

**PROJECTO DE ESTABILIZAÇÃO DO TALUDE PRINCIPAL DA
PEDREIRA DE MÁRMORE DO CARRASCAL (BORBA)
por Prof. C. Dinis da Gama
Pres. Centro de Geotecnia do IST**

RESUMO

Descreve-se a sucessão de trabalhos destinados a promover a estabilização efectiva do talude que constitui o limite SW da Pedreira de mármore do Carrascal nº9, localizada em Borba e pertencente à empresa Plácido José Simões. As etapas do estudo envolveram as seguintes actividades:

- *Caracterização estrutural e geomecânica do talude*
- *Tratamento dos dados de fracturação do maciço rochoso*
- *Análises de estabilidade do talude*
- *Dimensionamento do sistema de pregagens*
- *Projecto de soluções de extracção subsequente do mármore*
- *Acompanhamento da execução das pregagens*
- *Monitorização de deslocamentos do talude*

1 – INTRODUÇÃO

As principais características do problema a analisar foram inicialmente obtidas a partir de dados disponibilizados pela empresa Plácido José Simões ao autor em Fevereiro de 2003, referindo-se à aparente instabilização do talude rochoso que constituía o limite SW da Pedreira nº 4891 – Carrascal nº9, em especial a zona localizada sob a grua que se situa junto ao segmento Borba-Vila Viçosa da EN255.

Tal situação foi detectada em Outubro de 2001, onde foram assinaladas as circunstâncias desfavoráveis criadas pela formação de uma “cunha deslizante de estrutura multifracturada, com atitude média N40°W, 70°NE, cuja dimensão média é de 90 m de comprimento, 45 m de altura e possança variável de 0 a 15 m”. A essa cunha foi atribuído um peso da ordem de 100.000 t, que se subdividiu em dois blocos, um de 30.000 t não confinado e outro de cerca de 60.000 t de tipo semi-confinado.

A proximidade da EN 255 e a vizinhança da pedreira localizada a Oeste, tornavam a situação mais crítica, dadas as possibilidades de poderem ser afectadas propriedades alheias, caso a gestão do problema de estabilidade da referida cunha rochosa não fosse a mais adequada.

Na ocasião foi consensual (com a anuência do representante da DREAL), a adopção de medidas cautelares de exploração de citada zona da pedreira, segundo as quais deveriam ser suspensos os desmontes de blocos na zona da base da cunha, seriam preenchidas com betão as cavidades existentes na área comum às duas pedreiras, assim como se construíram dois muros de suporte em betão armado.

Era ainda reconhecida a necessidade de no futuro “melhorar essas soluções”, através de estudos especializados, entre os quais se pode colocar o presente estudo, que possuía a intenção de fornecer simultaneamente soluções viáveis de estabilização e de prosseguimento da extracção na zona em análise.

Para alcançar tal objectivo, efectuaram-se vários estudos geotécnicos de estabilidade do talude em causa, assim como se equacionaram um certo número de opções de prosseguimento da exploração de mármore, as quais são compatíveis com aquela estabilidade em determinadas circunstâncias temporais e sequenciais de extracção, intercalando fases de instalação de ancoragens e pregagens, conforme adiante se descreve.

2 – CARACTERIZAÇÃO DO TALUDE

No local foi efectuado um levantamento estrutural das discontinuidades expostas do maciço rochoso em causa, assim como tiradas fotografias do talude, que adiante se apresentam.

O maciço rochoso objecto da escavação que conduziu ao talude em estudo está localizado no interior da Pedreira do Carrascal (Borba), mais precisamente a Sudoeste da área de exploração, possuindo uma altura de 64 metros, desde a cota superior de 415 m até à sua base, situada à cota 351.

A orientação da crista do talude é em torno de N 40° W e a sua inclinação é aproximadamente vertical.

Geologicamente sabe-se que o maciço em causa é formado por rocha marmórea clara com poucas vergadas, porém muito fracturada, carsificada e com dolomitização secundária.

Segundo a Carta Geológica do Anticlinal Estremoz – Borba – Vila Viçosa à escala 1/10.000 (edição do Instituto Geológico e Mineiro, 1997) observa-se que a pedreira está incluída na área do flanco NE do Anticlinal, em que os mármore se apresentam pouco dobrados, com orientação geral NW-SE, inclinando 70 a 80° para NE e tendo uma espessura média da ordem de 150 metros.

Na zona da pedreira estão assinaladas nessa Carta falhas geológicas com orientação NE-SW, as quais podem ter reflexo localmente, por meio de discontinuidades subverticais com direcções compatíveis com essa mesma orientação. Tais discontinuidades podem associar-se às fracturas de base existentes nos taludes, originando cunhas rochosas instáveis.

No Anexo 1 são apresentadas diversas fotografias ilustrativas de aspectos importantes do talude em estudo.

No Desenho nº1 está assinalada esquematicamente a zona do estudo, com a sua planta de localização e um corte vertical na área do talude em análise.

3 – CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL

Dada a importância que possuem as descontinuidades geológicas (sejam elas falhas, fracturas, diaclases, etc.) para a estabilidade do talude em estudo, confirmadas pela observação de algumas roturas de blocos definidos pelas intersecções entre as mesmas, decidiu-se proceder à medição da atitude espacial das principais descontinuidades existentes.

Assim, o talude exposto pela escavação, que possui uma inclinação vertical e uma direcção N40°W, foi submetido a um levantamento estrutural expedito, a partir da medição das atitudes das suas descontinuidades visíveis, com uma bússola tipo Clar. Foram desse modo obtidos os dados estruturais que constam da Tabela 1.

Tabela 1 – Atitudes das principais descontinuidades detectadas no talude

DESCONTINUIDADES	INCLINAÇÃO	DIRECÇÃO DA INCLINAÇÃO
1 – Talude SW da pedreira	90°	N50°E
2 – Fractura da base	55°	N52°E
3 – Idem, com preenchimento	70°	N58°E
4 – Idem, na zona das cofragens	50°	N45°E
5 – Idem, na pedreira Almeida	70°	N48°E
6 – Idem, na cota superior	70°	N43°E
7 – 2ª família de fracturas	65°	N110°E

Observa-se, assim, que a descontinuidade dominante da estabilidade (acima designada por fractura da base do talude) possui uma inclinação que varia de 50° a 70° e uma direcção da inclinação compreendida entre N43°E a N58°E, o que leva a admitir como valores médios destes parâmetros, respectivamente 60° e N50°E. Esta última corresponde a uma direcção da fractura (por ser perpendicular à direcção da inclinação) do ordem de N40°W, precisamente a mesma da direcção do talude vertical da pedreira.

Este paralelismo entre as direcções do talude e da principal fractura que o pode instabilizar é reconhecido pelos especialistas (por exemplo, Hoek & Bray, Rock Slope Engineering, London 1977) como uma das condições essenciais para ocorrer um fenómeno de rotura ou deslizamento planar.

As outras condições para que este tipo de rotura aconteça, são, conforme os mesmos autores:

- a) O plano de fractura deve aflorar na face frontal do talude, o que significa que a sua inclinação é sempre menor que a inclinação da frente do talude (neste caso, $60^\circ < 90^\circ$).
- b) A inclinação do plano de fractura deve ser maior que o ângulo de atrito correspondente a este mesmo plano (neste caso $60^\circ > 42^\circ$, como se verá adiante).
- c) As superfícies laterais por onde se dará a rotura do talude serão constituídas por planos de fraqueza aí existentes (no caso presente mobilizariam a resistência à tracção na zona do encontro do talude com o maciço situado a Norte).

A circunstância de se verificarem as 4 condições básicas para ocorrência de uma rotura ou deslizamento planar de taludes permite, de acordo com Hoek & Bray, que se desenvolva uma análise bidimensional de estabilidade do talude, ao longo de um plano vertical perpendicular à frente do próprio talude.

Numa segunda opção será também efectuada uma análise tridimensional de rotura, levando em consideração as condições (mais realísticas) de confinamento lateral do volume a ser estabilizado.

Para além das descontinuidades directamente medidas, foram observadas e registadas outras à distância, assim como outros dados geométricos depois de interpretadas as fotografias tiradas ao talude. O aspecto geral do talude pode ser observado na foto da página seguinte que constitui a Fig. 1.

Nesta fotografia foram representadas as cotas mais importantes, desde a superfície da zona envolvente (cota da estrada) até à base da escavação, revelando que esta se encontra a 64 m de profundidade. Também se assinalam as cotas das diferentes bancadas e a relação com a pedra vizinha.

4 – PROCESSAMENTO DE DADOS

As informações de campo foram tratadas por meio de software apropriado (programa Rockworks 99) e deram lugar às duas representações gráficas que se apresentam em seguida.

Tais gráficos resultaram do processamento dos dados espaciais constantes da Tabela 1 e permitiram a definição de conjuntos ou famílias de fracturas que têm influência significativa na estabilidade do talude. O primeiro deles (Fig. 2) é a projecção estereográfica das descontinuidades observadas no talude e o segundo (Fig. 3) traduz a orientação das fracturas através da representação da sua rosácea.

