



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL

Conselho Regional Sul do Colégio de Engenharia
Geológica e de Minas



BARREIRAS DINÂMICAS

Proteção contra a queda de blocos

exemplo de aplicação numa pedreira

29 de outubro de 2020

Sónia Pinto - Eng.^a Geóloga e Nuno Nogueira - Geólogo de Engenharia



tetraplano
engenharia lda



CENTRO DE PRODUÇÃO DE ALHANDRA

ESTABILIZAÇÃO DA ZONA 4 – PEDREIRA DO BOM JESUS

LOCALIZAÇÃO

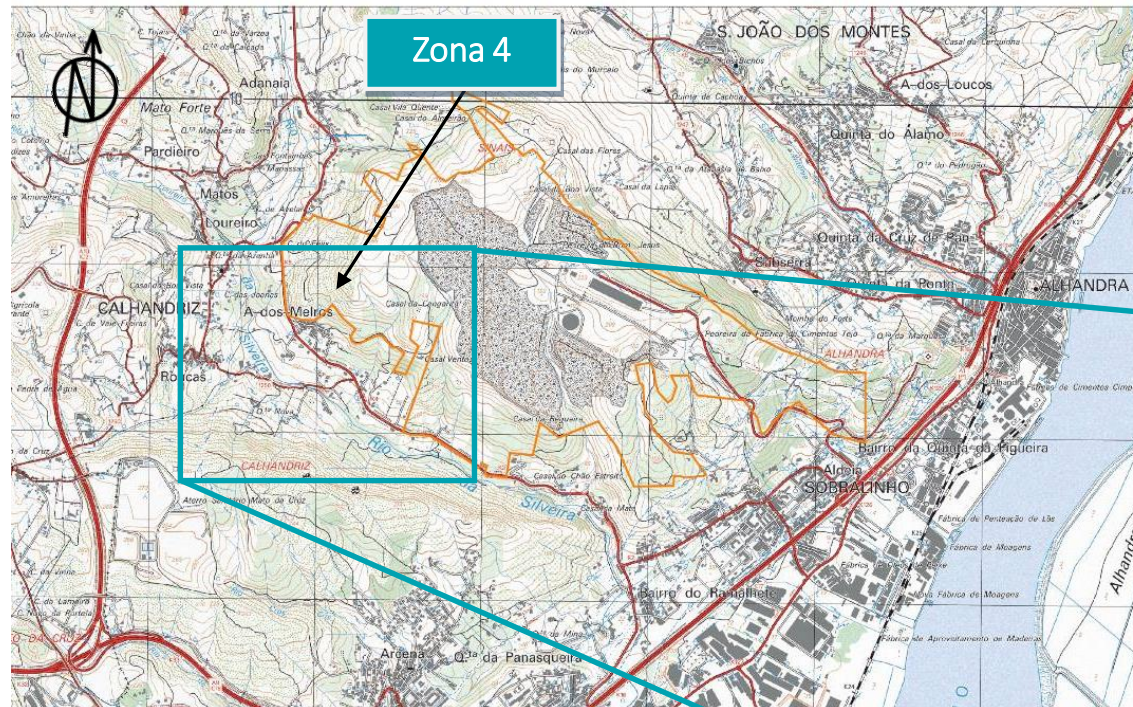
A **Pedreira do Bom Jesus** localiza-se entre as povoações de Alhandra, Sobralinho, Calhandriz e A-dos-Melros, no concelho de Vila Franca de Xira e está associada à atividade do Centro de Produção de Alhandra (CPA).



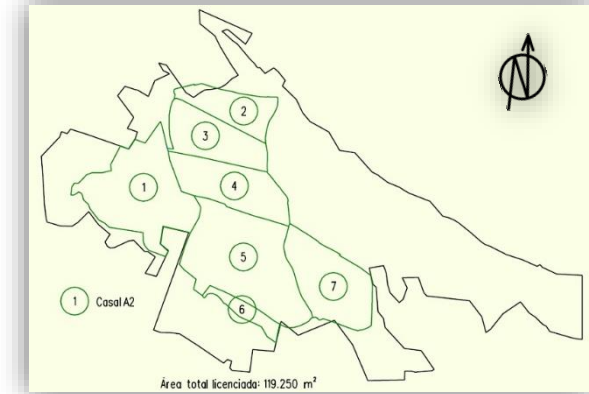
Localização da área na imagem extraída do Google Earth.

LOCALIZAÇÃO

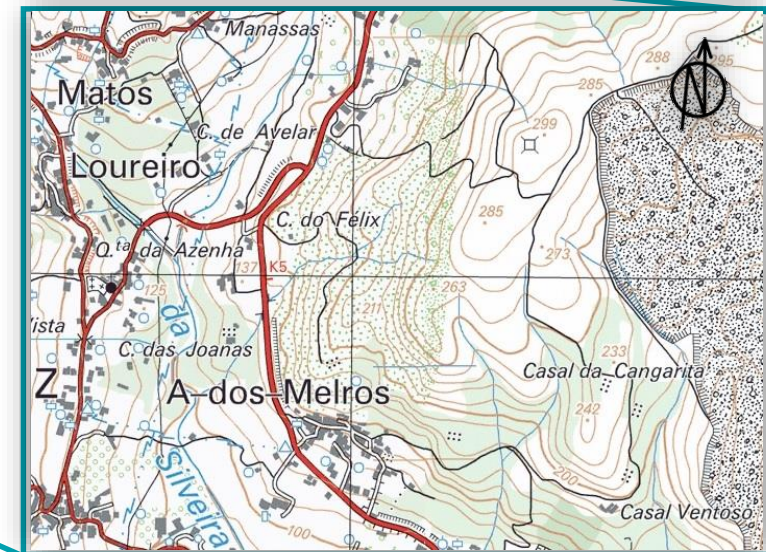
A **Zona 4** situa-se na encosta do Casal A2, localizada a montante da povoação de A-dos-Melros.



— LIMITE DA ÁREA LICENCIADA



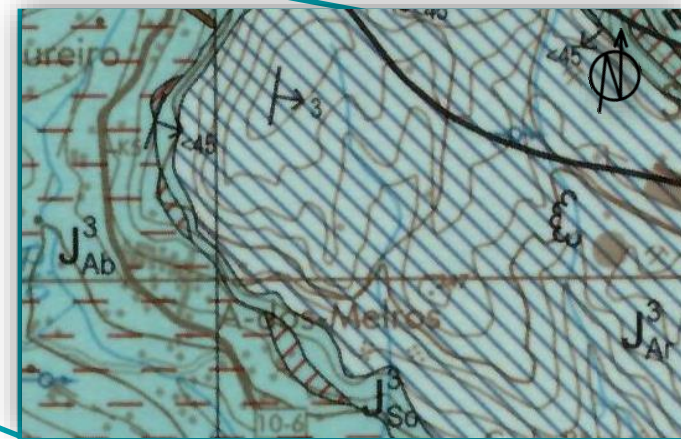
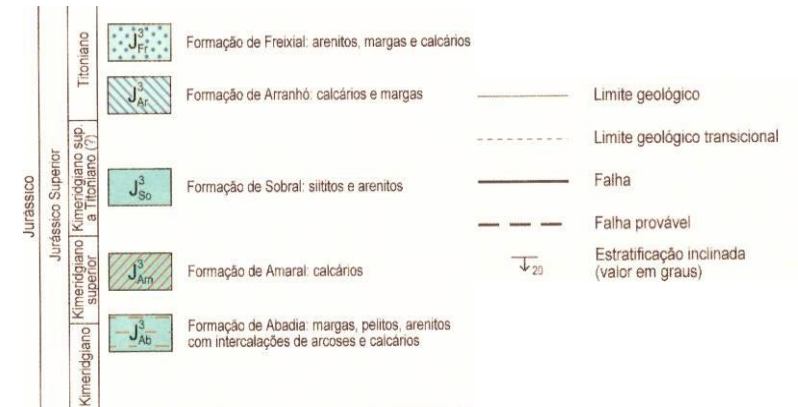
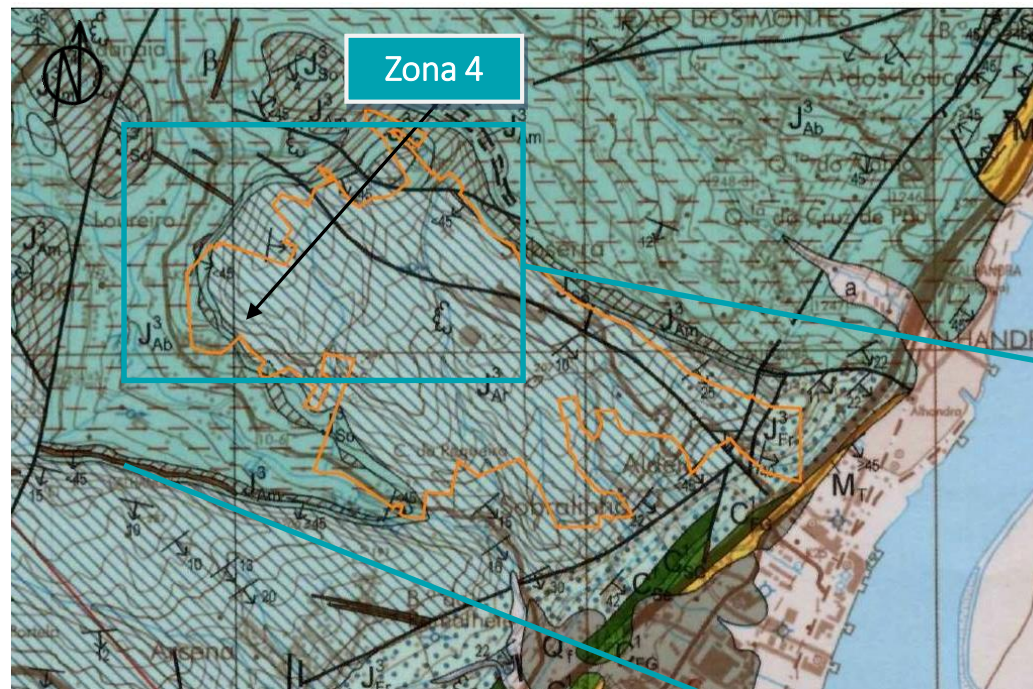
A área da pedra encontra-se subdividida em casais



