



Estabilidade de Taludes Rochosos

Exercícios de aplicação

Problema 1

A possibilidade de ocorrência de queda de blocos do material rochoso constituinte da escarpa da Serra do Pilar, fez suscitar algumas apreensões sobre a segurança de alguns edifícios situados na sua crista, bem como quanto à utilização dos caminhos existentes na base da escarpa.

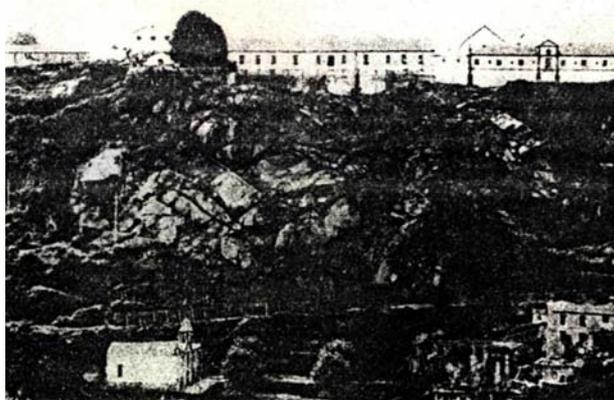
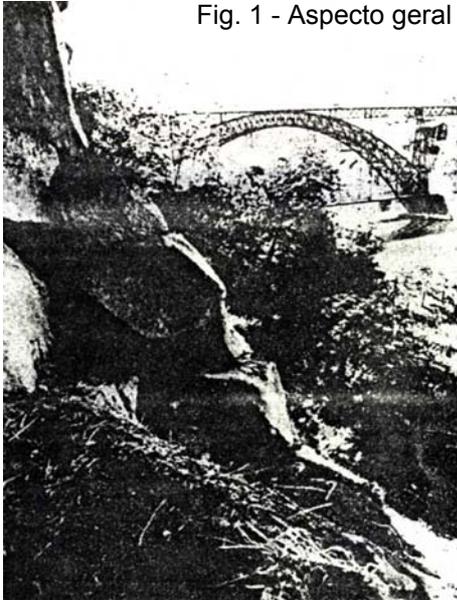
Levados a cabo os primeiros estudos, verificou-se estar o maciço, à superfície, fortemente fracturado e descomprimido. As diaclases mais comuns distribuem-se por duas famílias:

N10W, 45SW

N55E, 50SE

Sabendo que a escarpa (talude) apresenta uma atitude local EW, Vertical e que o ângulo de atrito do material rochoso é de 30° , admite a hipótese de escorregamentos? Justifique.

Fig. 1 - Aspecto geral da escarpa da serra do Pilar (Vila Nova de Gaia)



Problema 2

No anteprojecto de uma rodovia, que irá atravessar um maciço cristalino, foram medidas duas descontinuidades.

Uma das descontinuidades (família de fracturas) tem uma atitude média N82W;50N. A outra descontinuidade (plano de falha) apresenta um pendor aparente 15SE num plano vertical de direcção N26W, e aflora num outro plano vertical de direcção N10E, com um pendor aparente 40N.

1) Determine a atitude do plano de falha.

2) Sabendo que, na zona em estudo, a rodovia poderá apresentar trechos de direcções N20E e N74W, e que o ângulo de atrito das descontinuidades é de 30° , escolha, justificando, qual o trecho da rodovia que minimiza a desprendimento de blocos para o interior da escavação.

Problema 3

Em problemas de Engenharia nos quais estão envolvidos taludes rochosos, o projectista está sempre à procura do melhor compromisso entre os aspectos económicos e os aspectos da segurança. Se, por um lado, quanto mais inclinado for o talude menores serão o volume escavado e os custos inerentes, pelo outro, taludes muito inclinados podem pôr em risco vidas e haveres.

Sabendo que, no local onde se encontra projectada a exploração de uma pedreira foram desenvolvidos trabalhos de superfície com a finalidade de se determinar a atitude das principais descontinuidades existentes no local e que os resultados obtidos forneceram os dados seguintes:

- uma das descontinuidades (D1) apresenta um pendor aparente de 64W num plano vertical de direcção E-W, e aflora num outro plano vertical de direcção S26E, com um pendor aparente de 48SE;
- outra das descontinuidades (D2) tem a mesma direcção de D1 e é perpendicular a esta;
- uma terceira descontinuidade (D3) foi interceptada perpendicularmente por uma sondagem, de atitude 44SE;N40W e
- o ângulo de atrito das descontinuidades é em média de 38° (considerando a coesão nula).

1) Determine a atitude das descontinuidades acima referidas (D1, D2 e D3).

2) Discuta a possibilidade de escorregamentos para o interior da escavação (*) considerando que o talude projectado apresenta atitude N35E;70NW e propondo, caso necessário, uma solução alternativa, tendo em conta que o avanço se deve restringir à direcção N55W→ 55SE.

(*) apresentando todos os dados em que se baseou para apresentar a sua resposta

Problema 4

Numa região do Maciço Calcário Estremenho (Orla Ocidental Portuguesa) foi projectada uma escavação, conforme se mostra na Fig. 1.

Nos trabalhos preliminares, efectuaram-se:

- 1) **Ensaio de Sísmica de refração (SR)**, em particular, dois perfis (SR1 e SR2), efectuados à cota 85, indicados na Fig. 1.
- 2) **Levantamentos da fracturação**, observados em caminhos antigos e em locais onde a cobertura de alteração (“terra rossa”) era praticamente nula. Os dados obtidos estão sintetizados no Quadro 1.

Sector A	Sector B
Família 1 - NS, 70E Família 2 - N80E, 80SE	Família 3 - N10E, 45 NW Família 4 - NS, 60 E Família 5 - N80W, 40 SW
As fracturas estão limpas	As fracturas têm preenchimento argiloso
A estratificação é horizontal	

Quadro 1 -Famílias de fracturas e estratificação

Tendo em conta o perfil previsto para a escavação (Fig. 1) e os resultados do levantamento da fracturação (Quadro 1)

- a) analise as hipóteses de rotura (planar, em cunha ou por basculamento) nos seguintes taludes:

T2 e T8 ou **T1 e T3**

- b) no caso de rotura, indique quais os pendores que aconselharia.