É de notar que as orientações das famílias de descontinuidades verticais são paralelas às indicadas na Carta Geológica e, portanto, são as mesmas das verificadas à escala regional.

Tais aspectos são utilizados na análise de estabilidade do talude da pedreira do Carrascal, que se apresenta em seguida.



Fig. 1 – Aspecto geral do talude SW da Pedreira do Carrascal

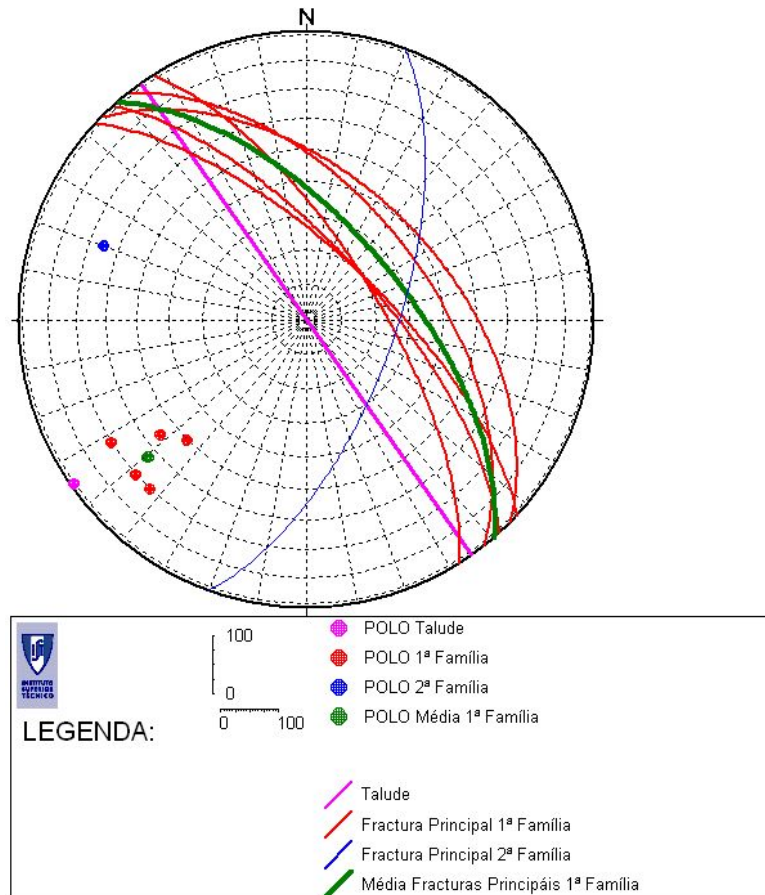


Fig. 2 – Projecção polar das descontinuidades identificadas

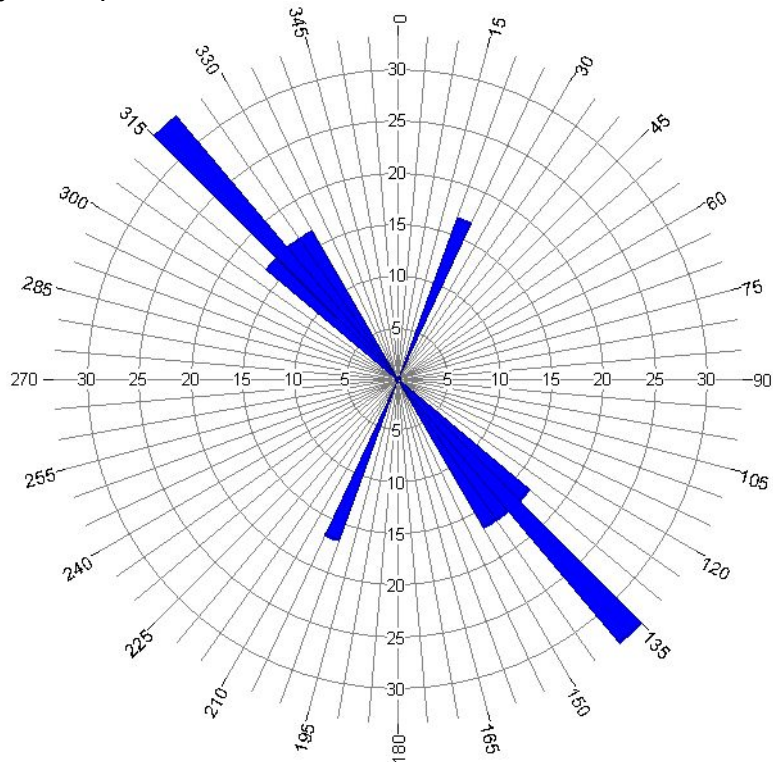


Fig. 3 – Representação das rosáceas direccionais das descontinuidades identificadas

5 - ANÁLISES DE ESTABILIDADE

5.1 – Estudo de retroanálise

A configuração geométrica dos volumes dos blocos rochosos resultantes das intersecções das descontinuidades geológicas que ocorrem no maciço constituinte do talude é a condição essencial para explicar os fenómenos de rotura que já ocorreram e aqueles que se prevê venham a acontecer. Com efeito, a compartimentação do maciço resulta das posições no espaço que assumem as fracturas naturais já reconhecidas, tendo sido afectadas pela acção dos desmontes de blocos durante a fase de escavação do talude.

A circunstância de já se terem intabilizado pequenos blocos cujas dimensões e forma geométrica foram determinadas através dos planos de fracturas que os limitam, permitiria desenvolver estudos de retroanálise destinados a estimar a ordem de grandeza dos parâmetros de resistência ao corte dessas feições estruturais, com vistas à realização das análises de estabilidade pretendidas.

Uma vez que não existem dados relativos à pedreira do Carrascal sobre deslizamentos de blocos que tenham ocorrido, utilizam-se para o presente estudo, informações de uma outra pedreira de mármore da região, cujos resultados se encontram publicados (*).

São admitidas algumas hipóteses aproximativas de suporte da retroanálise, com o objectivo de validar a utilização do respectivos valores:

- a) Os blocos que se destacaram foram separados do maciço a partir das suas superfícies limitrofes laterais e superiores, devido à acção do seu peso próprio e da pressão da água.

(*) Reactivação de uma Pedreira de Mármore com Recuperação Paisagística Simultânea, por C. Dinis da Gama (Out. / Dez. 1991) – Revista “A Pedra”, nº 42, Ano XI, pp.7-37.

- b) Na base desses blocos teriam ocorrido deslizamentos, mobilizando assim a coesão e o ângulo de atrito ao longo dessas descontinuidades inferiores.
- c) As inclinações dos planos de base dos blocos coincidem com as inclinações da primeira família de descontinuidades, conforme indicado na Tabela 1.

Em termos matemáticos, é admitido que o escorregamento dos blocos ocorre na situação de equilíbrio limite do talude, ou seja, para um factor de segurança igual a 1, e sem a influência da água, partindo-se de uma relação do tipo:

$$P \cos \alpha \cdot \tan \phi + cA = P \sin \alpha$$

onde:

P é o peso do bloco;

α é o ângulo de inclinação da base do bloco, igual à inclinação da superfície de deslizamento;

A é a área de contacto da base do bloco

c e ϕ são a coesão e o ângulo de atrito da superfície de deslizamento basal.

Pode-se simplificar a relação para:

$$\sin \alpha = \cos \alpha \cdot \text{tg} \phi + \frac{cA}{P}$$

e aplicando-a a dois casos de rotura que possuam o mesmo tipo de descontinuidade na base, obtém-se um sistema de duas equações com duas incógnitas que possibilita a determinação das grandezas c e ϕ .

No caso de estudo referido, que dizia respeito à pedreira de mármore da Cerca de Santo António, em Estremoz, onde se detectaram três famílias de descontinuidades com as características indicadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades das descontinuidades existentes na pedreira da Cerca de Santo António, em Estremoz

Famílias de descontinuidades	Direcção média	Inclinação média	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito
A	N 58° W	69° SW	225	42
B	N 02° W	30° NE	150	35
C	N 27° E	69° NW	150	35

Observa-se a semelhança entre as direcções e inclinações das descontinuidades da família A com a fractura de base da pedreira do Carrascal, pelo que se adoptaram, para esta última, os seguintes valores:

- Coesão: 225 kPa
- Ângulo de atrito: 42°

Consequentemente, são estes os parâmetros que serão utilizados nas análises de estabilidade subsequentes.

5.2 – Análises de estabilidade da parte inferior do talude

A fim de interpretar a segurança do talude em estudo, consideram-se as seguintes premissas:

- a) A instabilização da frente do talude dar-se-á em consequência de deslizamentos planares sobre a descontinuidade basal que o atravessa, sempre que sejam criadas condições críticas de rotura ao longo das descontinuidades do maciço;

- b) As vibrações causadas pelo processo de escavação contribuíram para a desarticulação do maciço do talude, abrindo as suas descontinuidades e facilitando a percolação das águas;
- c) Uma vez que foi concluído o processo de escavação do talude, convirá garantir condições de estabilidade a longo prazo para que o mesmo desempenhe as funções esperadas no projecto em curso.
- d) Deverão ser dimensionadas as soluções de estabilização do talude sempre que as análises de estabilidade, a realizar com os parâmetros de resistência ao corte obtidos por retroanálise, conduzirem a factores de segurança insuficientes.