Localização da área no extrato da Carta Militar de Portugal, Folhas 403 Bucelas – Loures e 404 Alhandra - Vila Franca de Xira, de 2009.

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A área da pedra é maioritariamente constituída por terrenos jurássicos, atualmente designados por **Formação de Arranhó (J³_{Ar})**.



Extrato da Carta Geológica de Portugal, Folha 34-B (Loures), de 2008

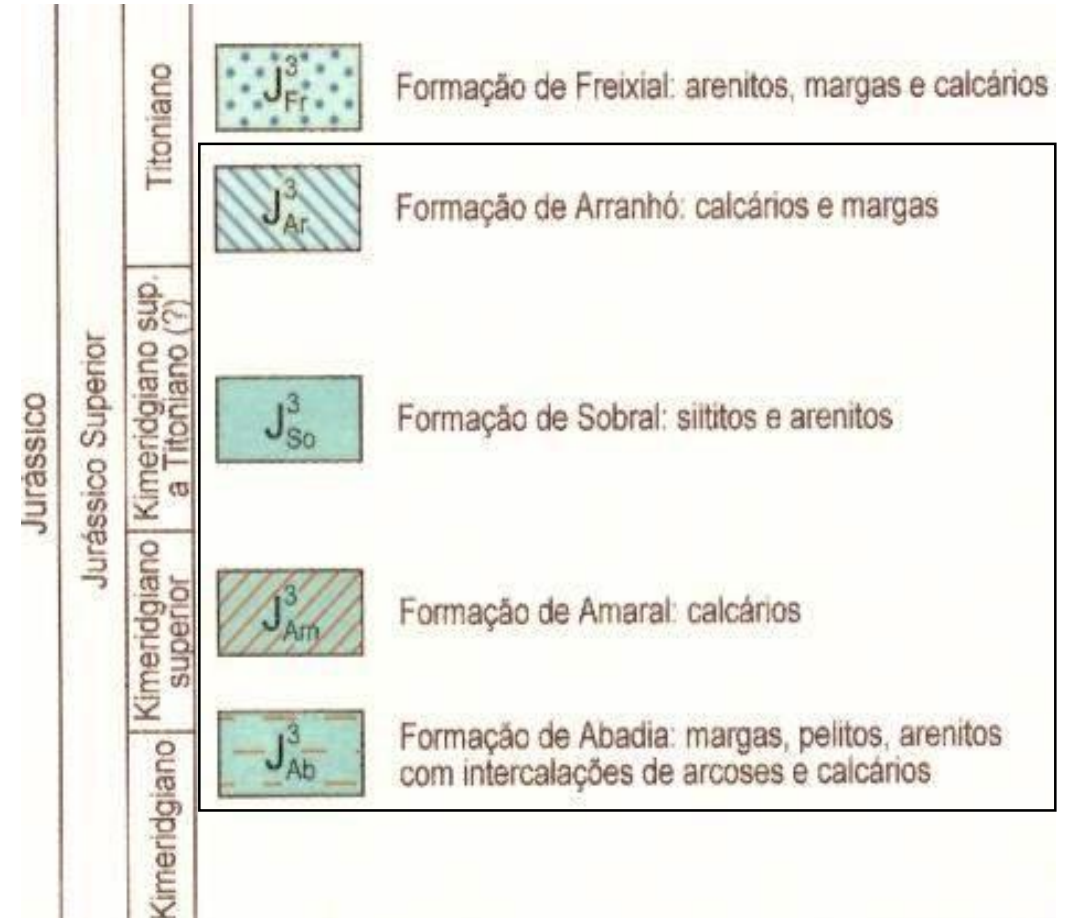
ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A **Formação de Arranhó** (J^3_{Ar}), anteriormente designada por “Pteroceriano”, é constituída por calcários, margas e argilas margosas, correspondendo às matérias-primas exploradas na Pedreira de Bom Jesus.

Inferiormente ocorre a **Formação de Sobral** (J^3_{So}), representada por siltitos e arenitos, passando, para a base, aos calcários da **Formação de Amaral** (J^3_{Am}), que por sua vez assentam sobre a **Formação de Abadia** (J^3_{Ab}), através de superfície de erosão.

A Formação de Abadia é constituída por argilas margosas, margas, argilas micáceas e siltosas e siltitos micáceos, com intercalações de arenitos finos, calcários oolíticos e arcoses.

Em zonas localizadas da encosta ocorrem depósitos de vertente.



ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A CIMPOR definiu a sequência das formações do Jurássico na área de exploração, do topo para a base, conforme se pode observar no Quadro.

Encontra-se dividida em diversas **Unidades Geológicas** (UG's):

- “Pisos” calcários (identificados por “P#”);
- “Argilas” (identificadas por “A#_#”), que ocorrem intercaladas com os “Pisos”.

Coluna lito-estratigráfica do depósito da pedreira do Bom Jesus.

ID Unidade Geológica	Descrição das características litológicas
P6	Caracterizado por conter níveis compactos de calcários bege entre passagens margo-calcárias tomando-se mais rico em conteúdo bioclástico para o topo.
A5_6	Passagem francamente argilosa, que ocorre num nível pouco espesso e por vezes é imperceptível a sua definição.
P5	Nível de calcário margoso bastante bioclástico com incrustações calcíticas em laivos, de aspecto rugoso, variando entre as tonalidades bege a cinza.
A4_5	Margas-Argilosas de aspecto e composição semelhante ao nível A3_4.
P4	Apresenta um nível de calcário espesso e compacto no topo bastante fossilífero em geral de tons muito claro quase branco, semelhante ao BB, inferiormente dispõem-se em camadas apinhoadas de natureza margo-calcárias alternando a coloração de cinza a creme escuro com passagens centimétricas mais margosas.
A3_4	Passagem francamente argilosa com escasso conteúdo fossilífero.
P3	Corresponde a um conjunto margo-calcário mas predominando o conteúdo margoso pouco fossilífero.
A2_3	Margas-Argilosas que definem um nível pouco espesso mas que marcam a passagem do BB muito rico para o Piso 3 mais pobre em conteúdo carbonatado.
P2	Nível resultante de intercalação de bancadas de calcário bioclástico a topo apresentando tonalidade esbranquiçada (calcário branco oolítico denominado Banco Branco – BB) e de calcário margoso na base de coloração cinza a creme.
P1	Constituído por calcário apinhoadado de cor cinza a creme, em cujo topo ocorre um calcário oolítico/pisólítico, denominado por Banco das Mós, de cor creme escura, por vezes azulado. Serve de nível guia estratigráfico.
A0_1	Nível argiloso a margo-argiloso, por vezes com algum conteúdo fossilífero.
P0	Conjunto calcário-margoso alternando com níveis mais margosos.
A1_0	Definido por passagens métricas de níveis margosos a alternar com breves ocorrências de margo-calcários, de espessura desconhecida uma vez que não foi atingida a base da unidade.

TECTÓNICA

A área estudada situa-se na bordadura sudeste do **anticlinal jurássico** que se estende de Arruda dos Vinhos – Sobral de Monte Agraço até à margem direita do Tejo e cujo núcleo é constituído pela Formação de Abadia.