Nota: ângulos de atrito: rocha calcária (30°); material argiloso (25°)

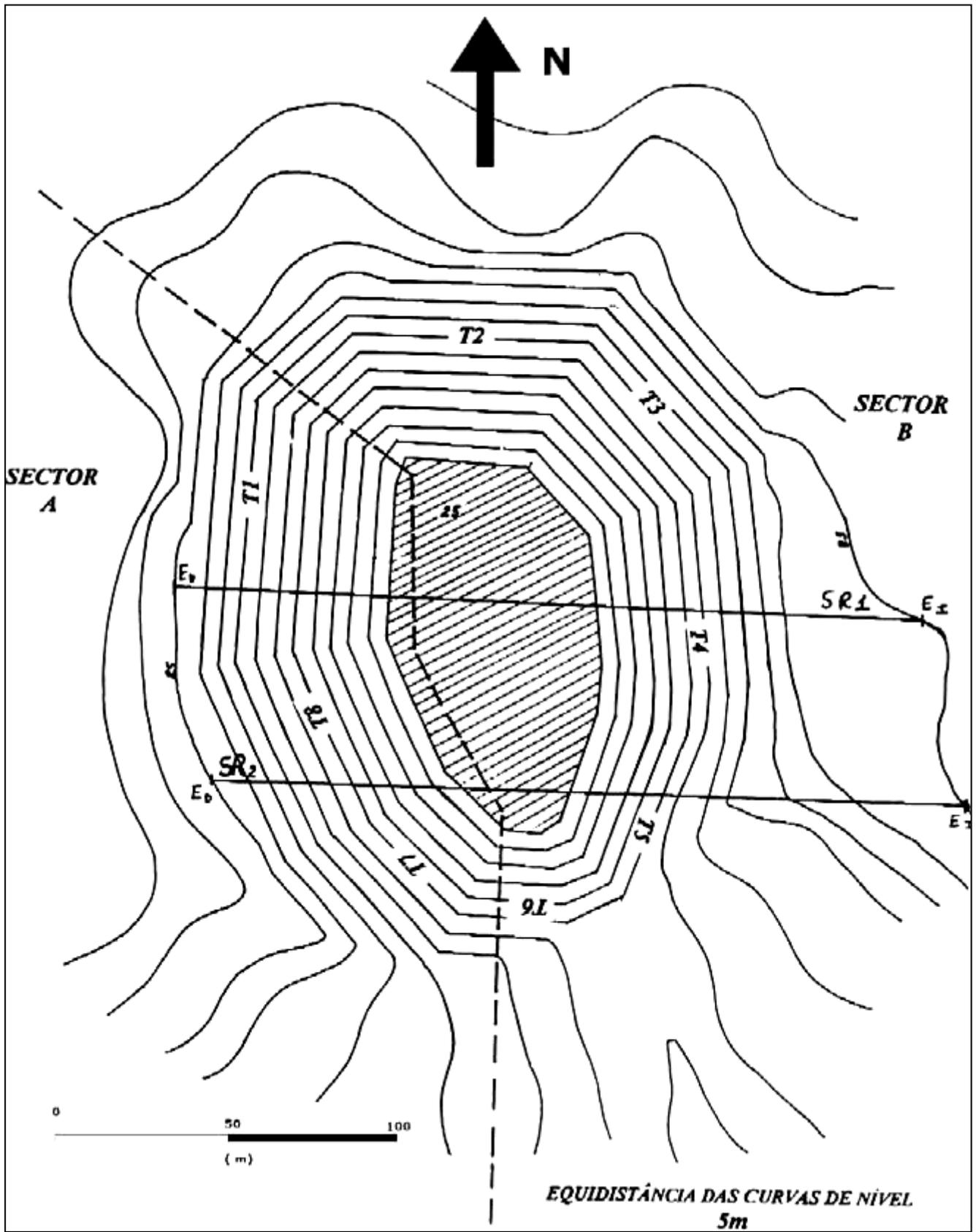


Figura 1

Problema 5

Pretende-se explorar, a céu-aberto e com quatro frentes de trabalho, um rocha ornamental da região da Beira Alta, até à profundidade de 60 metros. Devido a restrições físicas, dois dos taludes deverão ter direcção E-W e os outros dois deverão ter direcção N30E.

O levantamento geotectónico da região permitiu identificar:

- (1) Rochas graníticas
- (2) Sistemas de filões quartzosos com direcção NNE e de pendor vertical
- (3) Quatro famílias de descontinuidades:

F1 – N40E, 50SE

F2 – N40E, perpendicular a F1

F3 – N75W, 35SW

F4 – N75W, perpendicular a F3

Sabendo que o ângulo de atrito das descontinuidades é, em média, 30° , calcule a melhor a inclinação dar a melhor inclinação a dar aos taludes de forma a evitar o escorregamento de material para o interior da cavidade. Justifique.

Faça um esboço ilustrativo ou apresente a projecção estereográfica dos diferentes taludes.

Problema 6

Pretende-se construir uma rodovia na região de Lisboa, atravessando rochas estratificadas de idade cretácica (rochas calcário-margosas, bastante fracturadas, com uma fina cobertura de "terra rossa"). A directriz dessa rodovia apresenta direcção variável, entre N8W e N14W.

- (1) Observações *in situ* permitiram verificar que os estratos apresentam pendor aparente de 13NW e 27SW, respectivamente, em planos verticais com direcção N45W e S45W.
- (2) Observou-se ainda a existência de uma família de diaclases perpendiculares à estratificação e com a mesma direcção.
- (3) Algumas sondagens, efectuadas na região acima referida, com atitude aproximada 29SE, S20E e atingindo a profundidade de 73m, intersectaram perpendicularmente outra família de diaclases.
- (4) As formações calcárias referidas são intersectadas por um sistema de filões verticais, mesocratas, de orientação geral NS.

Considerando um ângulo de atrito das descontinuidades de 25° , e uma altura máxima do talude de 20m, apresente, justificando, a inclinação que considera mais adequada a dar aos taludes laterais da rodovia (faça um esboço ilustrativo ou apresente a projecção estereográfica dos taludes).

Problema 7

Pretende-se construir uma rodovia com duas direcções, N-S e N60E; essa rodovia atravessa um maciço calcário de camadas horizontais que apresenta as seguintes famílias de fracturas:

Família 1 - N45E, 40 SE
Família 2 - N30W, Vertical
Família 3 – EW, 70 N

Sabendo que o ângulo de atrito é, em média, de 30°, apresente a(s) melhor(es) solução(ões) geotécnica(s). Se achar conveniente faça um esboço do perfil transversal das rodovias.