Para efectuar tais análises, recorreu-se a cálculos do factor de segurança pelo método do equilíbrio limite, em duas alternativas:

- a) A duas dimensões, para escorregamento planar;
- b) A três dimensões, usando programa de computação baseado no método de Hovland.

Como solicitações externas, além do peso próprio dos blocos, os cálculos aceitam a acção de vibrações e da pressão da água subterrânea, tendo ainda a possibilidade de introduzir ancoragens e pregagens como forças de estabilização.

5.2.1 – Deslizamento planar do talude

Para o efeito, utiliza-se a equação que estabelece o valor do factor de segurança, para uma secção vertical do talude com 1 m de espessura, dada por:

$$F_s = \frac{(P \cos \alpha - U) \operatorname{tg} \phi + cL}{P \sin \alpha}$$

em que os símbolos têm o significado acima referido. L é o comprimento da fractura e U representa a resultante do impulso da água sobre o plano de fractura basal do talude.

Esta última é estimada pela expressão:

$$U = \frac{1}{2} \gamma_a H.L$$

onde γ_a representa o peso volúmico da água e H é a altura de água sobre o plano de deslizamento.

No caso presente (ver Fig. 4) as grandezas assinaladas têm os seguintes valores:

$$P = (20 + 90 + 75 + 53 + 28) \times 27 = 7\,182 \text{ kN/m}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$c = 225 \text{ kPa}; \phi = 42^\circ$$

$$L = 26 \text{ m}$$

$U = \frac{1}{2} \times 9.8 \times 26 \times 10 = 1274 \text{ kN/m}$ (supondo o nível freático à superfície da bancada, ou seja à cota 381, logo $H = 381 - 371 = 10 \text{ m}$)

Substituindo valores, obtem-se:

$$F_s = 1.23$$

o que indica existir uma estabilidade razoável, acima do equilíbrio limite, para as referidas condições de impulso de água.

Se se considerasse o talude seco, o respectivo factor de segurança passaria a 1.46.

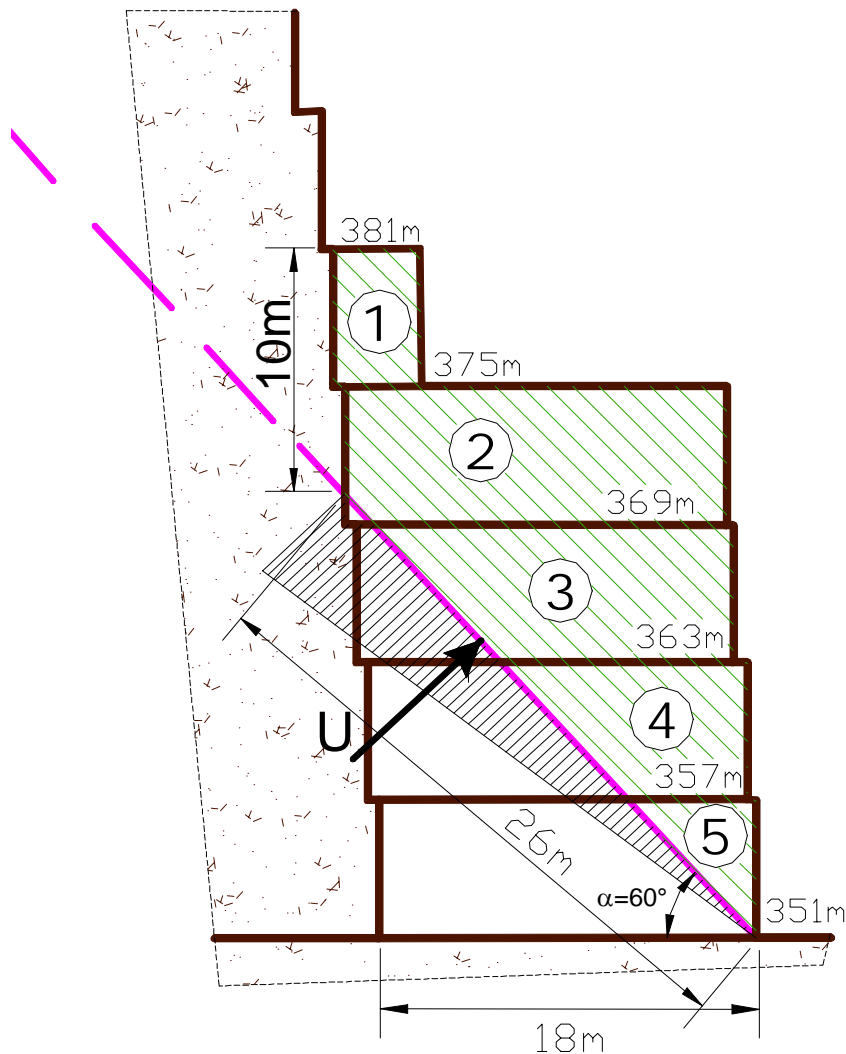


Fig. 4 – Secção vertical do talude, submetida à análise de estabilidade bidimensional (porção do talude tracejada a verde, acima da fractura de base)

5.2.2 – Deslizamento tridimensional do talude

Aplicou-se o método de Hovland (*) com base na geometria a três dimensões da base do talude, que se encontra representada no Desenho nº 2, em Anexo.

Hovland, H.J.(1977) – Three-dimensional slope stability analysis method. Journal of Geotechnical Engineering of ASCE, Vol.103, No.GT9, pp.971-986, New York.

Assinala-se que esta simulação faz intervir todas as superfícies laterais do volume acima da fractura, atribuindo-se a essas superfícies uma coesão e um ângulo de atrito iguais às da própria fractura (hipótese conservadora).

Depois de discretizado o volume em 1 728 blocos prismáticos e aplicando as mesmas condições de água que se usaram em 5.2.1, obteve-se um factor de segurança de

$$F_s = 2.78$$

valor este consideravelmente maior que o da análise bidimensional, visto esta não fazer intervir a ligação constituída pelas paredes laterais do volume a deslizar.

No entanto, para os efeitos do presente estudo é preferível adoptar a solução bidimensional, dado o seu menor factor de segurança. A primeira aplicação dessa solução, consiste em determinar como varia o factor de segurança quando se retiram volumes de rocha acima do plano de deslizamento, circunstância que interessa considerar, face à conveniência em extrair blocos de mármore com valor comercial.

5.3 – Análises de estabilidade com remoção de volumes do talude

Seguidamente, procedeu-se à determinação dos factores de segurança do talude quando se retiram os volumes assinalados com os números 1, 2, 3, 4 e 5, todos eles localizados por cima da superfície de deslizamento inferior (ver Fig. 4).

Para tal, utilizou-se a análise bidimensional de estabilidade, por ser a menos conservadora.

Os resultados obtidos constam da Tabela 3.

Confirma-se, portanto, que a estabilidade do talude aumenta à medida que vai sendo aliviado o peso de rocha situado sobre a superfície de deslizamento inferior, facto que é favorável simultaneamente à segurança e à economia da exploração da pedreira.

Tabela 3 – Valores do factor de segurança quando são removidos volumes crescentes acima do plano de deslizamento inferior

BLOCOS REMOVIDOS ACIMA DA COTA	FACTOR DE SEGURANÇA
375 (Bloco 1)	1.29
369 (Blocos 1+2)	1.78
363 (Blocos 1+2+3)	3.05
357 (Blocos 1+2+3+4)	9.14

6 - A ESTABILIDADE DA PARTE SUPERIOR DO TALUDE

6.1 – Considerações básicas

A circunstância (recomendável) de proceder à remoção de volumes de mármore localizados acima da fractura que pode instabilizar o talude, tem uma consequência desfavorável que consiste na possibilidade de causar deslizamentos (ao longo da mesma fractura) acima da cota 375 quando se desmontar o bloco 1, e acima da cota 369 quando se desmontar o bloco 2 (ver Fig. 4).

Abaixo destes dois blocos o problema já não se coloca, uma vez que o talude vertical da pedreira fica fora da linha de acção instabilizadora da fractura principal.

7

Estudando-se a segurança do volume de rocha que está situado no talude vertical imediatamente ao lado dos blocos a retirar números 1 e 2 (da Fig. 4) constata-se que a mesma depende da eventual ocorrência de outras descontinuidades que se cruzem com a referida fractura, nomeadamente as de atitude subvertical, ou de orientação conjugada, como mostra a Fig. 5.

Em seguida desenvolve-se a respectiva análise de estabilidade.