Estudos recentes efetuados por técnicos da CIMPOR permitiram identificar um elevado número de **falhas** que compartimentam o maciço rochoso na área de exploração, destacando-se 3 famílias principais:

- N65°W a E-W
- N15°E a N20°E
- NE-SW (menos comum)



Falhas geológicas identificadas na área da pedreira.

Em geral, as camadas jurássicas na área da pedreira apresentam uma orientação aproximada NNE-SSW a NE-SW, inclinando cerca de 3 a 15° para ESE a SE.

GEOMORFOLOGIA

Nesta região destaca-se o **relevo tabular monoclinal**, em particular os relevos em costeira, dos quais são exemplo as encostas de Subserra e de Calhandriz.



Erosão diferencial observada na antiga frente de escavação, com acumulação de materiais caídos

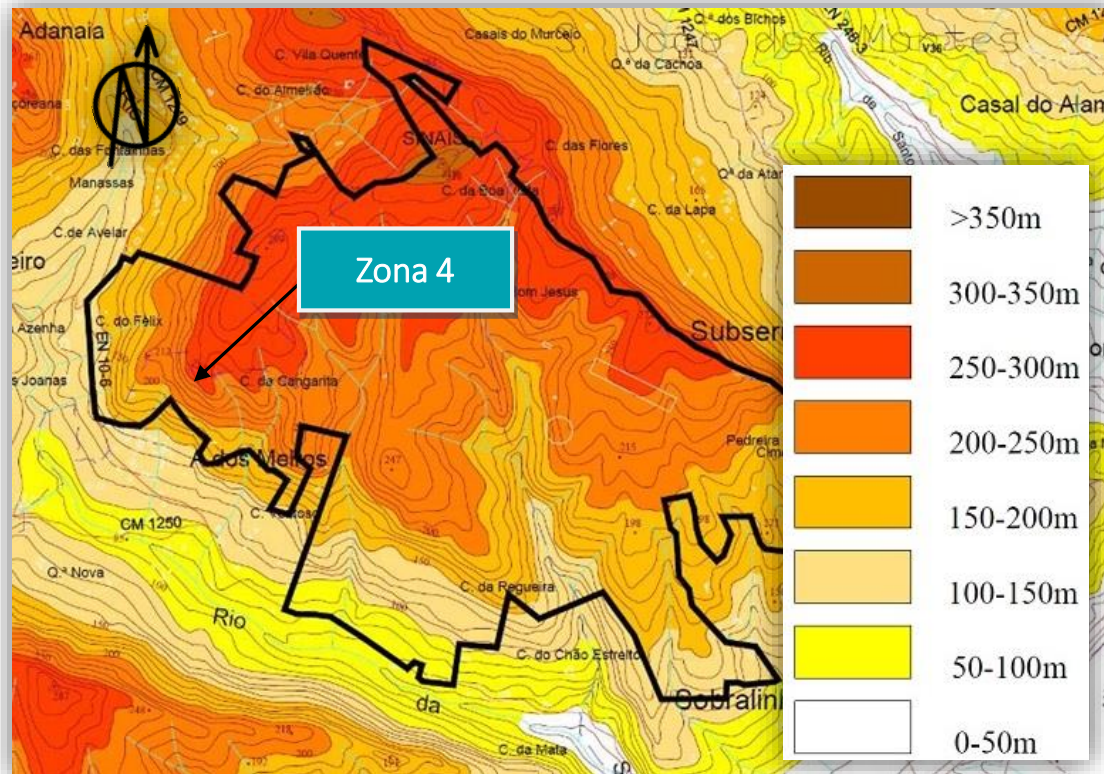


A **área em exploração** da pedreira corresponde ao **reverso da costeira** e é constituída pelas formações do jurássico, com inclinação suave e regular para SE, entalhadas por vales por vezes profundos.

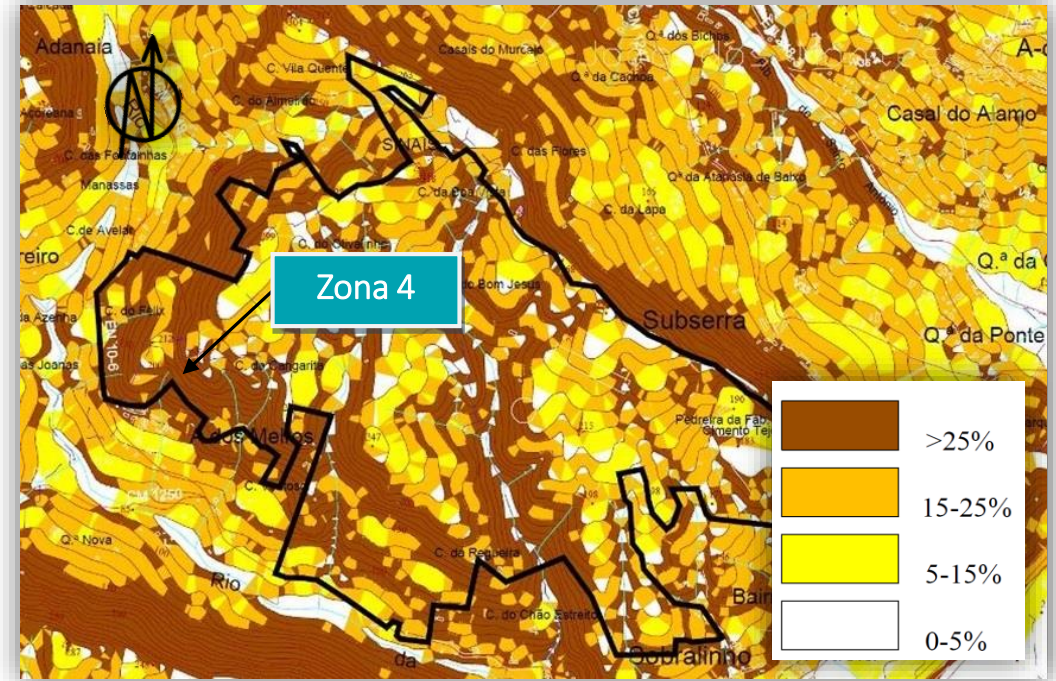
Verifica-se a alternância de camadas resistentes à erosão e camadas brandas, formando cornijas.

GEOMORFOLOGIA

Para se proceder à caracterização do relevo utilizaram-se as **Cartas de Declives e Hipsométrica**.



Carta Hipsométrica



Carta de Declives

A área de exploração é limitada a sul, pela encosta do vale do rio da Silveira, inserindo-se nos intervalos de cota de 150-200 e 200-250 m. Exibe, no topo, declives acentuados (>25%), suavizando para a base (15-25% a 5-15%), terminando no fundo dos vales com declives entre 0 e 5%.

CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO EXISTENTE

Procederam ao **reconhecimento geológico** de superfície, que permitiu:

- caracterizar a morfologia e a natureza dos terrenos que constituem a **Zona 4**
- efetuar o levantamento de descontinuidades do maciço rochoso;
- identificar a origem dos blocos e analisar as zonas de acumulação ao longo da encosta.



Os trabalhos de reconhecimento de superfície foram condicionados pela:

- existência de forte coberto vegetal;
- orografia local, com declives acentuados e taludes praticamente verticais;
- dificuldade de acesso aos locais de encosta;
- existência de zonas de massas de solos e rocha instáveis.

CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO EXISTENTE

A **Zona 4** situa-se na encosta do Casal A2, localizada a montante da povoação de A-dos-Melros.



Esta encosta apresenta-se com um declive acentuado a montante, variando em geral entre cerca 30 e 40°, até aproximadamente as cotas 130 a 150 m.

Para jusante, os pendores da encosta tornam-se progressivamente mais suaves, cerca de 8 a 10°, terminando no rio da Silveira.