Nota: Tenha em atenção que para cada direcção da rodovia deverá considerar dois taludes.

Problema 8

Em Abril de 1972, na encosta de Outeiro da Forca, cuja atitude é N40E,40SE, próximo de Santarém, a 70 km de Lisboa, iniciou-se um estudo de reconhecimento geológico de superfície, por forma a elaborar um programa de prospecção e exploração. O estudo realizado permitiu reconhecer três famílias de descontinuidades:

F1 – N70E,30SE
F2 – N10E,20SE
F3 – N35E,30NW

As formações geológicas são constituídas por intercalações de complexos arenosos e argilito-siltosos bastante meteorizados, com um ângulo de atrito de 15°.

Discuta a possibilidade de ocorrência de escorregamentos na referida encosta.

Problema 9

No local de uma futura pedreira de granito, com uma área de aproximadamente 2 hectares, foram detectadas à superfície, após remoção de uma camada de ≈ 5 m de saibro granítico, algumas famílias de falhas, com as seguintes atitudes:

F1 : N14E 45 SE
F2 : N87W 80 N
F3 : N82E 5N

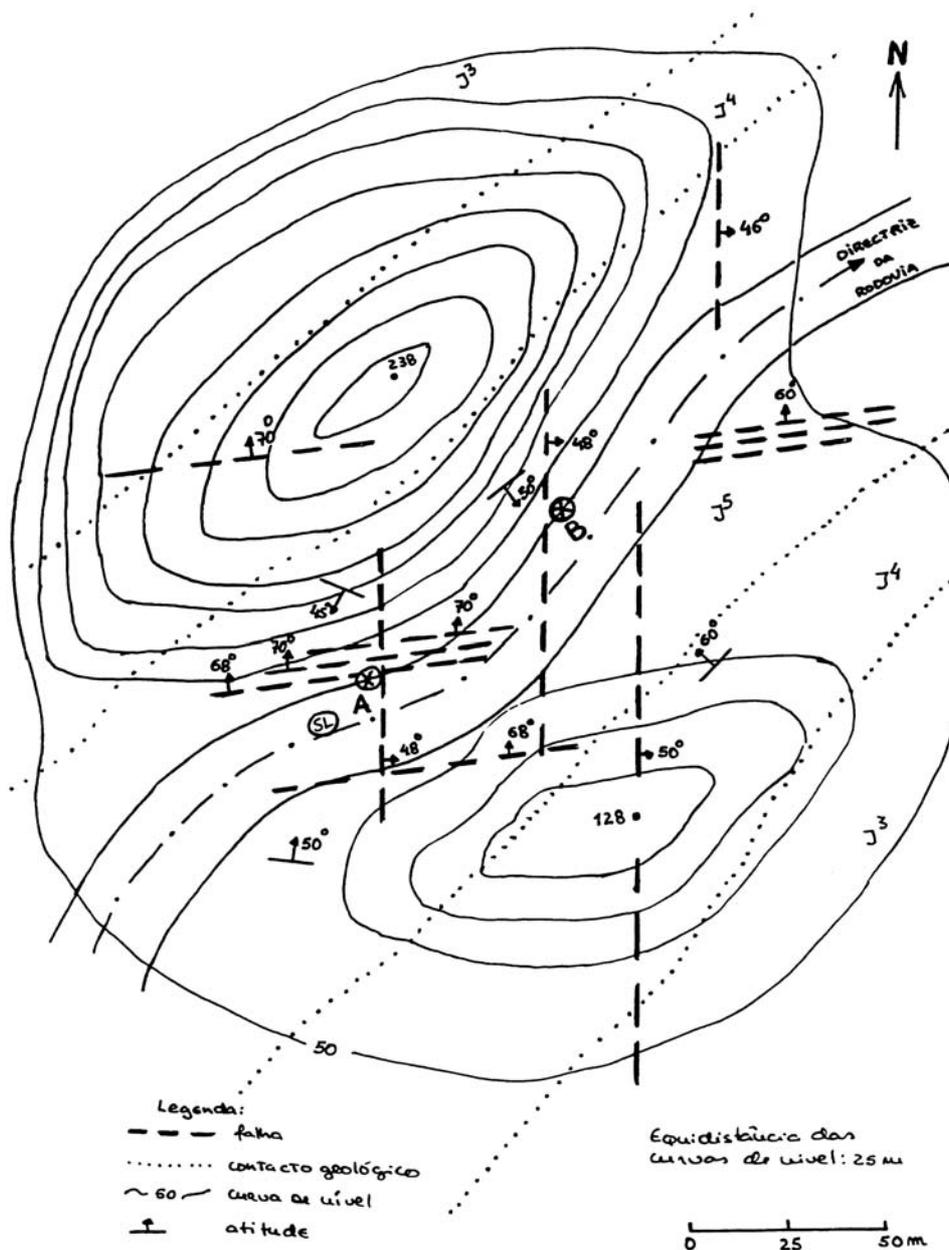
Pretende-se conhecer qual a **melhor atitude a dar às frentes (quatro) da pedreira**, de forma a minimizar o desprendimento de blocos para o interior da cavidade.