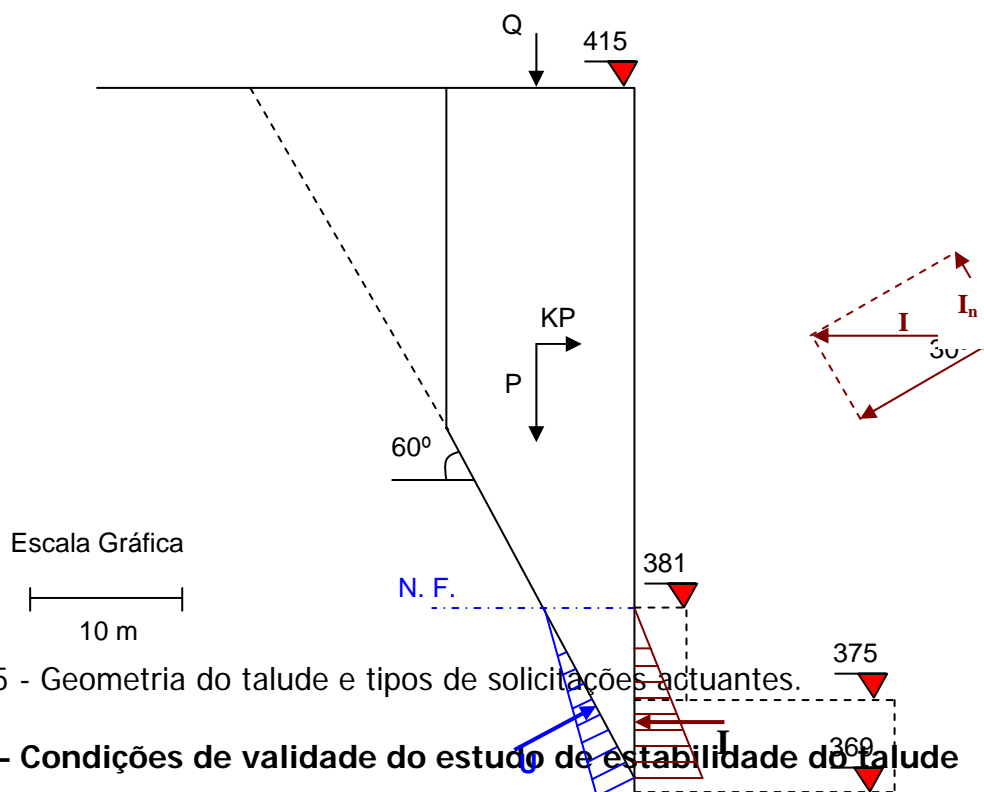
6.2 – Geologia e geometria do talude

Dada a importância que possui a estabilidade do talude superior da pedreira, não só por incorporar uma grua activa, mas também por poder afectar a integridade da Estrada Nacional 255, é do maior interesse que se proceda a uma análise de estabilidade que incorpore todas as solicitações previsíveis.

Inicialmente, convém estabelecer a própria geologia do talude, com o propósito de garantir uma boa aderência às condições reais, por forma a validar os resultados que se venha a alcançar. Trata-se de rocha marmórea com poucas vergadas, com características equivalentes às já descritas no item relativo à parte inferior do talude.

Os dados de observação mostram que a fractura de base tem continuidade apreciável (ver, por exemplo, a Foto 1 do Anexo 1) revelando que essa descontinuidade penetra no interior do talude vertical da pedreira sem modificação da sua atitude. O seu desenvolvimento em altura, segundo certas evidências, parece indicar que a mesma se aproxima da atitude subvertical.

Assim, a geometria e dimensões que devem caracterizar a parte superior do talude são esquematicamente apresentadas na Fig. 5.



6.3 – Condições de validade do estudo de estabilidade do talude

Para efectuar a análise de estabilidade da parte superior do talude SW da pedreira do Carrascal nº9, optou-se por escolher o método de equilíbrio limite a duas dimensões, por se ter mostrado menos conservador que o método tridimensional de Hovland, a fim de conduzir a soluções pouco optimistas como convem no presente caso.

A adopção desse método assume um conjunto de hipóteses que configuram a situação bidimensional, pressupondo que a análise de uma fatia vertical de 1 metro de espessura é representativa do talude.

Além disso, há a considerar as seguintes feições inerentes à análise:

- a) São desprezados os planos (ou superfícies) laterais do volume de talude, tal como poderia resultar da ocorrência de falhas abertas com atitude vertical a limitar lateralmente o volume estudado. Esta circunstância penaliza a grandeza dos factores de segurança determinados, sendo conveniente à interpretação dos resultados.
- b) Para além do peso próprio da rocha existente acima do plano de fractura, será considerada a actuação de cargas verticais sobre a superfície superior do talude, correspondendo à circulação de veículo pesados com carga. O valor adoptado para tal solicitação foi de 50 t por metro de espessura do talude, ou seja, 500 kN/m.
- c) Adicionalmente são introduzidas vibrações na parte superior do talude, quer devidas à circulação de viaturas pesadas na EN255, quer ainda em resultado do funcionamento da grua existentes no topo do talude. A resultante dessas vibrações atinge o valor de 0,1 g (um décimo da aceleração da gravidade), correspondendo a um coeficiente sísmico a usar nas análise da ordem de 0,1.
- d) A presença da água subterrânea também é incluída na análise, através da consideração (tal como para o talude inferior) de um nível freático localizado à cota 381, ou seja, acima do primeiro bloco de mármore saliente da parte frontal do talude.
- e) Por outro lado, a presença dos dois blocos frontais acima da fractura (nomeadamente os do piso 5- cota 381 e do piso 6 – cota 375) será também incorporada na análise, através do respectivo impulso activo de Rankine.
- f) Em consequência da eventual remoção desses dois blocos, haverá reduções no factor de segurança do talude, as quais deverão ser compensadas com meios externos, designadamente com a aplicação de pregagens. Assim, o dimensionamento das pregagens será efectuado de modo a suprir a diminuição do factor de segurança resultante da retirada dos blocos frontais de mármore.

6.4 – Parâmetros utilizados na análise

O factor de segurança de um talude submetido às condições gerais acima enunciadas é dado pela seguinte expressão (ver Fig. 5):

$$F_s = \frac{[(P + Q) \cos \alpha - U - kP \sin \alpha + I_n] \operatorname{tg} \alpha + cL + I_p}{(P + Q) \sin \alpha + kP \cos \alpha}$$

em que os símbolos têm o significado :

P – peso da rocha (12 346 kN/m)

Q – carga devida à circulação de viaturas pesadas (500 kN/m)

α - ângulo de inclinação da fractura (60°)
k – coeficiente sísmico devido às vibrações (0.1)
U – impulso da água sobre a descontinuidade (684.6 kN/m)
 I_n – componente normal do impulso activo de Rankine (187.4 kN/m)
 ϕ - ângulo de atrito da descontinuidade (42°)
c – coesão ao longo da descontinuidade (225 kPa)
L – comprimento da descontinuidade (48.5 m)
 I_p – Componente paralela do impulso activo de Rankine (108.2 kN/m)

Com base nos valores numéricos indicados, obteve-se o seguinte valor:

$$F_s = 1.35$$

que indica estar o talude em situação estável.

Num segundo cálculo, anularam-se os impulsos devidos ao peso dos blocos frontais de mármore, que seriam retirados se fosse feito o seu desmonte. O novo factor de segurança obtido foi de 1.32.

Esta redução, ainda que pequena, deverá ser compensada com a aplicação de meios externos, de modo a não contribuir para instabilizar o talude.

6.5 – Dimensionamento de pregagens

A introdução de pregagens deve ser efectuada logo após a remoção dos blocos frontais de mármore e pode ser dimensionada em função de se conseguir um aumento do factor de segurança do talude, desde 1.32 a 1.35.

Para tal, utiliza-se a expressão de dimensionamento constante da pág. 279 do livro de Brady & Brown (1985) – Rock Mechanics for Underground Mining, George Allen & Unwin, London

O valor determinado para a resultante das pregagens é:

$$T = 301 \text{ kN/m}$$

o qual poderá ser obtido a partir de duas pregagens com capacidade de 150 kN cada, a aplicar por metro da frente do talude. Como esta possui 24 metros, significa um número total de 48 pregagens.

A Fig. 6 esquematiza essa disposição, revelando que as pregagens devem ser instaladas perpendicularmente à descontinuidade, ou seja, fazendo um ângulo de 30° com a horizontal.

A primeira fiada de pregagens a aplicar deveria ser a superior (à cota 378) logo após a remoção do bloco frontal superior. Mais tarde, depois da

extracção do segundo bloco de mármore, seriam instaladas as pregagens à cota 372.

Os comprimentos recomendados para as pregagens seriam de 9 metros para as da fiada superior e de 6 metros para a inferior.

As Figs. 3 e 4, resumem a disposição geométrica das pregagens e respectiva orientação espacial, tendo prevalecido a Primeira Hipótese, que foi cumprida integralmente na execução dos trabalhos de estabilização efectuados na pedreira.

7 – PROJECTO DE SOLUÇÕES DE EXTRACÇÃO

O estudo precedente foi dirigido para a análise da estabilidade do talude SW da Pedreira do Carrascal nº 9 tomando como base a sua geometria e constituição geológica. Ficou demonstrado, numa primeira fase, que a parte inferior do talude em causa, situada sob a fractura de base, apresenta estabilidade adequada, caracterizada por factores de segurança claramente superiores à unidade.