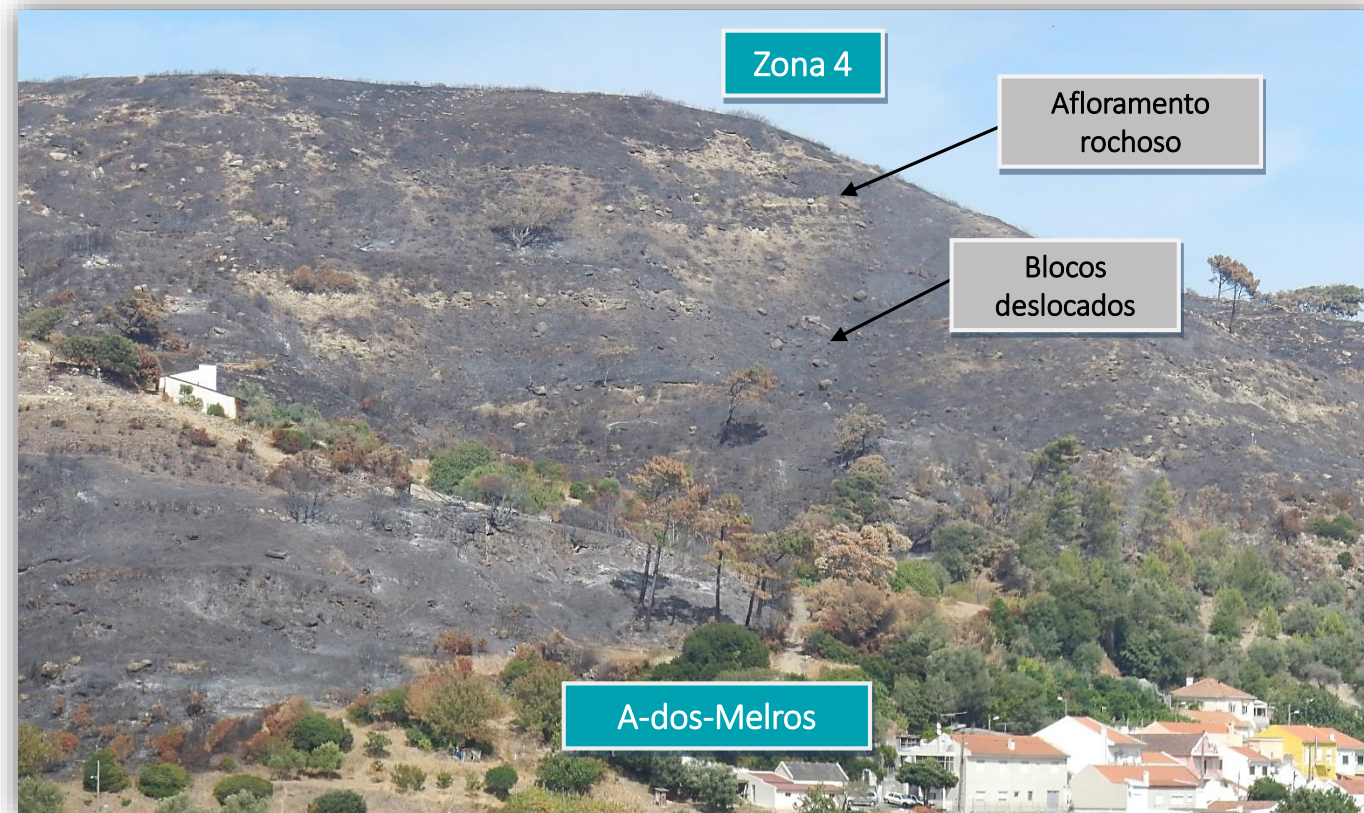
CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO EXISTENTE

Na **Zona 4** observaram-se afloramentos rochosos em praticamente toda a área montante da encosta, que ao perderam apoio, dão origem a queda de blocos, que chegam a atingir dimensão da ordem de 1,5 m.



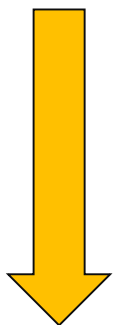
CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO EXISTENTE

Durante o período em que decorram os trabalhos de análise de estabilidade e projeto de execução ocorreu um **incêndio** que afetou a **Zona 4**, provocando o agravamento da situação existente. No entanto, permitiu ter uma percepção mais realista situação existente



CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO EXISTENTE

Anterior ao
incêndio



Após o
incêndio



CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO EXISTENTE

A **morfologia** é essencialmente condicionada pelas **bancadas rochosas**, com inclinação aproximadamente concordante com a orientação da encosta ou suavemente para o seu interior, o que origina **cornijas**, em calcários e arenitos, mais resistentes que as margas e argilas com que alternam.



A camada superficial de **depósitos de vertente**, pouco espessa e irregular, e as **bancadas jurássicas margosas e argilo-margosas**, são **mais brandas e sensíveis aos agentes erosivos**, em especial à ação direta das águas da chuva e à escorrência superficial.

CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO EXISTENTE

Este processo erosivo conduz à **remoção** destes solos e das bancadas mais brandas, originando o arrastamento de materiais terrosos e a consequente exposição das bancadas carbonatadas subjacentes.



As **camadas carbonatadas**, bastante mais resistentes à erosão, ficam salientes, formando **consolas**, com dimensões variáveis e inclinações geralmente bastante acentuadas.

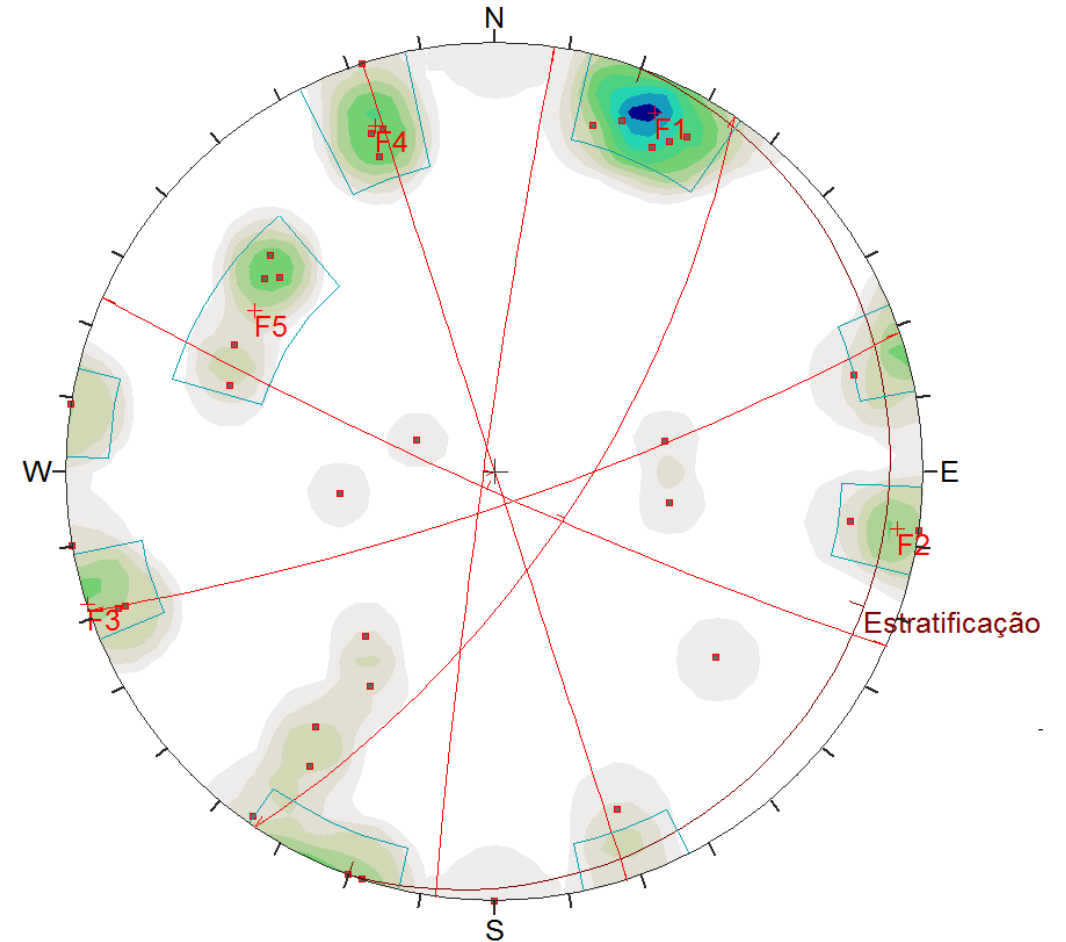
Estas bancadas ao perderem apoio, dão origem a **toppling** e **queda de blocos**, de dimensões decimétricas a métricas.

PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA

No reconhecimento geológico de superfície procedeu-se à medição de atitudes das descontinuidades observadas, que permitiu identificar as **principais famílias de descontinuidades**.

Principais famílias de descontinuidades

Família	Direção média	Inclinação média
Estratificação	N20 °E	5°SE
F1	N66°W	Subvertical
F2	N8°E	Subvertical
F3	N20 °W	Subvertical
F4	N70 °E	80°S
F5	N34°E	68° SE



Projeção estereográfica das descontinuidades identificadas *in situ*.

DIAGNÓSTICO

Os **principais fenómenos de instabilidade** ocorrentes na encosta são fundamentalmente ***toppling* e queda de blocos**.

A futura exploração de matérias-primas no topo desta encosta (provocando vibrações, movimentação de terras, etc.) poderá conduzir a um agravamento desta situação, sendo expectável um aumento de blocos passíveis de se destacar e deslocar-se ao longo da encosta, acrescido de eventuais blocos resultantes da própria escavação.