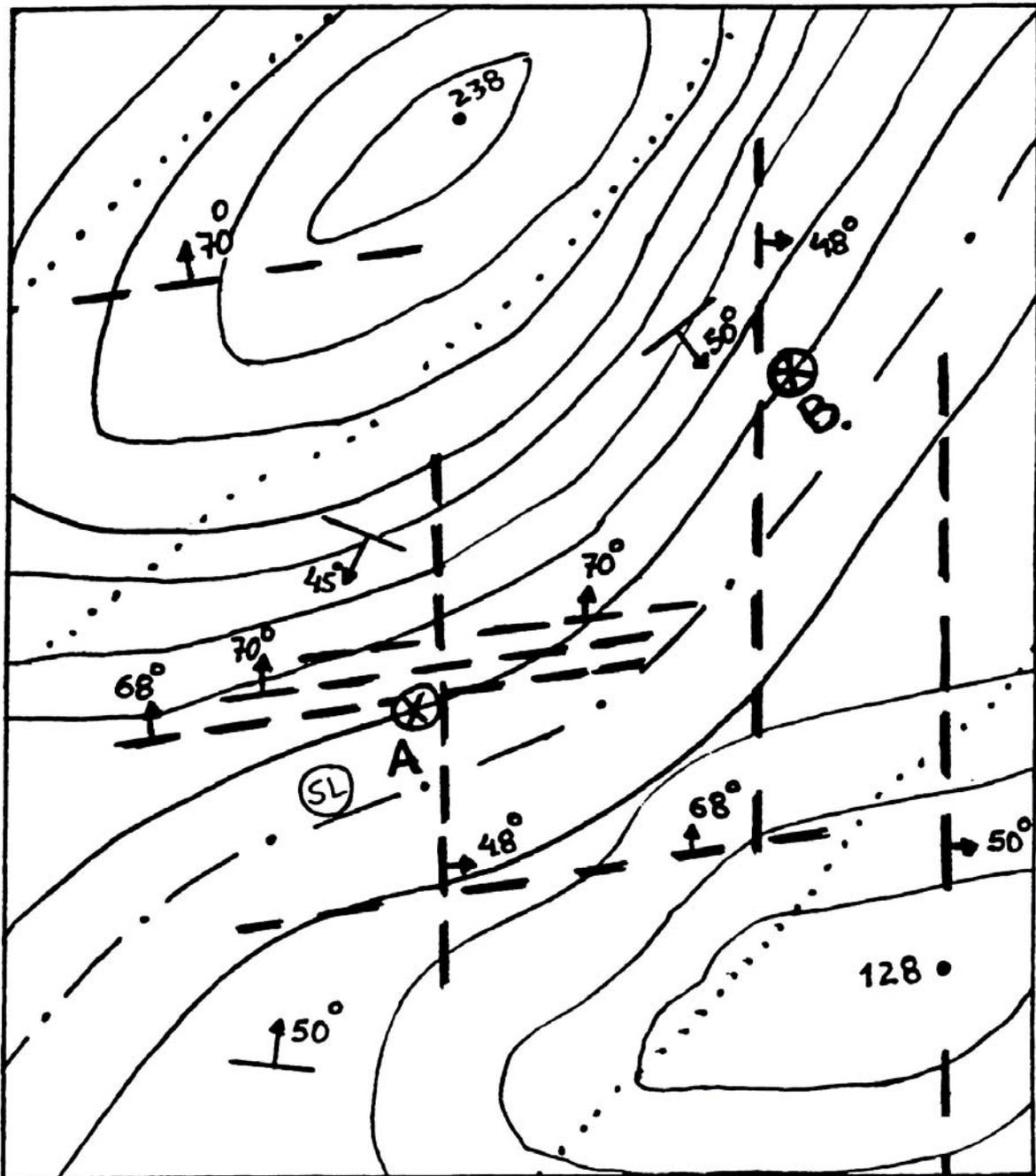
Considere para o caso de um granito , não alterado, $\phi \approx 34^\circ$.

Problema 10

Pretende-se construir uma rodovia na região de Fátima, atravessando rochas estratificadas de idade jurássica. A directriz dessa rodovia encontra-se representada na Figura 1. Na Figura 2 apresenta-se em pormenor a área envolvente a um dos seus troços.

Tendo em conta que a rasante da rodovia se encontra projectada à cota 60, analise a estabilidade de taludes na envolvente dos pontos A e B. Para tal, utilize toda a informação de carácter geomorfológico, geológico e tectónico das figuras referidas anteriormente. Justifique a sua resposta e indique na folha da prova todos os cálculos ou medições efectuadas.





0 20 40 m

Estratigrafia		
Idade	Simb	Litologia
Jurássico	J5	Calcários com intercalações de argila
Jurássico	J4	Calcários margosos Grés
Jurássico	J3	Calcários compactos

Parâmetros geotécnicos	
Formação	ϕA
argila	25°
calcário	40°
Calcário margoso	35°
grés	32°

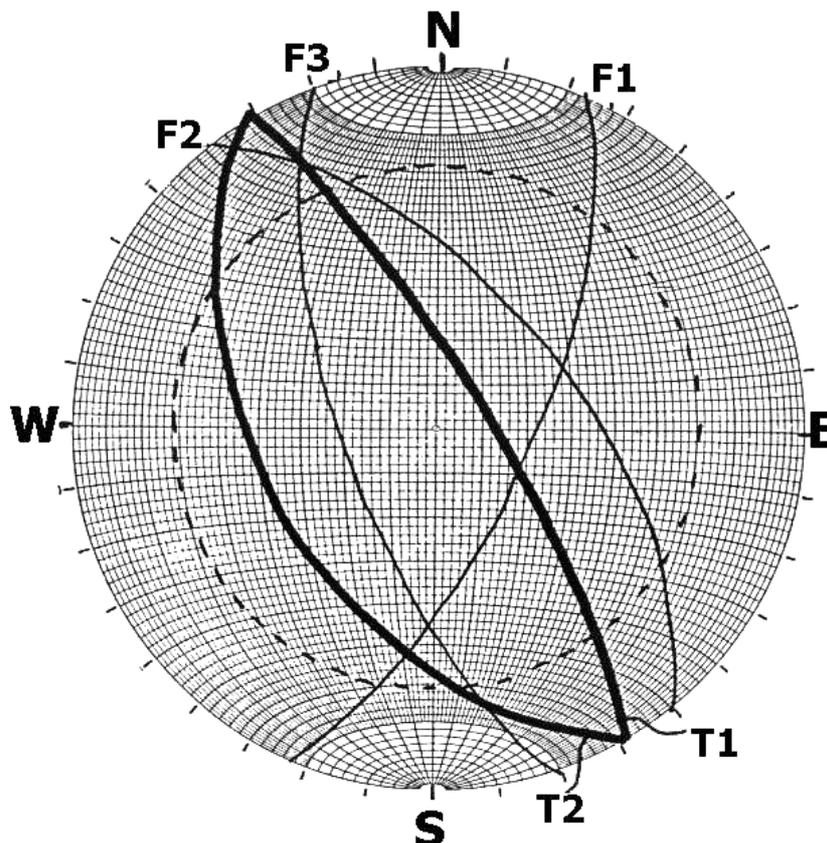
Problema 11

Um dos aspectos com os quais a Geologia de Engenharia se preocupa é com a segurança de pessoas e bens. Assim, verificou-se que na região de Lisboa várias pessoas se associaram para reclamar a segurança dos seus imóveis. Estes edifícios, localizados na vizinhança de uma importante rodovia, encontram-se na crista dos 2 taludes (T1 e T2) representados na Figura 2.