Tal verificação permite encarar com segurança a possibilidade de extrair os volumes prismáticos de mármore que estão salientes da parte frontal do talude da pedreira, nomeadamente aqueles compreendidos entre as cotas 381 e 351.

A circunstância de se efectuar a serragem dos blocos por meio de fio diamantado, provoca pequenas perturbações no maciço, não afectando a respectiva estabilidade, por meio de movimentos ao longo da descontinuidade basal. De qualquer modo, deverão ser monitorizados esses eventuais movimentos através de instrumentação geotécnica apropriada, tais como réguas micrométricas ou extensómetros eléctricos de resistência.

Para efectivar essa sequência de escavações haverá diversas alternativas, que se poderão dispor segundo ordenação diversa:

- a) Em quatro fases, como esquematiza a Fig. 7
- b) Em seis fases, como indica a Fig. 8.

A primeira hipótese preconiza uma sequência vertical, subdividindo as bancadas em 3 blocos, com cerca de 8m de comprimento cada. A quarta fase envolveria a bancada situada à cota mais funda (351 m), naturalmente numa situação em que já não necessitaria de fornecer suporte ao talude frontal da pedreira.

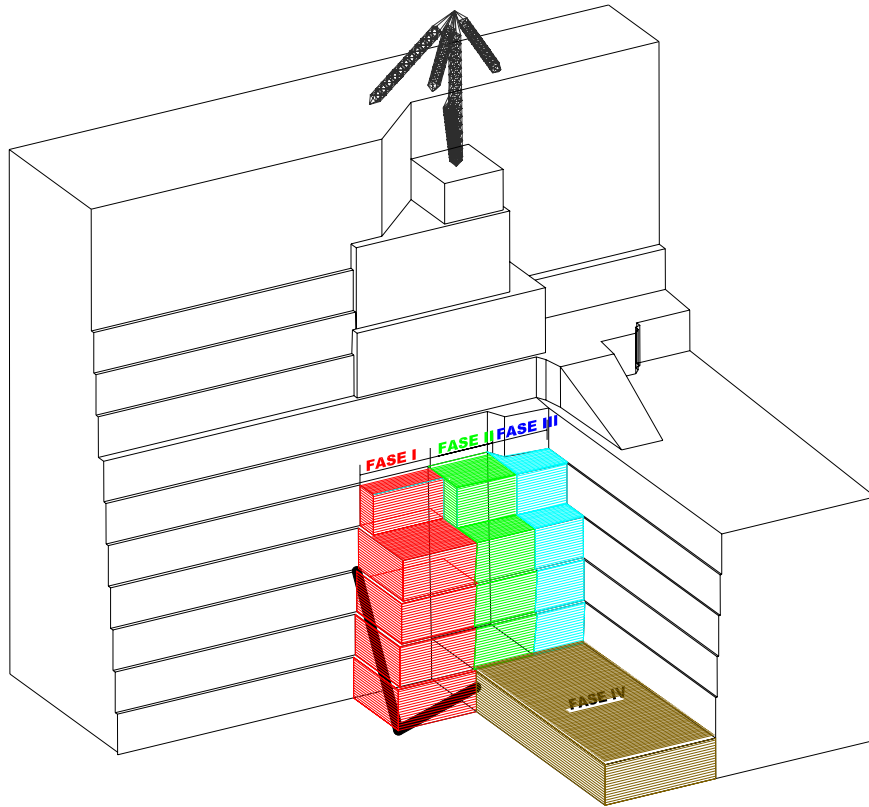


Fig. 7 – Sequência de extracção vertical, com 4 fases.

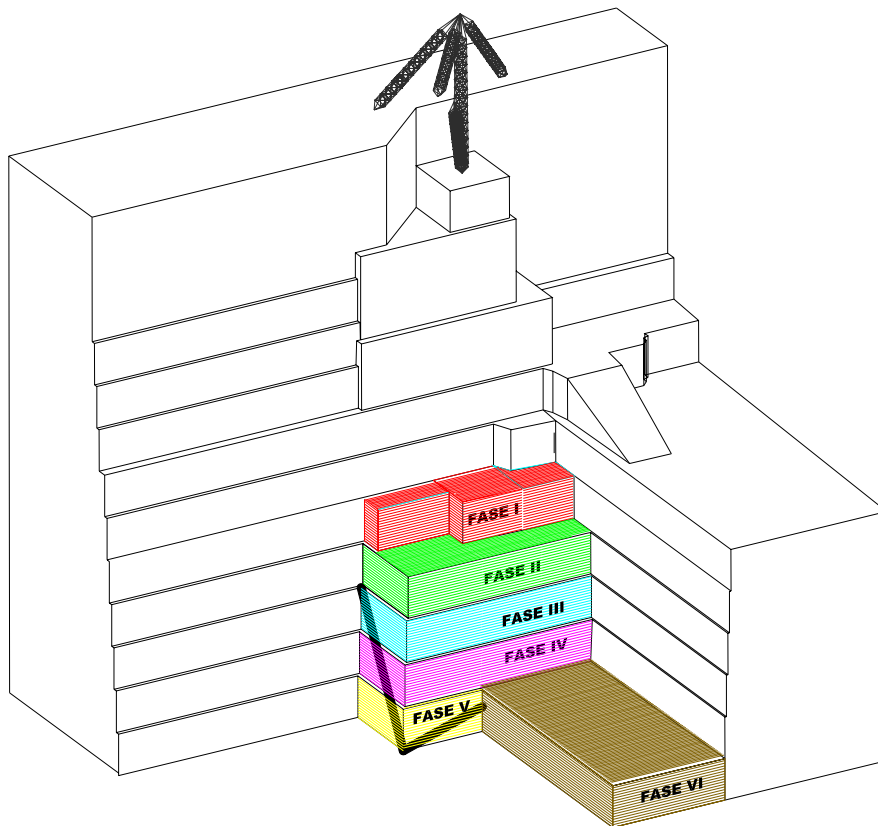


Fig. 8 – Sequência de extracção horizontal, com 6 fases.

A segunda opção encara a possibilidade de extrair os volumes em fatias horizontais, segundo uma ordem descendente e adapta-se melhor à intervenção de pregagem que se recomendou, de forma a garantir suporte lateral imediatamente após a serragem de blocos de cada bancada.

Conforme já referido, as duas fiadas de 24 pregagens deveriam ser instaladas em separado, a primeira logo após a remoção dos blocos localizados abaixo da cota 381 e, a segunda, depois de extraída a bancada frontal abaixo da cota 375. Com esta abordagem é esperada a menor perturbação ao maciço e, em particular, à descontinuidade basal que o atravessa.

Já as fases subsequentes (nº III, IV, V e VI) não envolvem problemas de estabilidade, nem operacionalidade de serragem pelo que, no seu conjunto, se consideram mais convenientes do que a primeira alternativa.

Reitera-se, uma vez mais, a necessidade de acompanhamento especializado das sucessivas fases de desenvolvimento do desmonte, tendo em vista a actuação, em tempo oportuno, de eventuais medidas de protecção do trabalho no interior da pedreira e da comunidade circundante.

8 – CONCLUSÕES

Procedeu-se a análises de estabilidade do talude SW da pedreira do Carrascal nº 9, em face da situação actual que se vive e, em segunda opção, se for decidido extrair os blocos de mármore ligados ao talude SW da pedreira.