Dado que as **zonas potencialmente instáveis** do maciço rochoso aflorante estão localizadas na encosta a **montante da povoação de A-dos-Melros**, no alinhamento de várias habitações, **poderão colocar em risco a segurança das pessoas e bens**, situação que foi agravada pela ocorrência do referido incêndio, na medida em se constata a perda praticamente total do coberto vegetal.

ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

Estabilização VS Proteção

Estabilização

Pregagens, redes de alta resistência, betão projetado

Prevenir a queda de blocos

Proteção contra a queda de blocos

Pórticos, barreiras dinâmicas, valas e diques

Controlar, interceptar ou desviar a queda do bloco evitando o custo de perdas humanas ou de bens

Em regra são soluções mais onerosas

(quando os blocos são de dimensões razoáveis, muitos ou em locais inacessíveis à sua estabilização)

São soluções que normalmente ocorrem associadas a vias rodoviárias e ferroviárias, também, mas com menor expressão, em zonas urbanas por vezes instaladas na base das encostas.



ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

Estabilização

Pregagens, redes de alta resistência; betão projetado

➔ Prevenir a queda de material / blocos



MÉTODOS PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

Proteção contra a queda de blocos

Pórticos, barreiras dinâmicas, valas e diques

→ ***Controlar, interceptar ou desviar a queda do bloco***

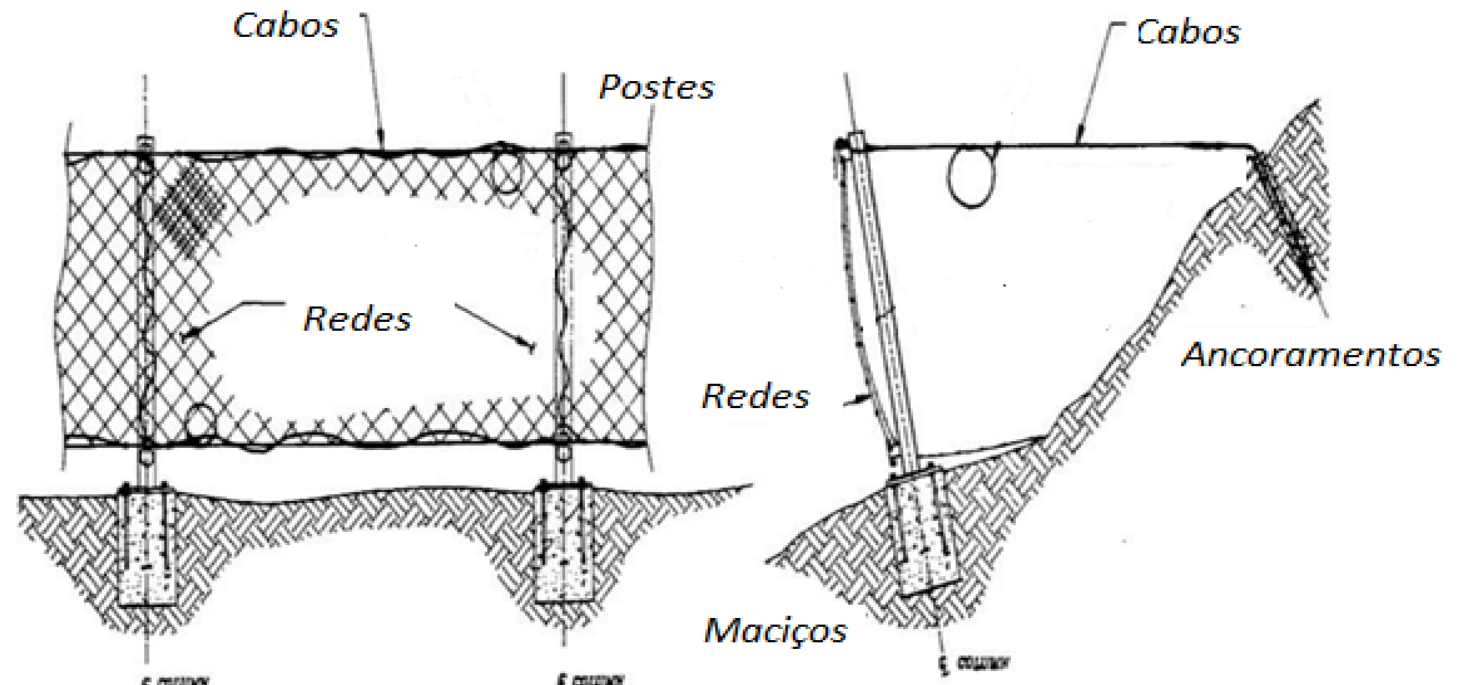


BARREIRAS DINÂMICAS - CONSTITUIÇÃO

A **BARREIRA DINÂMICA** é constituída por uma estrutura de:

Interseção (sistema de redes - anéis) + **Ligação** (conjunto de cabos aço horizontais) + **Suporte** (postes – perfis metálicos verticais) + **Fundação** (maciços e cabos ancorados ao terreno).

As redes **interseçam** o bloco e suportam o impacto direto, transmitindo as tensões aos elementos de **ligação**, **suporte** e **fundação**.



BARREIRAS DINÂMICAS – CERTIFICAÇÃO

Barreiras dinâmicas são certificadas – ETA (European Technical Approval)

EOTA → ETAG (Guideline) – “Falling rock protection kits” – ETAG 027

→ Uniformização dos testes

As **BARREIRAS DINÂMICAS** são certificadas para um Nível Máximo de Energia de absorção (**MEL**), sendo dimensionadas para um Nível de Energia de Serviço (**SEL**), em que SEL corresponde a 1/3 MEL.

Níveis de Energia – 0 a 8

Classificação do nível de energia	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL (kJ)	--	85	170	330	500	660	1000	1500	> 1500
MEL (kJ) ≥	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	> 4500

Altura da Barreira – A, B e C

Categoria	Altura residual
A	≥ 50 % altura nominal
B	30 < altura nominal < 50%
C	≤ 30 % altura nominal

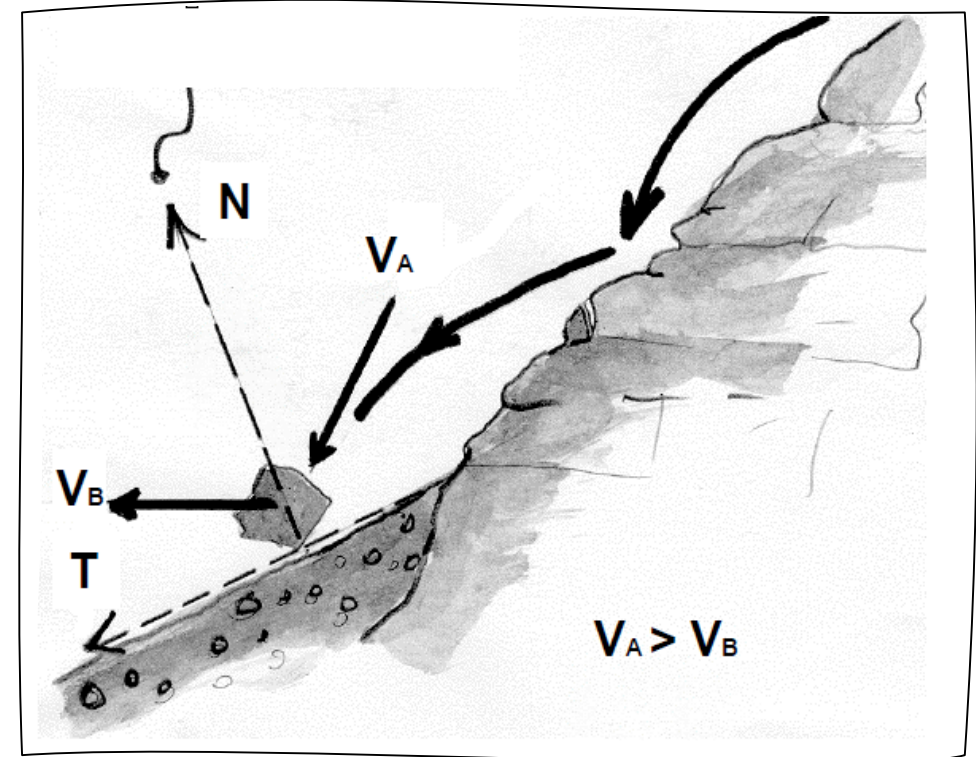
DIMENSIONAMENTO DAS BARREIRAS DINÂMICAS

As **BARREIRAS DINÂMICAS** são dimensionadas:

Tendo por base parâmetros geológicos, geotécnicos e topográficos, bem como na trajetória do bloco

Abordagem MEL – ocorrência de queda de blocos com diferentes trajetórias de queda, com possibilidade de manutenção.