Tendo em mente tal preocupação a autarquia solicitou que uma equipa de peritos efectuassem o levantamento das descontinuidades do maciço rochoso, existentes na zona em questão e que se pronunciasse sob a eventual instabilidade das construções. As descontinuidades cartografadas assim como os taludes encontram-se representadas na Figura abaixo.

Fará sentido a preocupação dos moradores? Justifique a sua resposta.

	Inclinação		Inclinação		Inclinação
T1	80°	F1	70°	F3	70°
T2	50°	F2	60°		



Problema 12

Observações "in situ", no local onde se prevê criar uma pedreira de mármore (região de Estremoz) com **duas frentes de trabalho**, permitiram identificar três famílias de descontinuidades:

- (1) **D1**, com atitude N10W, 60NE;
- (2) **D2** apresenta:

- a) pendor aparente 20N, medido num plano vertical com direcção N5W.
- b) pendor aparente 30NE, medido num plano vertical com direcção S80W.

- (3) A terceira família (**D3**) foi reconhecida por uma sondagem de atitude 20NE, N45E, que a intersectou perpendicularmente.

Apresente, **justificando**, a **orientação possível que podem ter os taludes**, sabendo que:

- não deve ocorrer **nenhum tipo de rotura** ;
- para um melhor aproveitamento do recurso mineral, os **taludes devem ser verticais**.

NOTA: Considere um ângulo de atrito das descontinuidades de 25°.

Problema 13

Em problemas de Engenharia nos quais estão envolvidos taludes rochosos, o projectista está sempre à procura do melhor compromisso entre os aspectos económicos e os aspectos da segurança. Se por um lado, quanto mais inclinado for o talude menores serão o volume escavado e os custos inerentes, por outro, taludes muito inclinados podem pôr em risco vidas e haveres.

- 1) Tendo presente estes princípios, analise a escolha efectuada para os taludes laterais (**T1** e **T2**) de uma rodovia, tendo em consideração as roturas planar e em cunha, sabendo que:

- o talude **T1** tem atitude N40W, 50SW;
- o talude **T2** tem a mesma direcção que T1 e faz com este um ângulo de 70°;
- a família de descontinuidades **D1** intersecta o talude T1 segundo uma recta que inclina 38° para NW e o talude T2 segundo uma recta que inclina 12° para SE;
- a família de descontinuidades **D2** foi intersectada perpendicularmente por uma sondagem com atitude 35 NE, N65E.

Considere um ângulo de atrito das descontinuidades de 25°.

- 2) Faça os seus comentários, apresentando **críticas e/ou sugestões**, relativamente à escolha efectuada para os taludes

- 3) Se não houvesse quaisquer restrições quanto à orientação dos taludes, que atitudes escolheria para os taludes T1 e T2?

Problema 14

Escolha os melhores taludes para uma rodovia, atendendo à existência das seguintes famílias de descontinuidades e a que não existem quaisquer restrições quanto à orientação daqueles.

- D1 - NS, 60W
- D2 - WE, 50N
- D3 - S60W,70SE
- D4 - N15W,VERT

Problema 15

Com vista à reutilização da área de uma antiga pedreira, por forma a minimizar os problemas ambientais decorrentes da sua exploração, está em projecto o loteamento e a urbanização da área acima referida, para desenvolvimento de uma zona residencial e/ ou comercial.

Sabendo que (na área onde se encontra projectada a construção do parque de estacionamento):

- O talude da pedreira apresenta atitude N20W;75SW
- O ângulo de atrito das descontinuidades é em média de 32° (considerando a coesão nula)
- Existem dados referentes à realização de uma sondagem, de atitude 55SE;N360W, que interceptou perpendicularmente uma descontinuidade (plano de falha), e que, o maciço rochoso se encontra fortemente fracturado segundo mais duas famílias de descontinuidades de atitudes médias N34°E;60°NW e N62°W;52°SW

Aproveitamento de pedreira Inactiva

Discuta (justificando) a possibilidade de ocorrência de escorregamentos de material rochoso para o interior da área acima referida.



Problema 16

Na fase de Projecto de construção de uma rodovia (figura abaixo), que será feita por escavação, pretende-se fazer um levantamento dos problemas previsíveis a nível da estabilidade de taludes, de modo a escolher as soluções mais seguras e económicas. Para isso, procedeu-se ao levantamento topográfico, geológico e tectónico da região. Os dados obtidos estão sintetizados no quadro que se segue.

