, apresentam, quando comparados com os custos associados às intervenções de estabilização tradicionais, valores mais reduzidos, diferenciando-se positivamente as TEN por ainda terem prazos de execução mais curtos e serem menos exigentes em termos de equipamentos necessários à sua implementação.

Um outro aspecto analisado, diz respeito ao enquadramento legislativo das TEN, tendo-se tomado como exemplo as situações existentes em Portugal e em Itália, verificando-se que no meio técnico nacional as TEN estão ainda numa fase embrionária, que se assinala ainda pelo seu carácter pioneiro e, como tal, serem adoptadas por um restrito número de técnicos e instituições.

A situação das TEN anteriormente descrito pode ser essencialmente explicada pelo facto destas medidas não constituírem uma solução que possa ser genericamente adoptada nos problemas de estabilização de solos. Na grande maioria das situações de instabilidade de taludes, estas técnicas não são as intervenções mais adequadas, privilegiando-se assim, a aplicação de outras medidas mais eficazes na estabilização dos

taludes, designadamente quando os movimentos apresentam amplitude vertical significativa.

Visando desenvolver a aplicação das TEN no meio técnico nacional será necessário que a sua adopção como solução de estabilização se baseie em estudos geológico-geotécnicos específicos, tal como acontece habitualmente para as intervenções tradicionais do âmbito da engenharia civil. Com esse objectivo será necessário acompanhar a evolução e o comportamento de obras em que se recorra a aplicação de TEN nas fases construtivas e pós-construtivas. Este acompanhamento terá como objectivo essencial, recolher informação sobre as soluções adoptadas, sobre as técnicas de execução e sobre os materiais seleccionados. Deste modo será possível construir uma experiência, que permita definir critérios de dimensionamento baseados nas características geotécnicas dos terrenos, visando a sua correcta implementação como solução de estabilização, vocacionada para situações de instabilidades superficiais de taludes, interessando sobretudo a zona superior dos maciços silto-argilosos que geralmente se encontra bastante descomprimida e alterada.

Lisboa, Setembro de 2008.

Lina Manuela Pereira de Matos

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associazione Italiana per Ingegneria Naturalistica (2002) – “Regolamento per l’attuazione degli interventi di Ingegneria Naturalistica nel Territorio della Regione Campania”, AIPIN, Itália.
- Bell, F. G.; Entwisle, D. C.; Culshaw, M. G., 1997 – A geotechnical survey of some british Coal Measures mudstone with particular emphasis on durability. *Engineering Geology*, 46, 115-129.
- Blatt, H.; Middleton, G. V.; Murray, R. C., (1980) – “Origin of sedimentary rocks”. 2ª Ed. Prentice-Hall, New Jersey, 782p.
- Blatt, H., (1982) – “Sedimentary petrology”. Freeman, New York.
- Campbell, C. V., (1967) - “Lamina, laminaset, bed and bedset”. *Sedimentology*, **8**, 7-26.
- Campbell, I., (1993) – “Engineering properties of kimmerdgian clays”. Unpublished PhD Thesis, Shesterfield University (in Jeremias, 2000).
- Cannon W.A. (1949). A tentative classification of root systems. *Ecology*, v. 30, p. 452-458.
- Carvalho, P. A. S.; Orlandi, C; Camargo, J C C; Okawa, M; Prieto, V; (1991) – “Manual de geotecnia: taludes de rodovias; orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas”. São Paulo: IPT, 388p.
- Chandler, R. J., (1974) – “Lias clays: The long-term stability of cutting slopes”. *Géotechnique*, **24**, 21-38.
- Coelho, S., (1996) – “Tecnologia de fundações”. E.P.G.E. - ISBN 972-8326-22-X. Parte 6, Capitulo 26, pp. 26.6-26.8.
- Cornelini, P. & Menegazzi, G. (2001), “Tecniche di Ingegneria Naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio”, in Bifulco C. (a cura di), *Interventi di Ingegneria*

Naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio, Ente Parco Nazionale del Vesuvio, S. Sebastiano al Vesuvio, Nápoles, Itália, pp. 87-141.