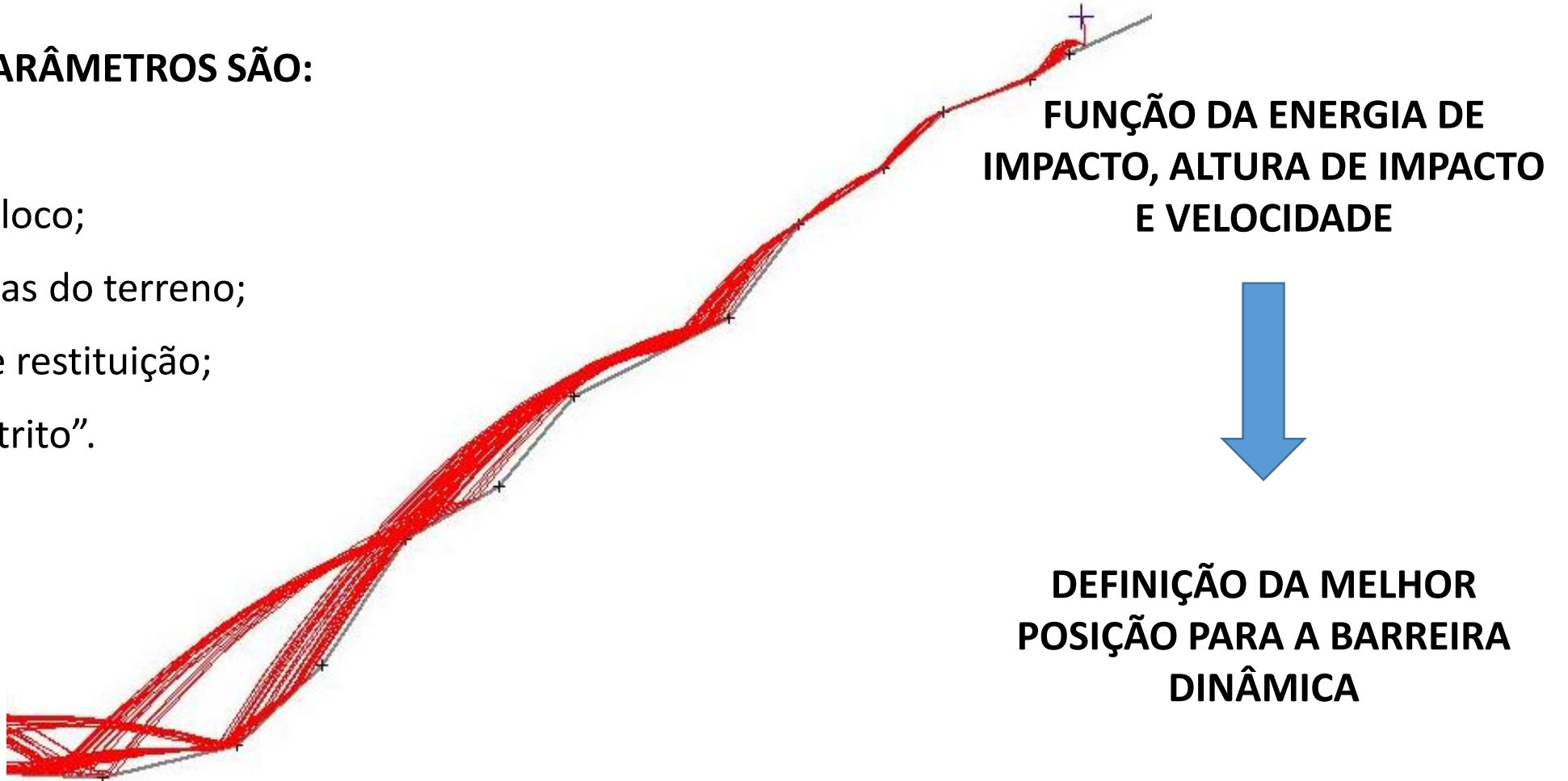
Abordagem SEL – barreiras instaladas em locais de difícil acesso (manutenção) ou em que o evento pode ser recorrente.



SOFTWARE ROCFALL - ROCSCIENCE

OS PRINCIPAIS PARÂMETROS SÃO:

- Dimensão do bloco;
- As características do terreno;
- Coeficientes de restituição;
- O “ângulo de atrito”.



DIMENSIONAMENTO DAS BARREIRAS DINÂMICAS

Massa do bloco (m_p) corresponde ao volume do bloco (Vol_b) multiplicado pelo peso volúmico da rocha (γ) afetado de um coeficiente de segurança (γ_m)

$$m_p = (Vol_b \times \gamma) \gamma_m \quad \gamma_m \geq \text{coeficiente peso volúmico do material}$$

Energia da BARREIRA DINÂMICA (E_{ETA}) tem que ser superior à energia de impacto de cálculo (E_{DIM}):

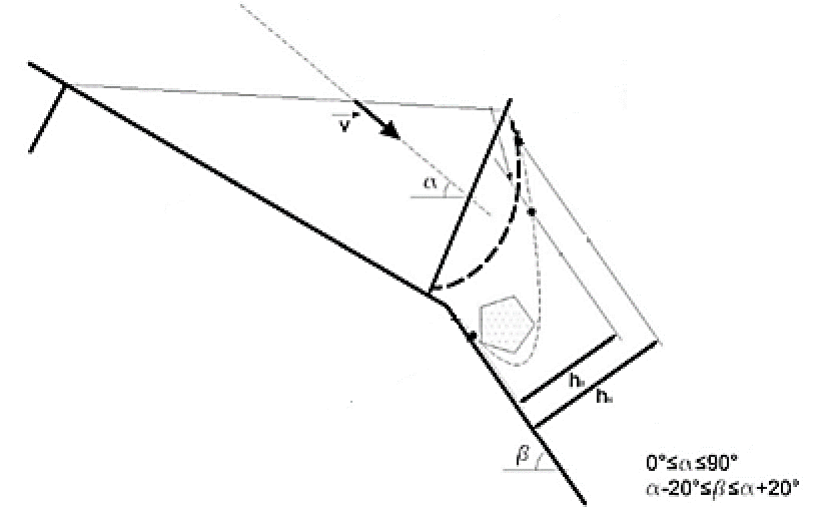
$$E_{ETA} - E_{DIM} / \gamma_E \leq 0$$

γ_E – coeficiente de segurança ($\gamma_E = 1,30 - MEL // 1,00 - SEL$)

Altura (h_i) tem que ser superior à altura de cálculo (h_p):

$$h_i \geq h_p + f$$

em que $f \geq$ metade da dimensão média do bloco



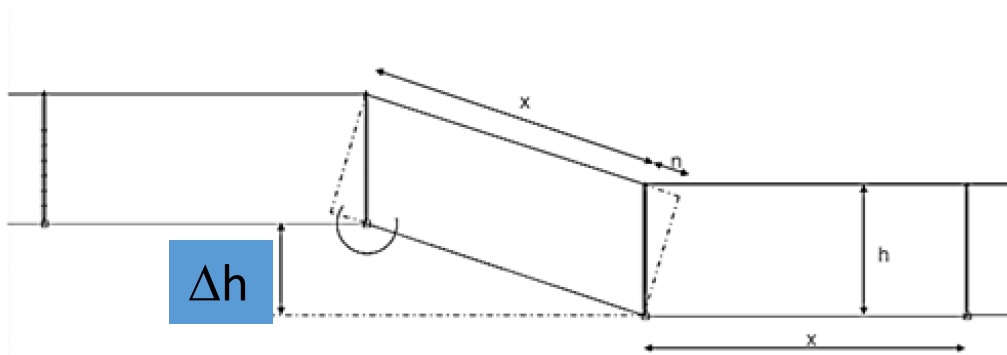
Velocidade (v_p) corresponde a 95% da velocidade de cálculo (v_t) afetado do coeficiente de segurança (γ_F):

$$V_p = V_t \times \gamma_F \quad \gamma_F \geq \text{coeficiente de trajetória e do talude}$$

Deformação de cálculo (d_a) multiplicada por um coeficiente de segurança (γ_E), tem que ser inferior à distância entre as barreiras dinâmicas e a área a proteger (d_p): $d_a \gamma_E \leq d_p$