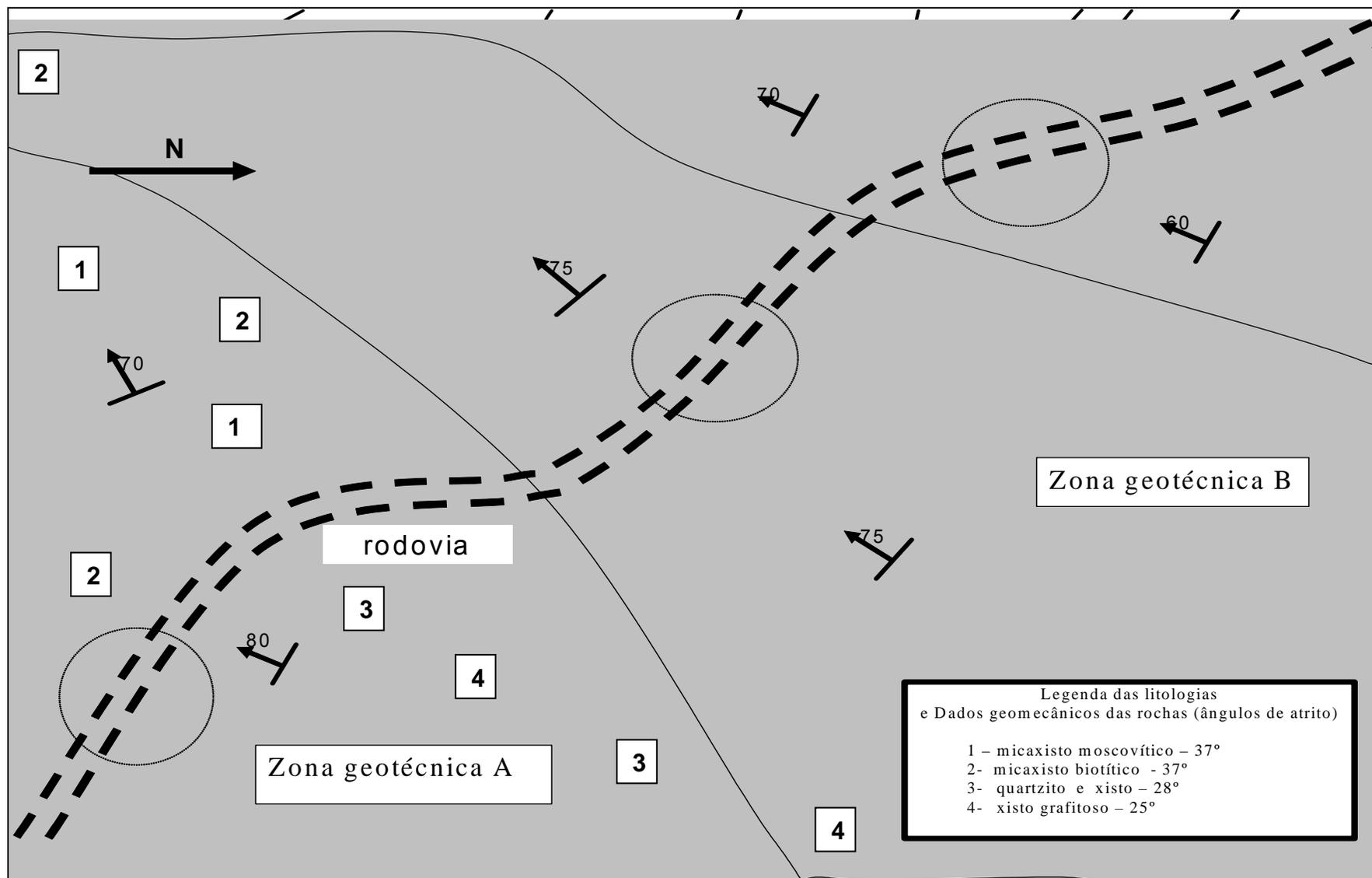
Topografia	Região quase plana (cota 600) , apenas com algumas depressões da ordem dos metros
Litologias	Identificam-se micaxistos, quartzitos, xistos e xistos grafitosos, com cobertura de solo
Tectónica	Xistosidade muito inclinada (ver mapa)
Zonamento geotécnico	Distinguem-se Zonas Geotécnicas, ZGA e ZGB , sendo a última mais problemática devido à densidade de fracturação

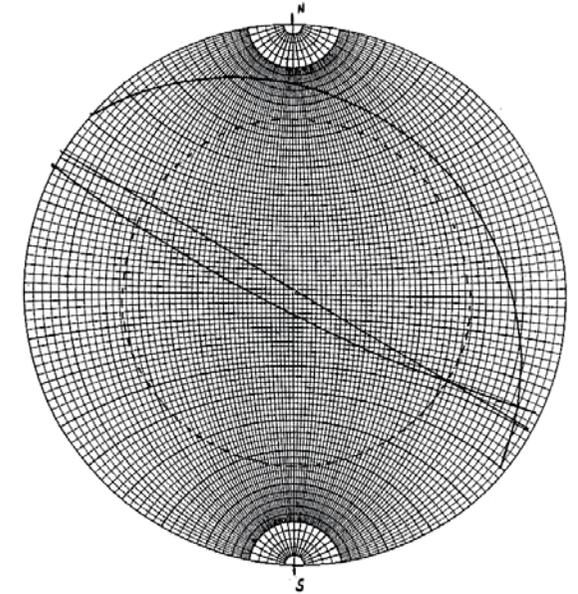
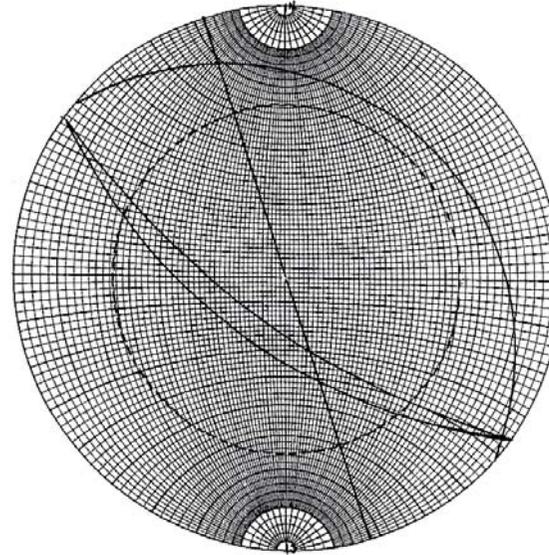
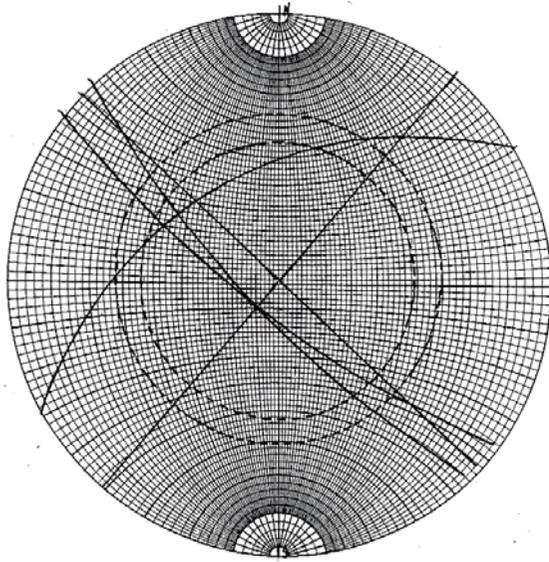
ZGA	Diaclases N50W, 20 NE
ZGB	Diaclases N40E, verticais Diaclases N60E, 45 NW

A análise da estabilidade de taludes foi efectuada segundo a abordagem geométrica, utilizando a Projecção Estereográfica (Rede de Wulff), e as respectivas projecções são apresentadas.

Por esquecimento, quem efectuou a projecção estereográfica, dos dados relativos às três regiões da estrada, não colocou quaisquer referências quanto à sua localização ou aos dados projectados. Pretende-se, agora, “arrumar a casa” pondo as respectivas designações!

Utilizando as folhas de resposta, faça a correspondência entre as projecções e o respectivo troço da rodovia, identificando as entidades projectadas. Proceda também à análise, de acordo com a folha de resposta, indicando as melhores atitudes a dar aos taludes laterais da rodovia naquelas regiões. Justifique as suas conclusões.