Coelho, A. G. (1979) – “Engineering geological evaluation of slope stability for urban planning and construction”. Bulletin of the Internacional Association of Engineering Geology, **19**, 75-78.

Deen, R. C., (1981) – “The need for a scheme for the classification of transitional (Shale) materials”. Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, 305p.

Dick, J. C. & Shakoor, A., (1992) – “Lithologic controls of mudrock durability”. Quarterly Journal of Engineering Geology, **25**, 31-46.

Dick, J. C.; Shakoor, A.; Wells, N., (1994) – “A geological approach toward developing a mudrock-durability classification system”. Canadian Geotechnical Journal, **31**, 17-27.

Farinha, J. P. (2005) – “Tabelas Técnicas”, Edições Técnicas E.T.L.L^{da}, Lisboa, Portugal.

Ferrari, R. (2000) – “Quaderni Di Cantiere”, Volume 3: Viminata Viva (di versante). Regione Lazio, AIPIN, Roma, Itália.

Ferrari, R. (2000) – “Quaderni Di Cantiere”, Volume 15: Palizzata Viva. Regione Lazio, AIPIN, Roma, Itália.

Florineth, F., Molon, M. (2004) – “Dispensa di Ingegneria Naturalística 2004/2005, Universidade de Bodenkultur, Viena, Áustria.

Franklin, J. A. & Chandra, R., (1972) – “The slake-durability test”. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, **9**, 325-341.

Freitas, A. R. M. (2006) – “Proposta de Requalificação Biofísica e Paisagística de um talude num percurso do parque nacional do Vesúvio com técnicas de engenharia biofísica”, Trabalho de fim de curso. Universidade de Évora, 88p.

Gamble, J. C., (1971) – “Durability-plastic classificastion of shales and other argillaceous rocks”. PhD Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 161p.

- Gillot, J. E., (1987) – “Clay in engineering geology”. Elsevier, Amsterdam, 468p.
- Gipson, M., (1965) – “Application of the electron microscope to the study of particle orientation and fissility in shales”. *Journal of Sedimentary Petrology*, **35**, 408-414.
- Gray, D. & Sotir, R. (1996) – “Biotechnical and soil Bioengineering Slope Stabilization”, John Wiley & Sons Inc., Nova Iorque.
- Hanna, T. H., (1985) – “Field Instrumentation in Geotechnical Engineering”. Trans Tech Publication.
- Heley, W. & MacIver, B. N., (1971) – “Engineering properties of clay shales. Development of classifications indexes for clay shales”. Technical Report N° S-71-6, 1, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 89p.
- Hencher, S. R., (1993) – Conference summary. In: Cripps, J. C. *et al.* (Eds.) “The engineering geology of weak rock, Balkema, Rotterdam, 499-504.
- Hunt, R. E.; (1984) – “Geotechnical Engineering Investigation Manual”. McGraw Hill, 938p.
- I.G.S. (2000). Recommended Descriptions of Geosynthetic Functions, Geosynthetic Terminology, Mathematical and Graphical Symbols (4^a ed.). Easley: International Geosynthetic Society.
- Ingram, R. L., (1953) – “Fissility of mudrocks”. *Bulletin of Geological Society of America*, **64**, 869-878.
- Ingram, R. L., (1954) – “Terminology for thickness of stratification and parting units in sedimentary rocks.” *Bulletin of Geological Society of America*, **65**, 937-038.
- ISRM, (1994) – “Suggested methods for laboratory testing of argillaceous swelling rocks”. *International Journal of Rocks Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, **31**, 547-550.