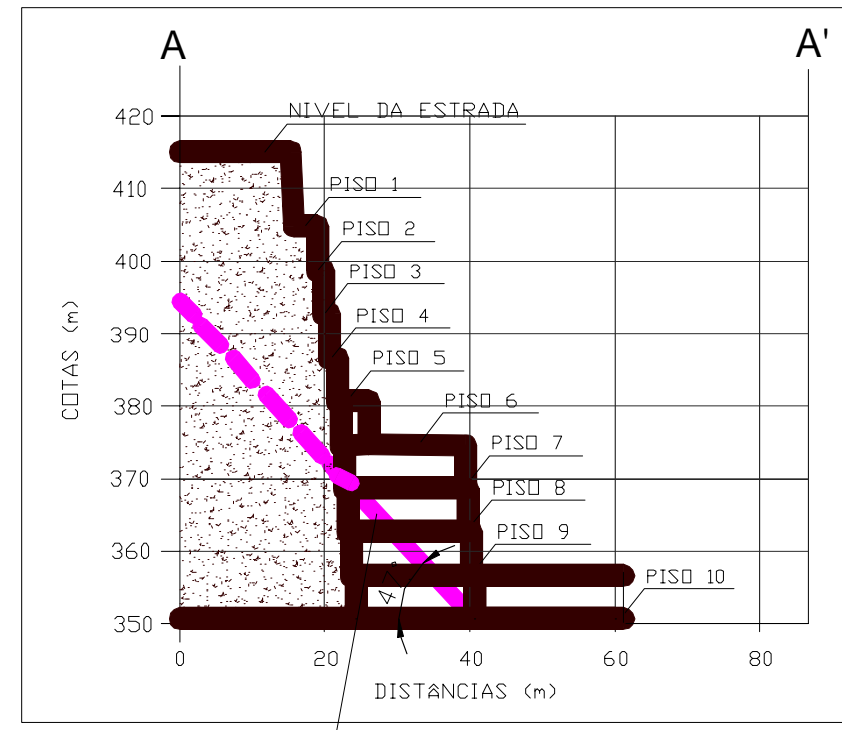
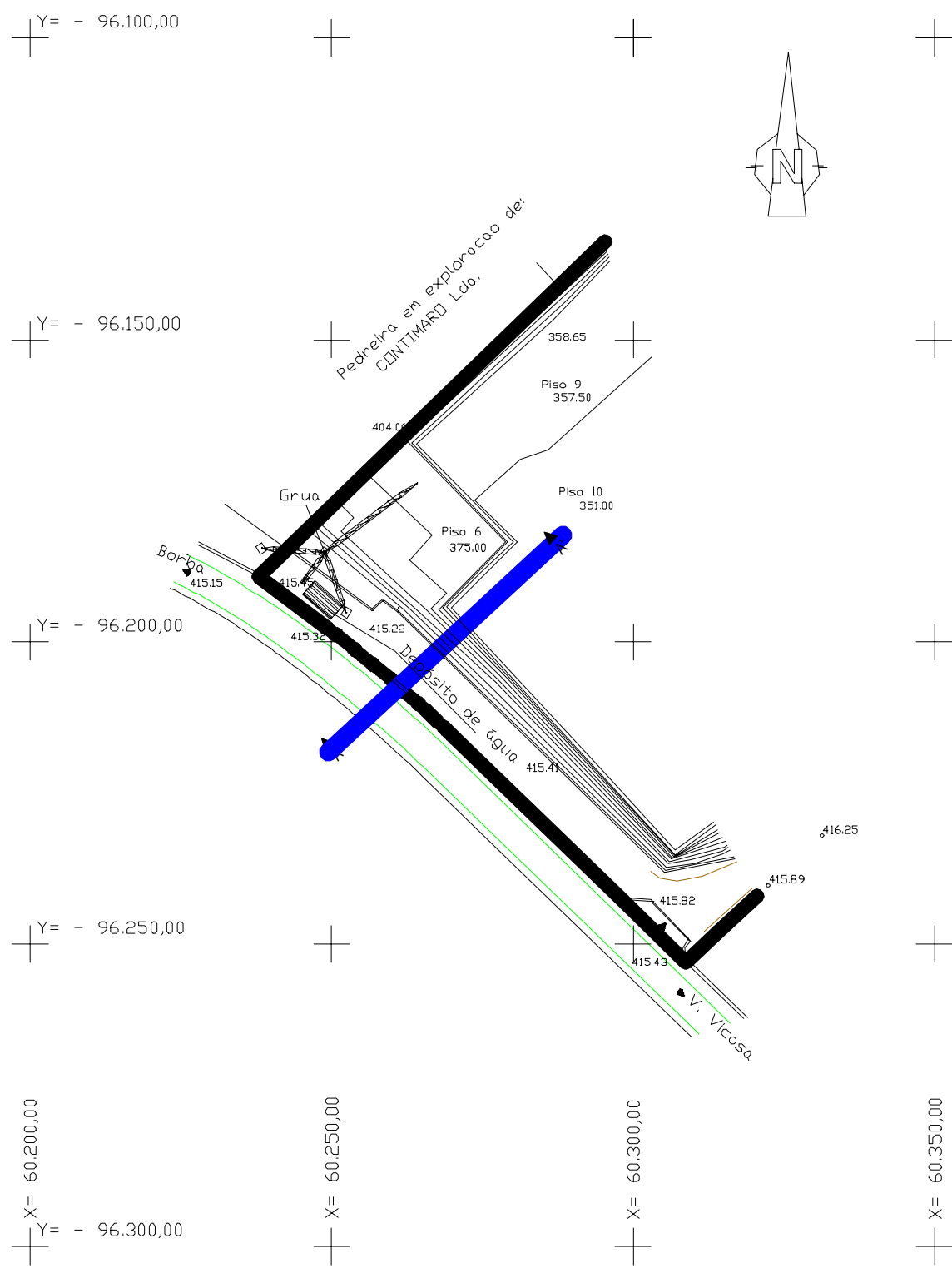
Demonstrou-se que a serragem dos volumes situados acima da superfície de deslizamento potencial constituída pela descontinuidade basal que aparece na base do talude, contribui decisivamente para a estabilização dos volumes remanescentes que se situam sobre a referida descontinuidade.

Nestas condições, haveria que garantir a estabilidade da parte superior dessa fractura, a qual é formada por rocha do próprio talude vertical da pedreira, depois de removidos aqueles volumes de blocos das duas bancadas superiores. Tal estabilização seria possível através de pregagens a instalar logo após a serragem dessas bancadas, dentro duma sequência contínua de trabalhos.

Tais fiadas de pregagens foram executadas após escolha de uma empresa especializada dentro de três que apresentaram propostas de execução dos trabalhos, tal como se projectaram.

Seguiu-se o acompanhamento geotécnico adequado para as fases de escavação e de aplicação das pregagens, de modo a detectar eventuais anomalias de estabilidade do talude.

A extracção do maciço de mármore foi efectuada sem problemas e o talude não evidencia quaisquer problemas de instabilização.

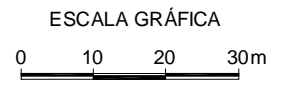


FRATURA PRINCIPAL

LEGENDA

- Eixo do Corte
- Estrada
- Caminhos
- Fratura
- Perfil

416.25 Cotas

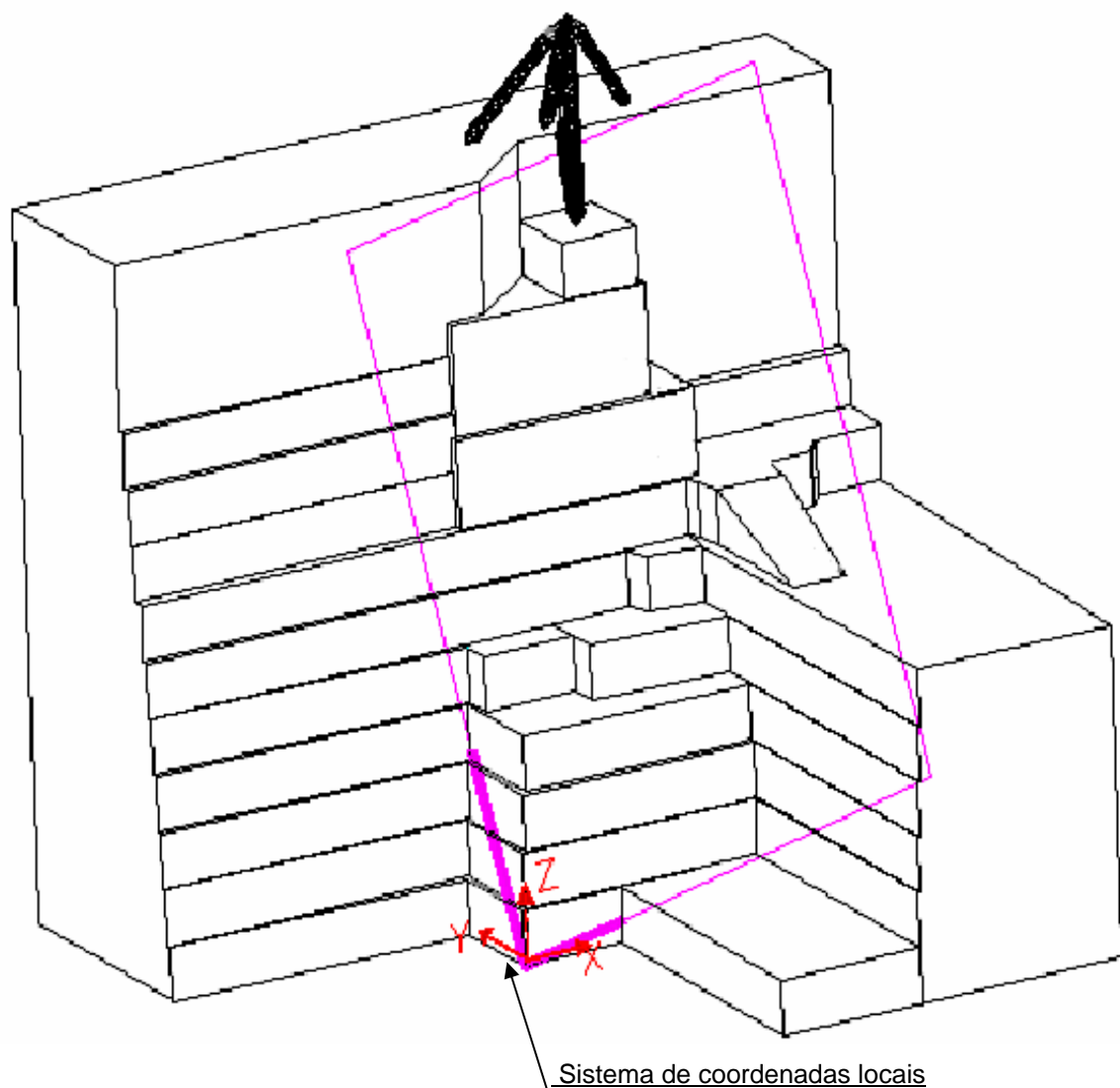


Projecto	Data	Rubrica	PLÁCIDO JOSÉ SIMÕES, S.A.	
Desenho				
Visto				
Técnico			PEDREIRA DO CARRASCAL	
Escala	1:1000		ANÁLISE DE ESTABILIDADE	Desenho n.º 1
			PLANTA E CORTE DO TALUDE	Subs. des.
				Subs. por:
		ABRIL DE 2003		

Representação tridimensional do talude em análise e coordenadas dos pontos da malha utilizada.