DIMENSIONAMENTO DAS BARREIRAS DINÂMICAS

MUDANÇAS DE DIREÇÕES ALTIMÉTRICAS Variações de cotas



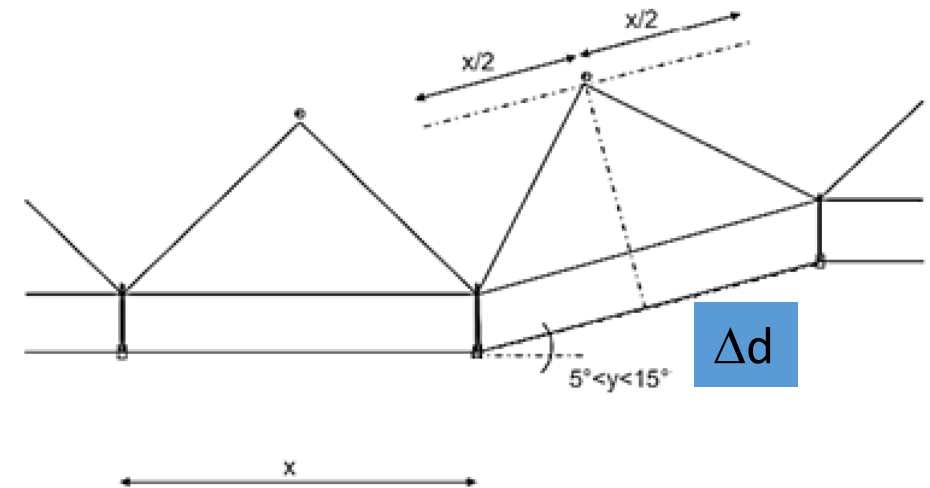
H: altura da barreira

X: distância entre postes

Δh : Diferença de altura entre postes

Δd : Diferença planimétrica entre postes

MUDANÇAS DE DIREÇÕES PLANIMÉTRICAS Variações em planta



Δh e Δd Estão balizadas entre determinados valores sob o risco de comprometerem a funcionalidade das barreiras dinâmicas

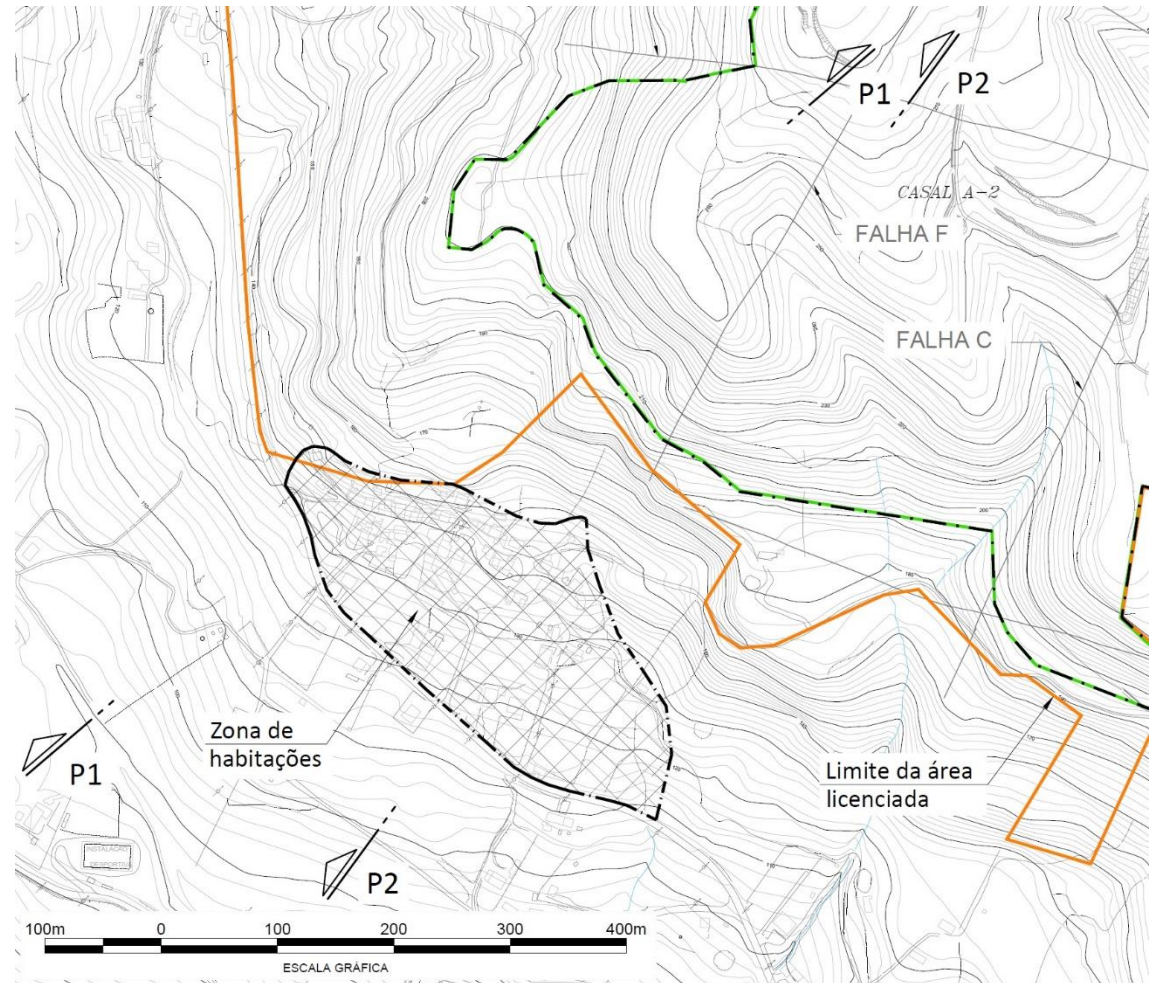
Todos os elementos devem ter **proteção contra a corrosão** função da sua localização (EN 10224)

ESTABILIZAÇÃO DA ZONA 4 – PEDREIRA DO BOM JESUS

Para análise da queda de blocos e avaliação do perigo sobre eventuais zonas de risco utilizou-se o *software RocFall*.

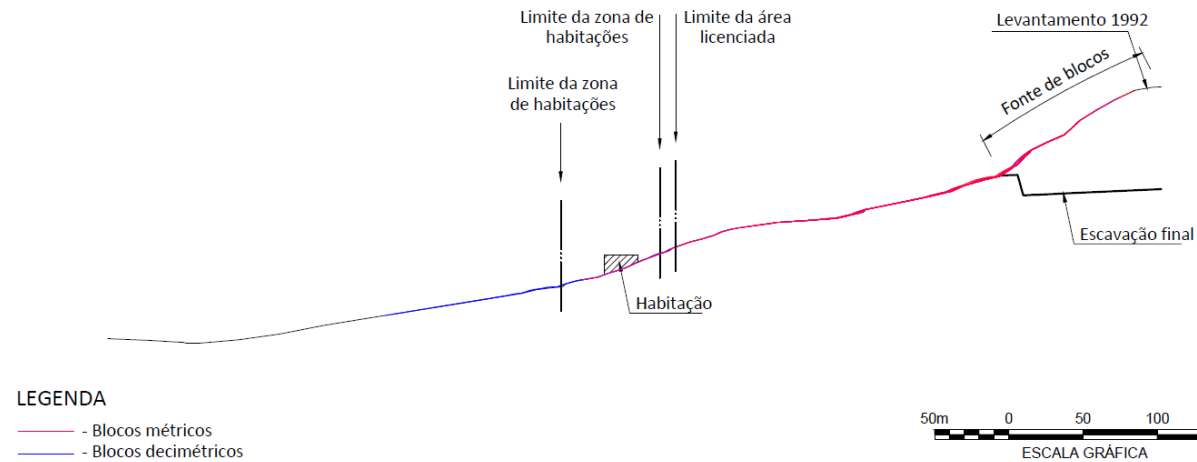
Utilizaram-se dois perfis P1 e P2, a norte e a sul, respetivamente, para avaliar o trajeto da queda dos blocos provenientes da encosta a ser explorada.

Considerou-se a queda de blocos com massa de 250, 2 500 e 6 000 kg a partir de diferentes alturas no talude, correspondendo a blocos com 0,5, 1,0 e 1,5 m de diâmetro, respetivamente.