	ZGA N / ZGA S / ZGB
φ_A (justifique)	
Basculamento (justifique)	
Rotura Planar (justifique)	
Rotura em cunha (justifique)	
Atitude dos taludes (justifique)	

	ZGA N / ZGA S / ZGB

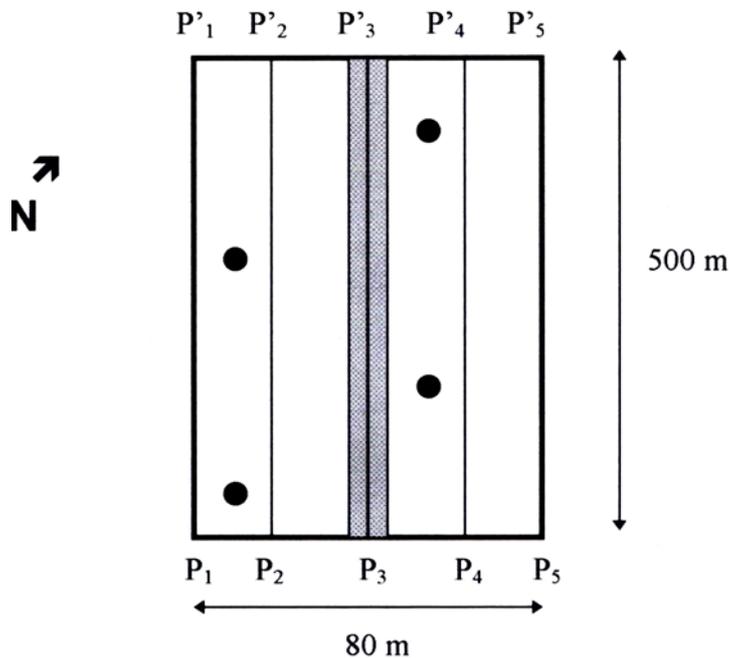
	ZGA N / ZGA S / ZGB

Problema 17

O traçado de uma rodovia foi projectado num local onde existe uma camada superficial de alteração, reconhecida a partir de uma campanha prévia de sísmica de refacção. Verificou-se então a necessidade de efectuar um levantamento geológico mais pormenorizado.

Esse estudo consistiu na realização de algumas sondagens verticais, que se encontram representadas na Figura 1. A observação dos tarolos de sondagem permitiu verificar a existência de duas famílias de diaclases: (i) uma com direcção N40W, fazendo um ângulo de 30° com a sondagem, inclinando para SW, (ii) outra com direcção N-S, fazendo um ângulo de 20° com a sondagem, e inclinando para W.

Tendo em atenção que o ângulo de atrito das discontinuidades é de 35° , determine (justificando) a melhor atitude a dar aos taludes da rodovia, apresentando em corte transversal a solução por si proposta.



Problema 18

Durante o Inverno de 2000-2001, devido às intensas e prolongadas chuvas, ocorreram problemas de estabilidade na escarpa situada entre as pontes D. Luís I e D. Maria Pia (cidade do Porto). O maciço rochoso aflorante é caracterizado por um granito de grão médio de duas micas, usualmente designado por granito do Porto. Estudos efectuados no local indicam que esta formação geológica, com permeabilidade de fissura, aparenta estender-se até grandes profundidades. Mediante o levantamento das atitudes das diaclases, definiu-se a estrutura da fracturação do maciço, verificando-se que este é caracterizado por 3 famílias de diaclases cujas atitudes médias se apresentam de seguida:

D₁- N60°W; 85° SW

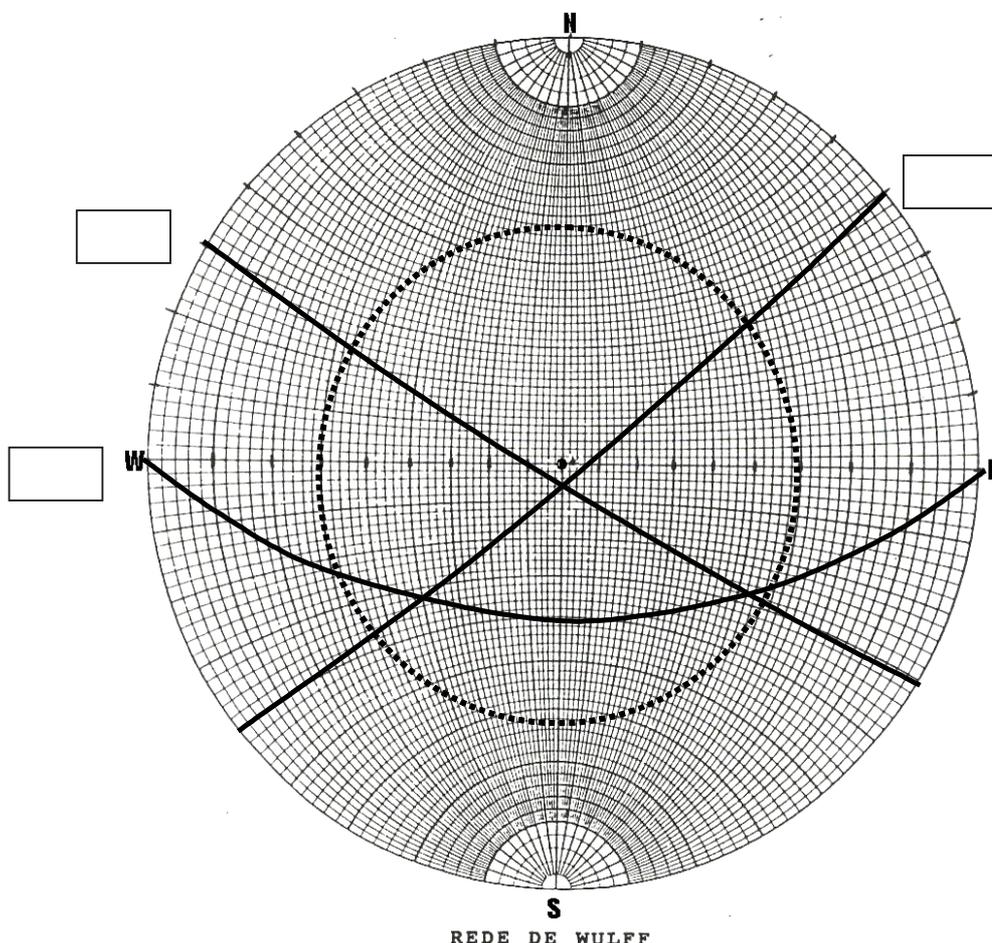
D₂ - N50°E; 85° SE

D₃ - EW; 45°S

a) Tendo em conta a projecção estereográfica mostrada na Figura 1, identifique (na Figura) as famílias D₁ e D₂ e D₃.

b) Sabendo que, na zona em estudo, a escarpa apresenta atitude N80°E; 50°S, e que o ângulo de atrito do material rochoso é de 30°, caracterize (justificando) qual ou quais os problemas de estabilidade detectados na referida escarpa.

c) Com base nos resultados obtidos na alínea anterior, faça um esboço ilustrativo da secção transversal da escarpa em estudo de modo a minimizar os riscos de escorregamento de blocos.