- Jeremias, F.T.; (1997) – “Influência dos factores geológicos nas propriedades geotécnicas das rochas silto-argilosas”. Tese apresentada para obtenção do grau de Especialista do LNEC. Lisboa, 328p.
- Jeremias, F. T.; (2000) – “Geological controls on the engineering properties of mudrocks of the north Lisbon area”. PhD Thesis, University of Sheffield, 464p.
- Kojima, K.; Saito, Y.; Yokokura, M., (1981) – “Quantitive estimation of swelling and slaking characteristics for soft rockmass”. Proceedings of the International Symposium on Weak Rock, Tokyo, 219-223.
- Lawrence A. Pierson; Gullixson, F.; Chassie, R. G.; (2001) – “Rockfall catchment design guide”. Final Report - Federal Highway Administration, Washington, DC 20590 November 2001.
- LNEC, 1971*b* – “Termos de petrografia mais utilizados em engenharia civil”. LNEC, Lisboa.
- Martinho, P. R. M., (2005) – “Contribuição para o estudo de técnicas de engenharia biofísica: Grade de Vegetação e Grade de Vegetação Vesúvio”. Trabalho de Fim de Curso, 95p.
- Martins, A. P.; Barros, F. J. R.; Pereira, J. L. M. B.; Trinta, Z. A. (2006) – “Manual de Drenagem de Rodovias” - Publicação IPR – 724, 2ª Edição. Engesur Consultoria e Estudos Técnicos Ltda, Brasil.
- McKee, E. D. & Weir, G. W., (1953) – “Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rocks”. Bulletin of Geological Society of America, **64**, 381-389.
- Menegazzi, G. & Aillaud, G. (2004) - “Piano dell’Intervento di Verifica del Contributo di Opere di Ingegneria Naturalística al Contasto de Fenómeno della Desertificazione”, Projecto DESERTNET, Parco Nazionale del Vesúvio, S. Sebastiano al Vesúvio (NA), Itália.
- Mirarco (2000) – Mirarco Professional Development Course. September 4-6, Sudbury, Canada.

- O'Brien, N. R., (1970) – “The fabric of a shale – an electron microscope study”. *Sedimentology*, **15**, 229-246.
- Odom, I. E., (1967) – “Clay fabric and its relation to structural properties in mid-continental Pennsylvanian sediments”. *Journal of Sedimentary Petrology*, **37**, 610-623.
- Okagbue, C. O., (1984) – “The geotechnical characteristics and stability of a spoil heap at a southwestern Pennsylvanian coal mine USA”. *Engineering Geology*, **20**, 325-341.
- Ordaz, J. & Argandoña, V., (1981) – “Swelling characteristics of some mudrocks from Asturias (Spain)”. *Proceedings of the International Symposium on Weak Rock*, Tokyo, 231-235.
- Pettijohn, F. J., (1975) – “Sedimentary rocks”. New York, Harper and Row, 628p.
- Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Tejo (2001) – Relatório Final (Rev. 1 - 2001/05/10). Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água.
- Potter, P. E.; Maynard, J. B.; Pryor, W. A., (1980) – “The sedimentology of shale: A study guide and references source”. New York, Springer Verlag, 306p.
- Projecto de Execução A10 Auto-Estrada Bucelas – Carregado, Sublanço Bucelas – Arruda dos Vinhos. Estudo elaborado para a BRISA – COBA 2000.
- Revisão do Plano Director Municipal de Arruda dos Vinhos - 1ª Fase - Volume II - Junho 2006.
- Romana, M., (1988) – “Practice of SMR classification for slope appraisal”. In: *Proc. 5th Int. Symp. on Landslides*, vol. 2. Balkema, Rotterdam, pp. 1227–1232.
- Russel, D. J., (1982) – “Controls on shale durability: The response of two ordovician shales in the slake durability test”. *Canadian Geotechnical Journal*, **19**, 1-13.
- Sarman, R.; Shakoor, A.; Palmer, D. F., (1994) – “A multiple regression approach to predict swelling in mudrocks”. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, **31**, 107-121.