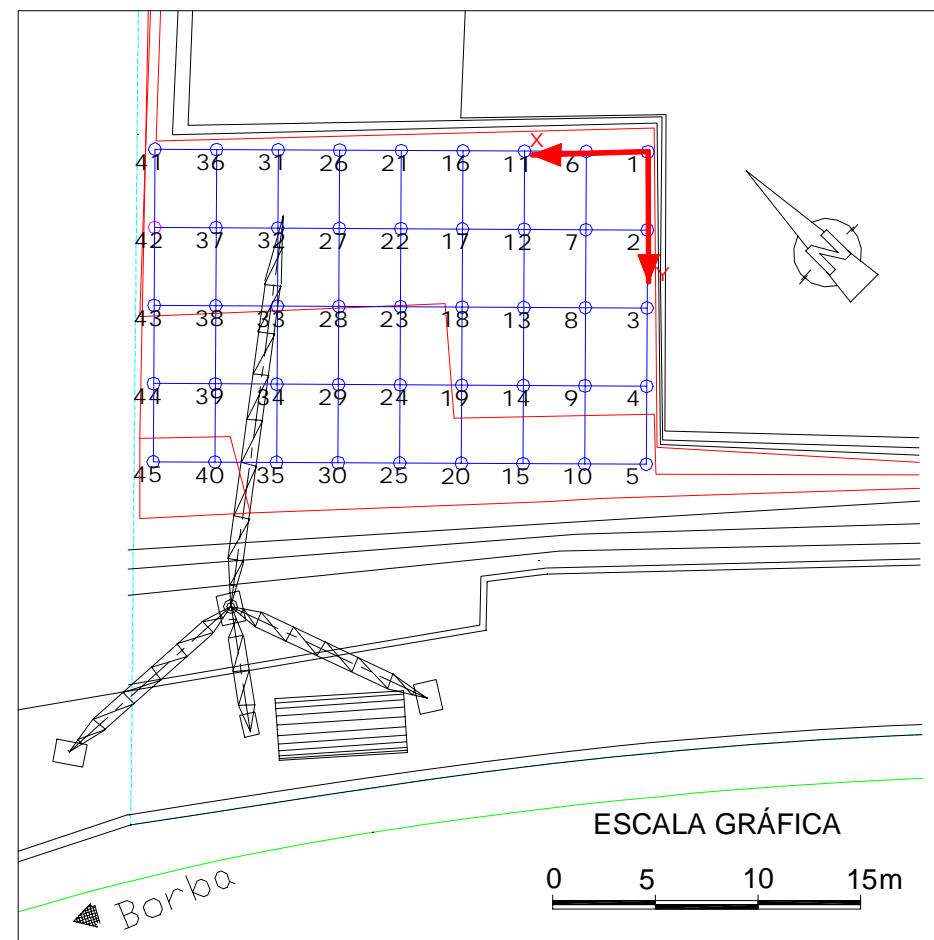
Tabela -Coordenadas dos pontos que constituem a base de dados para a análise de estabilidade tridimensional do talude.

El. Malha N ^a	X	Y	Z ₁	Z ₂ (=Z ₁)	Z ₃
1	0	0	0	0	24
2	0	4,5	6,5	6,5	24
3	0	9	13	13	24
4	0	13,5	19,5	19,5	24
5	0	18	30	30	30
6	3	0	0,75	0,75	24
7	3	4,5	7,25	7,25	24
8	3	9	13,75	13,75	24
9	3	13,5	20,25	20,25	24
10	3	18	30	30	30
11	6	0	1,5	1,5	24
12	6	4,5	8	8	24
13	6	9	14,5	14,5	24
14	6	13,5	21	21	24
15	6	18	30	30	30
16	9	0	2,25	2,25	24
17	9	4,5	8,75	8,75	24
18	9	9	15,25	15,25	24
19	9	13,5	21,75	21,75	24
20	9	18	30	30	30
21	12	0	3	3	24
22	12	4,5	9,5	9,5	24
23	12	9	16	16	24
24	12	13,5	22,5	22,5	24
25	12	18	30	30	30
26	15	0	3,75	3,75	24
27	15	4,5	10,25	10,25	24
28	15	9	16,75	16,75	30
29	15	13,5	23,25	23,25	30
30	15	18	30	30	30
31	18	0	4,5	4,5	24
32	18	4,5	11	11	24
33	18	9	17,5	17,5	30
34	18	13,5	24	24	30
35	18	18	30	30	30
36	21	0	5,25	5,25	24
37	21	4,5	11,75	11,75	24
38	21	9	18,25	18,25	30
39	21	13,5	24,75	24,75	30
40	21	18	36	36	36
41	24	0	24	24	24
42	24	4,5	24	24	24
43	24	9	30	30	30
44	24	13,5	30	30	30
45	24	18	36	36	36



— Plano representante da fractura na base do talude

X=Coordenada local X do centro do prisma que tem como base o respectivo elemento da malha indicado na primeira coluna.
 Y= Coordenada local Y do centro do prisma que tem como base o respectivo elemento da malha indicado na primeira coluna.
 Z1=Cota da superfície de escorregamento
 Z2=Cota do nível de água
 Z3=Cota da superfície do maciço