Problema 19

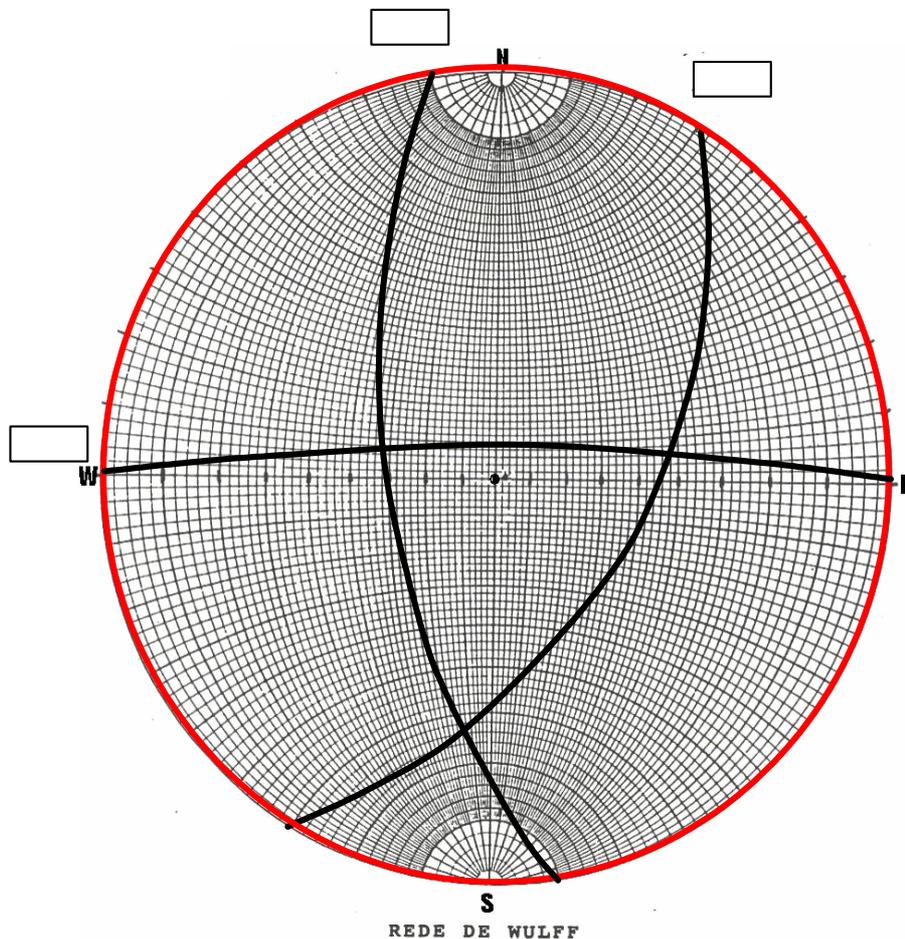
Durante a fase de reconhecimento e prospecção geotécnica de uma área na região de Lisboa, procedeu-se à elaboração de um mapa de afloramentos calcários (calcários compactos e calcários margosos com ângulos de atrito, respectivamente, de 40° e 30°). O estudo referido envolveu, essencialmente, o levantamento das discontinuidades, tendo-se registado a atitude das diaclases (D) e das falhas (F). A estratificação é horizontal. Os resultados obtidos apresentam-se de seguida:

D_1 - $N30^\circ E$; $50^\circ NW$
 D_2 - $N10^\circ W$; $60^\circ SW$
 F - $E-W$, $80^\circ N$

a) Identifique, na Figura abaixo, as projecções estereográficas correspondentes a D_1 e D_2 e à falha F .

b) Sabendo que, na zona em estudo, se encontra projectada uma rodovia de direcção E-W, discuta a possibilidade desprendimento de blocos nos taludes laterais.

Nota: Tenha em consideração que nos taludes em causa e nas discontinuidades referidas ocorrem os dois tipos litológicos.



Problema 21

No problema de estabilidade de taludes rodoviários existem diversos factores condicionantes que se relacionam com parâmetros naturais (intrínsecos ou extrínsecos) e decorrentes da actividade humana.

a) Enumere alguns desses factores ou parâmetros condicionantes.

Dada a complexidade dos factores assim envolvidos, várias são as metodologias com as quais se pretende avaliar a estabilidade dos taludes naturais.

b) Considerando a análise geométrica (com recurso à projecção estereográfica) da estabilidade de taludes e tendo em conta a informação disponível na FIG. 1, na FIG. 2 e na Tabela 1, analise cada uma das secções (AB, CD, EF) assinaladas na rodovia, referentes a uma estrada de intenso tráfego urbano na zona de Monsanto (Lisboa), escolhendo as melhores atitudes a dar aos taludes.

c) Descreva, sob o ponto de vista tectónico, a área envolvente à rodovia em estudo (Região de Monsanto).

FORMAÇÃO (MESOZÓICO)	DESCRIÇÃO	PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	
		ϕ	c (kPa)
P - Neocretácico - Complexo Vulcânico de Lisboa	Escodas lávicas alternando com níveis de piroclastos, aparelhos vulcânicos e filões. Assenta discordantemente nos calcários do Cenomaniano. A sua alteração produz solos grosseiros e argilosos.	25	50
C ³ _c - Cenomaniano - Complexo carbonatado cenomaniano	Calcários cristalizados com rudistas e calcários apinhoados.	40	80
C ² _c - Cenomaniano - Complexo carbonatado cenomaniano.	Calcários margosos e margas.	40	80

TABELA 1. Sequência e caracterização litostratigráfico e parâmetros geotécnicos