- Schiechtl H. M. (1991) – “Bioingegneria Forestale Biotecnica Naturalistica”, Castaldi, Feltre, Italia.
- Schiechtl H. M. (1992), - “I Salici nell'uso pratico”, Edizioni Arca, Italia.
- Schiechtl H. M. & Stern, R. (1996) – “Ground Bioengineering Techniques for Slope Protection and Erosion Control”. Blackwell Science Ltd, Reino Unido.
- Seedsman, R. (1980) – “The behaviour of clays shales in water”. Canadian Geotechnical Journal, **23**, 18-22.
- Shukla, S., & Yin, J. (2006) – “Fundamentals of Geosynthetic Engineering”. Londres: Taylor & Francis Group.
- Spears, D. A., (1976) – “The fissility of some carboniferous shales”. Sedimentology, **23**, 721-725.
- Spears, D. A., (1980) - “Towards a classification of shales”. Journal of the Geological Society, London, **137**, 125-130.
- Spears, D. A. & Taylor, R. K., (1972) – “The influence of weathering on the composition and engineering properties of *in situ* Coal Measures rocks”. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, **9**, 729-756.
- Steward, H. E. & Cripps, J. C., (1983) – “Some engineering implications of chemical weathering of pyritic shale”. Quarterly Journal of Engineering Geology, **16**, 281-289.
- Stow, D. A., (1981) – “Fine-grained sediments: Terminology. Quarterly Journal of Engineering Geology, **14**, 243-244.
- Taylor, R. K. (1988) – “Coal Measures mudrock: Composition classification and weathering process”. Quarterly Journal of Engineering Geology, **21**, 85-99.
- Taylor, R. K. & Spears, D. A., (1981) – “Laboratory investigation of mudrocks”. Quarterly Journal of Engineering Geology, **14**, 291-309.

- Tucker, M. E., (1994) – "Sedimentary petrology". 2nd Ed. Blackwell, Oxford, 260p.
- Varnes, D.J., (1978) – "Slope movement types and processes". In: Schuster, R.L., Krizek, R.S. (Eds.), Landslides: Analysis and Control. US Nat. Acad. Sci., Transp. Res. Board Sp. Rep. 176, pp. 11–33.
- Venti, D., Bazzurro, F., Palmeri, F., Uffreduzzi, T., Venanzoni, R., Gibelli, G. (2003), Manuale Tecnico di Ingegneria Naturalistica della Provincia di Terni, Servizio Assetto del Territorio – Ufficio Urbanistica, Terni, Itália.
- Vertemati, J. C. (2004). Manual Brasileiro de Geossintéticos. São Paulo: Edgard Blücher. Brasil.
- Weaver, C.E. (1980) – "Fine-grain rocks: Shale or physilites." Sedimentary Geology, 27, 301-313.
- Weaver, C.E. (1989) – Clays, muds, and shales" Developments in sedimentology 44. Elsevier, Amsterdam, 819p.
- Zbyszewski, G. & Assunção, C. T., (1965) – "Noticia explicativa da folha 30D, Alenquer. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 104p.
- Zezeze, J. L. (1997) – "Movimentos de vertente e perigosidade geomorfológica na região a norte de Lisboa". Dissertação de doutoramento em Geografia Física, apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Lisboa, 1997, 575 p.

BIBLIOGRAFIA ELECRÓNICA

<http://earthsci.org/processes/geopro/massmov/massmov.html> (visitado em Novembro de 2007).

<http://enrico-piolanti.pt/index.htm> (visitado em Maio de 2008).

<http://geology.about.com/od/naturalhazardsclimate/ig/Landslides/laconchita.htm> (visitado em Novembro de 2007).

<http://infotrek.er.usgs.gov/pubs/> (visitado em Fevereiro de 2008).

<http://pubs.usgs.gov> (visitado em Fevereiro de 2008).

<http://snirh.pt/> (visitado em Maio de 2008).

<http://www.bylandengineering.com> (visitado em Maio de 2008).

<http://www.cimertex.pt> (visitado em Maio de 2008).

<http://www.construlink.com> (visitado em Maio de 2008).

<http://www.ga.gov.au/hazards/landslide/gallery.jsp> (visitado em Janeiro de 2008).

<http://www.landslidecentre.org/database.htm> (visitado em Dezembro de 2007).

<http://www.mountainnature.com> (visitado em Fevereiro de 2008).

<http://www.peteremp.pt/> (visitado em Abril de 2008).

<http://www.refer.pt> (visitado em Abril de 2008).

<http://www.smate.wvu.edu/teched/geology/Landslides-Romania.html> (visitado em Dezembro de 2007).

<http://www.soton.ac.uk/~imw/portmutton.htm> (visitado em Março de 2008).

<http://www.terraarmada.com.br> (visitado em Março de 2008).