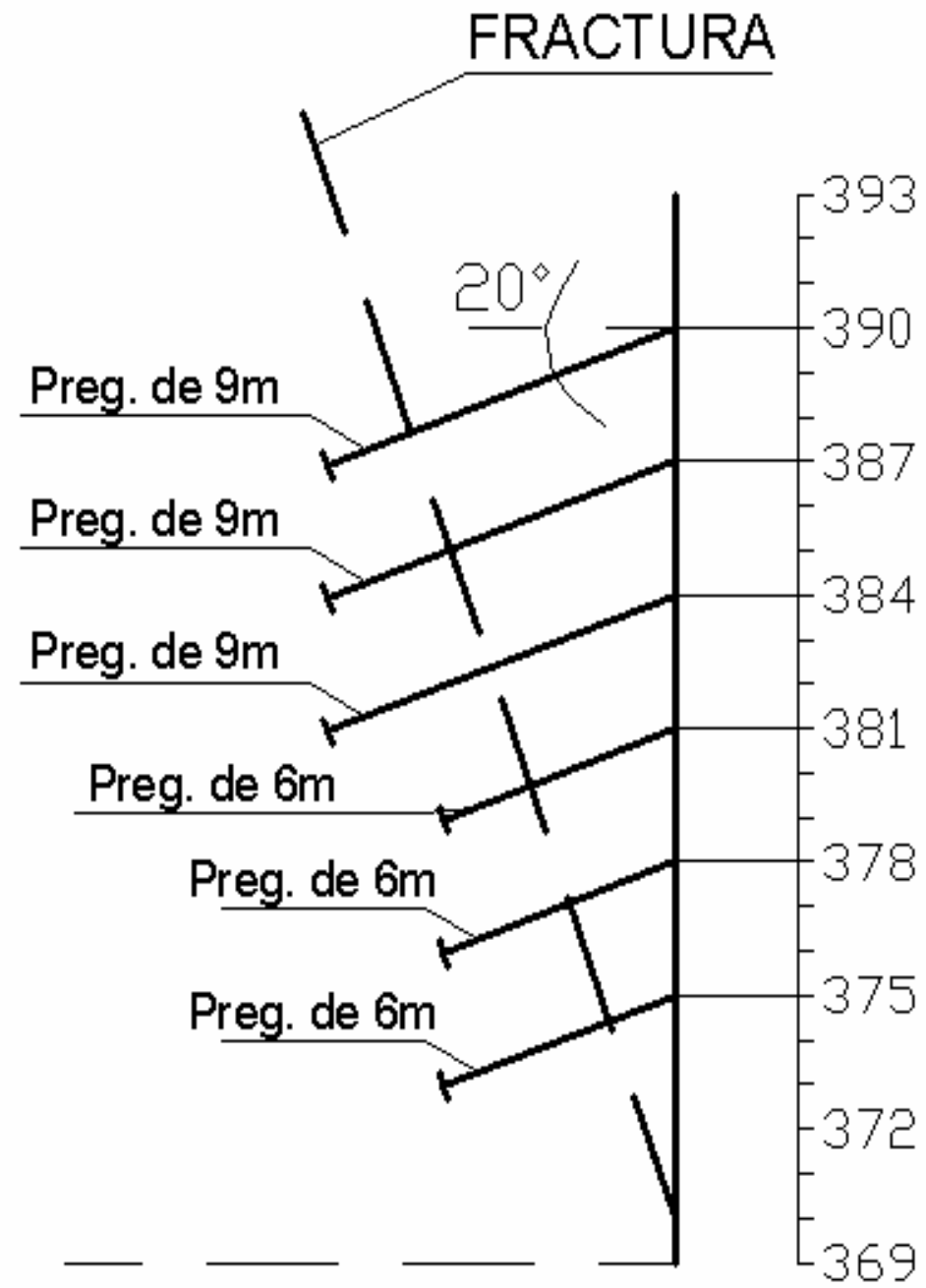


Planta de localização

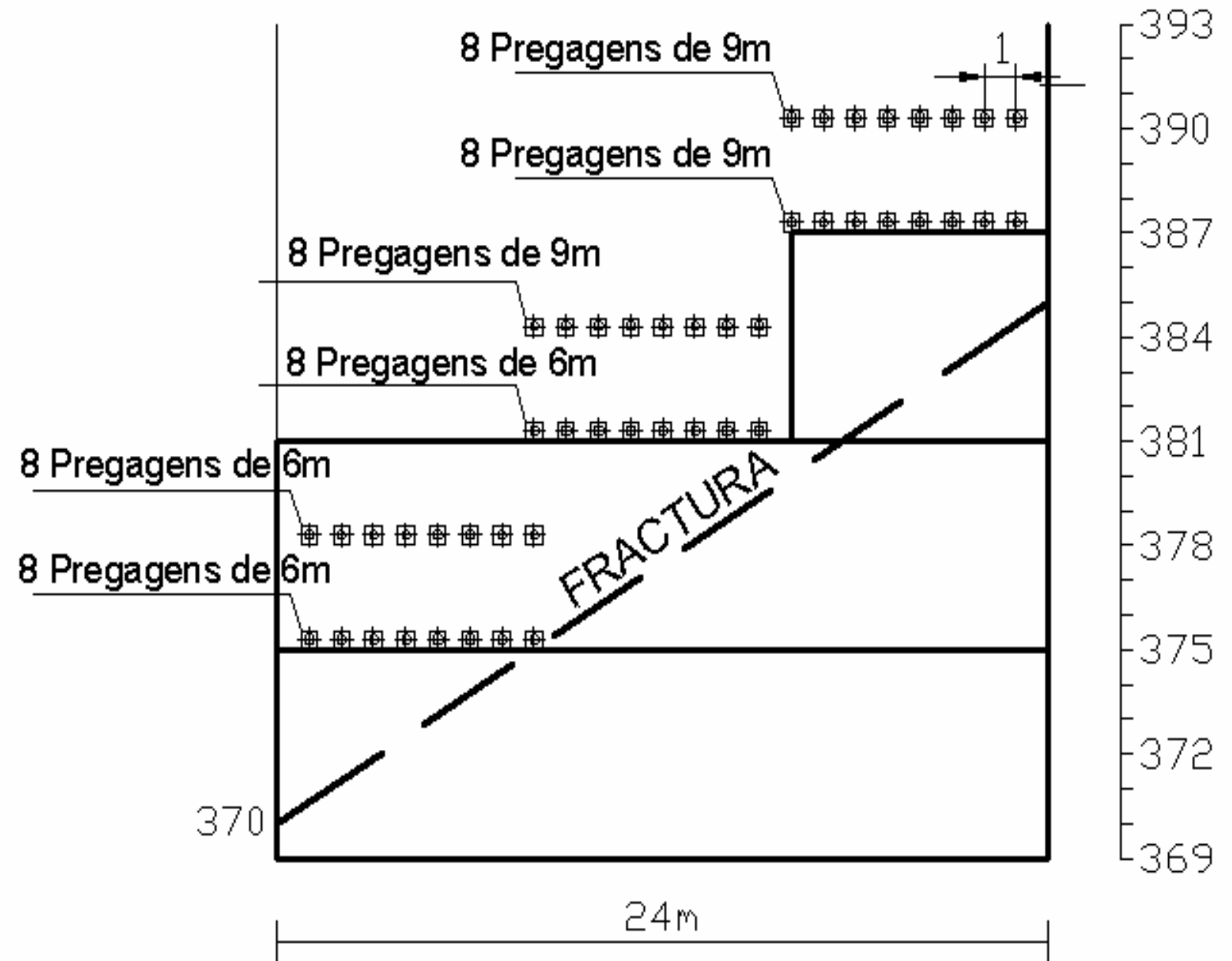
Projecto	Data	Rubrica	PLÁCIDO JOSÉ SIMÕES, S.A.	IST Centro de Geotecnia
Desenho				
Visto			PEDREIRA DO CARRASCAL	Desenho n.º 2
Técnico				
Escola			ANÁLISE DE ESTABILIDADE TRIDIMENSIONAL	Subs. des.
				Subs. por:
ABRIL DE 2003				

PRIMEIRA HIPÓTESE: PREGAGENS HORIZONTAIS DISPOSTAS EM 6 FIADAS.

CORTE VERTICAL

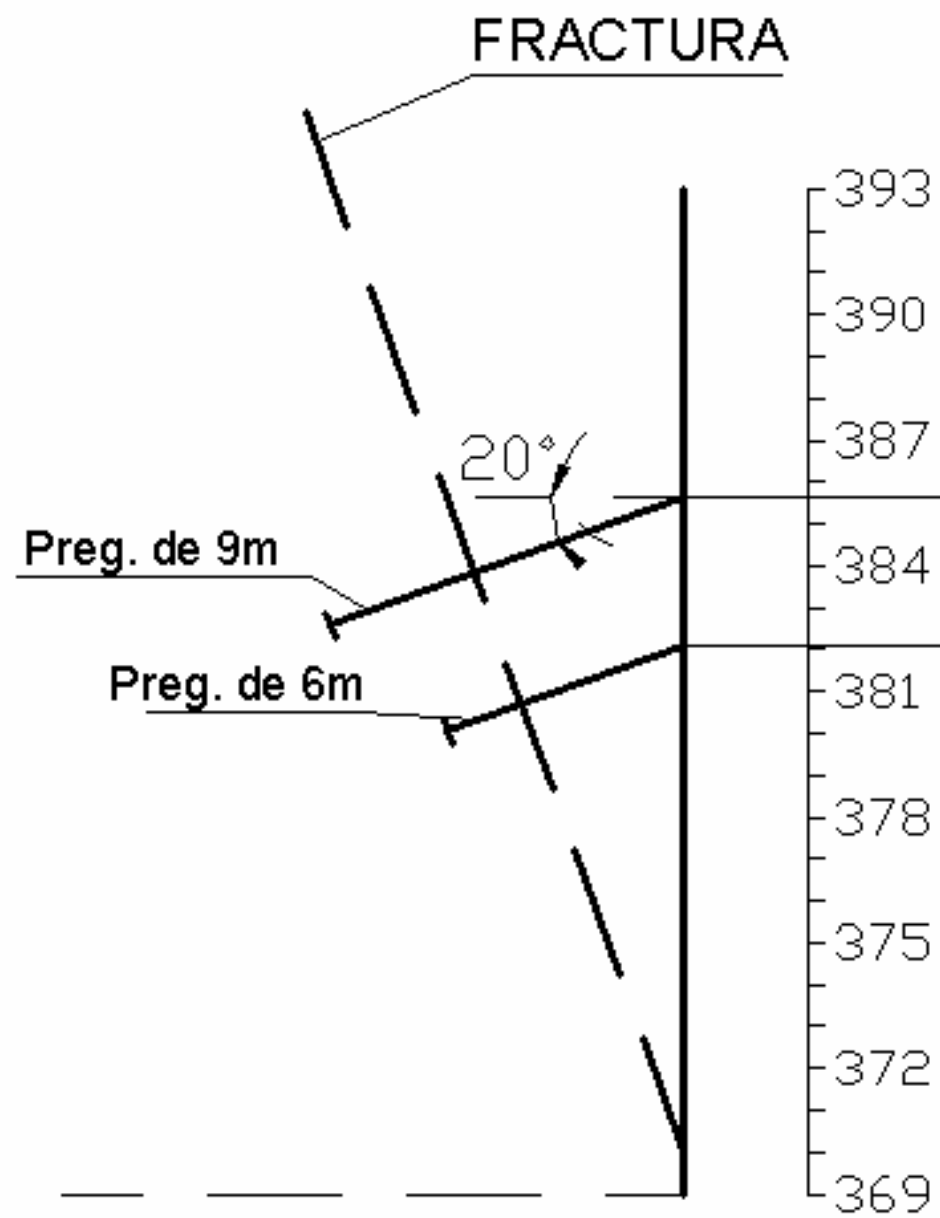


VISTA FRONTAL



SEGUNDA HIPÓTESE: PREGAGENS INCLINADAS DISPOSTAS EM 2 FIADAS.

CORTE VERTICAL A-A'



VISTA FRONTAL