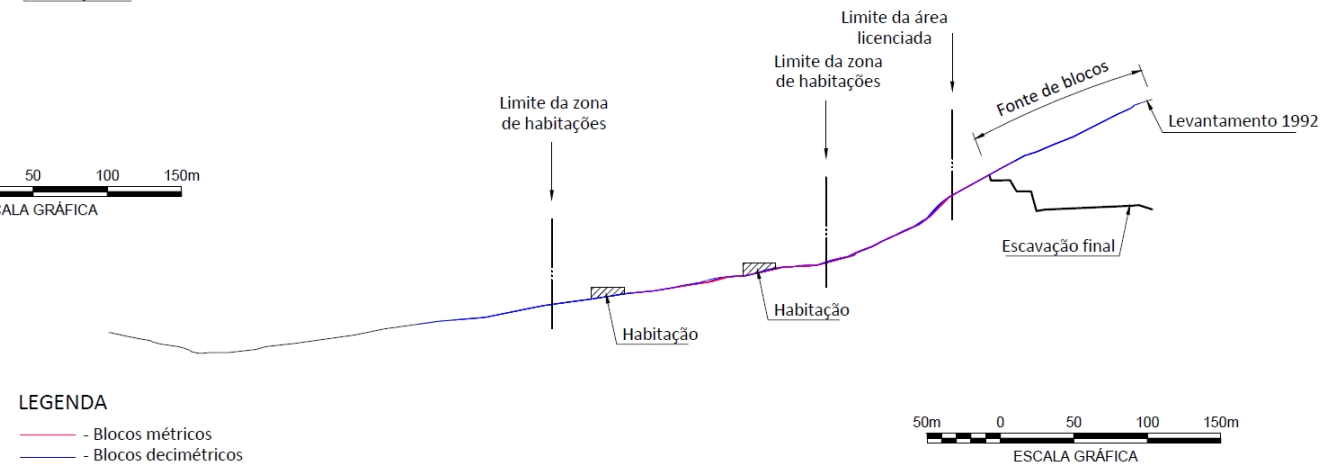


ESTABILIZAÇÃO DA ZONA 4 – PEDREIRA DO BOM JESUS

Perfil P1 – zona norte. **Trajétoria de blocos instabilizados.**

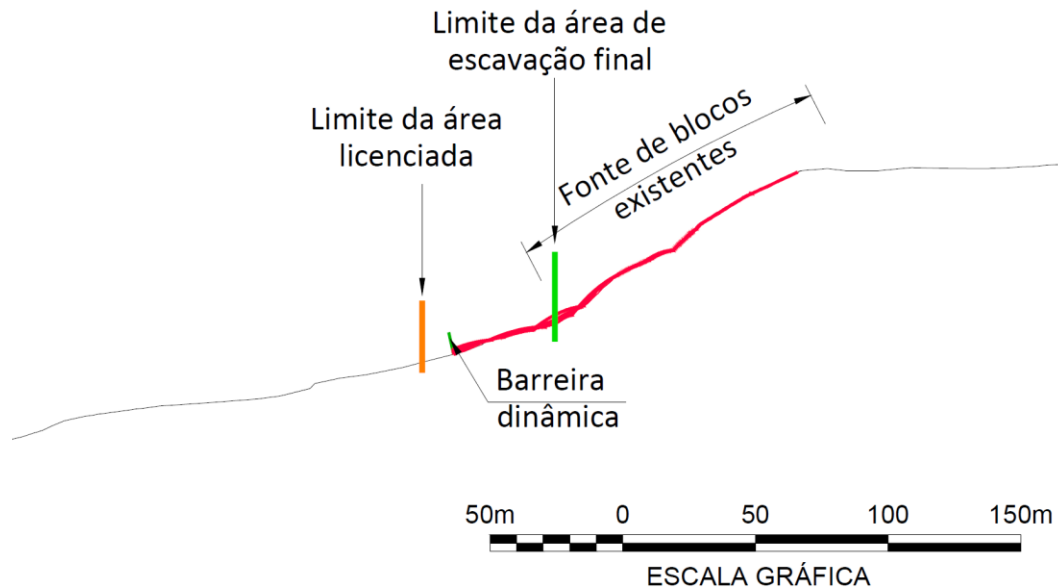


ZONA 4 - PERFIL P1

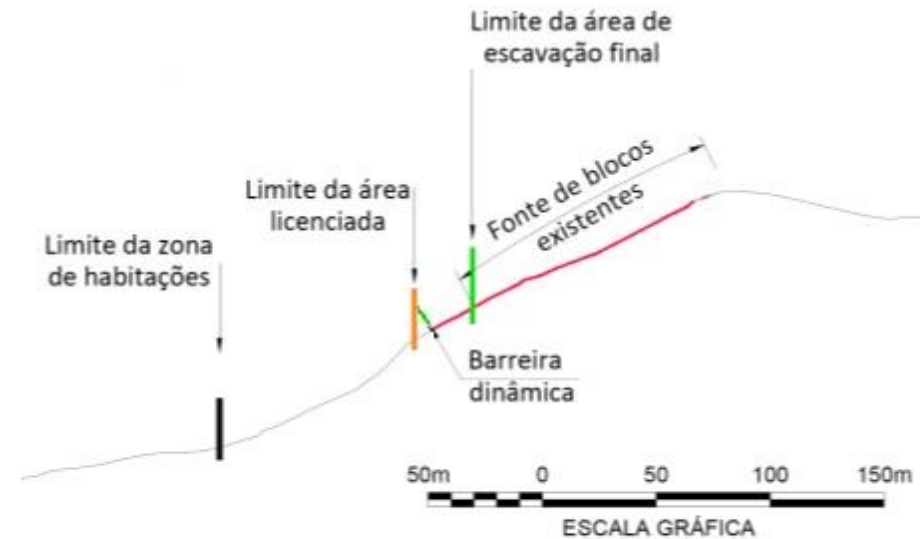


Perfil P2 – zona sul. **Trajétoria de blocos instabilizados.**

ESTABILIZAÇÃO DA ZONA 4 – PEDREIRA DO BOM JESUS



Perfil cálculo. Perfil P1. Colocação da barreira dinâmica.



Perfil de cálculo. Perfil P2. Colocação da barreira dinâmica.

ESTABILIZAÇÃO DA ZONA 4 – PEDREIRA DO BOM JESUS

Os resultados permitiram aferir que **existia risco de eventuais blocos soltos provenientes do topo da encosta ultrapassarem os limites da CIMPOR**, colocando em risco as habitações situadas a jusante, na encosta.

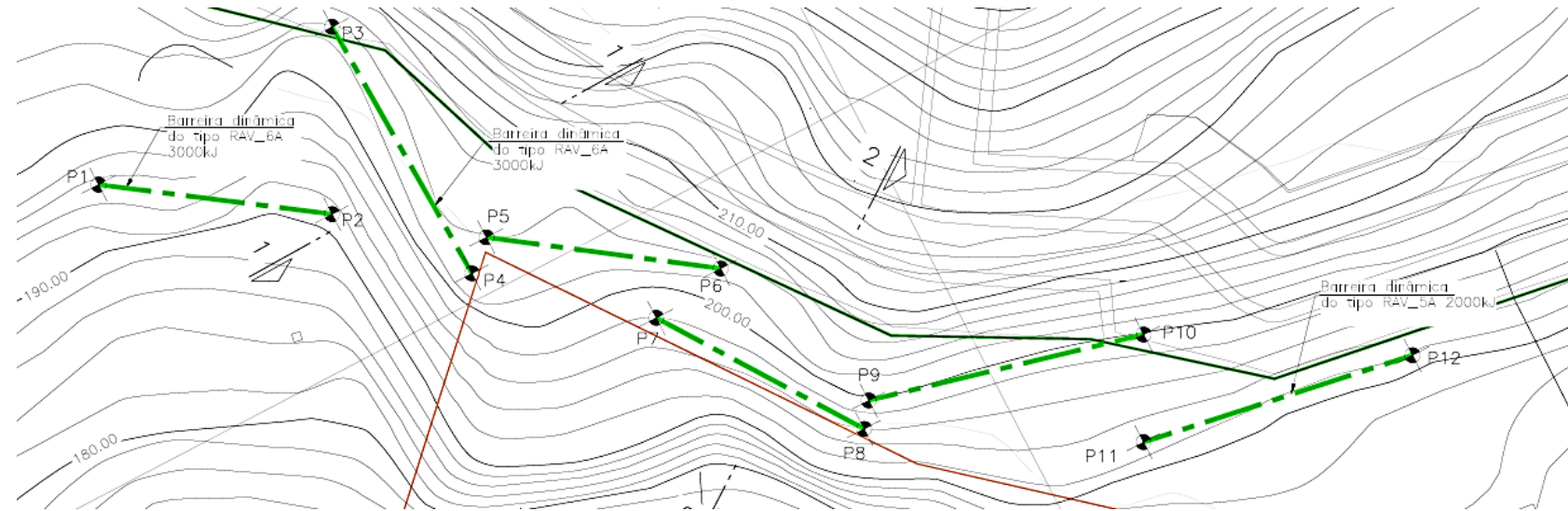
Em termos de **velocidades máximas**, ambos os perfis conduziram a valores de cerca de **20 m/s**.

Relativamente às **alturas máximas** de salto de blocos, o Perfil 1 originou resultados mais condicionantes, com valores de ressalto máximos da ordem de **2 e 1 m** para o Perfil 1 e 2, respetivamente, na zona do limite da CIMPOR.

Para a zona mais a norte (Perfil P1) estimou-se uma **energia de impacto** máxima e média de cerca de **2400 e 1470 kJ**, respetivamente e para a zona sul (Perfil 2) uma energia de impacto máxima e média de cerca de **1245 e 200 kJ**, respetivamente.

ESTABILIZAÇÃO DA ZONA 4 – PEDREIRA DO BOM JESUS

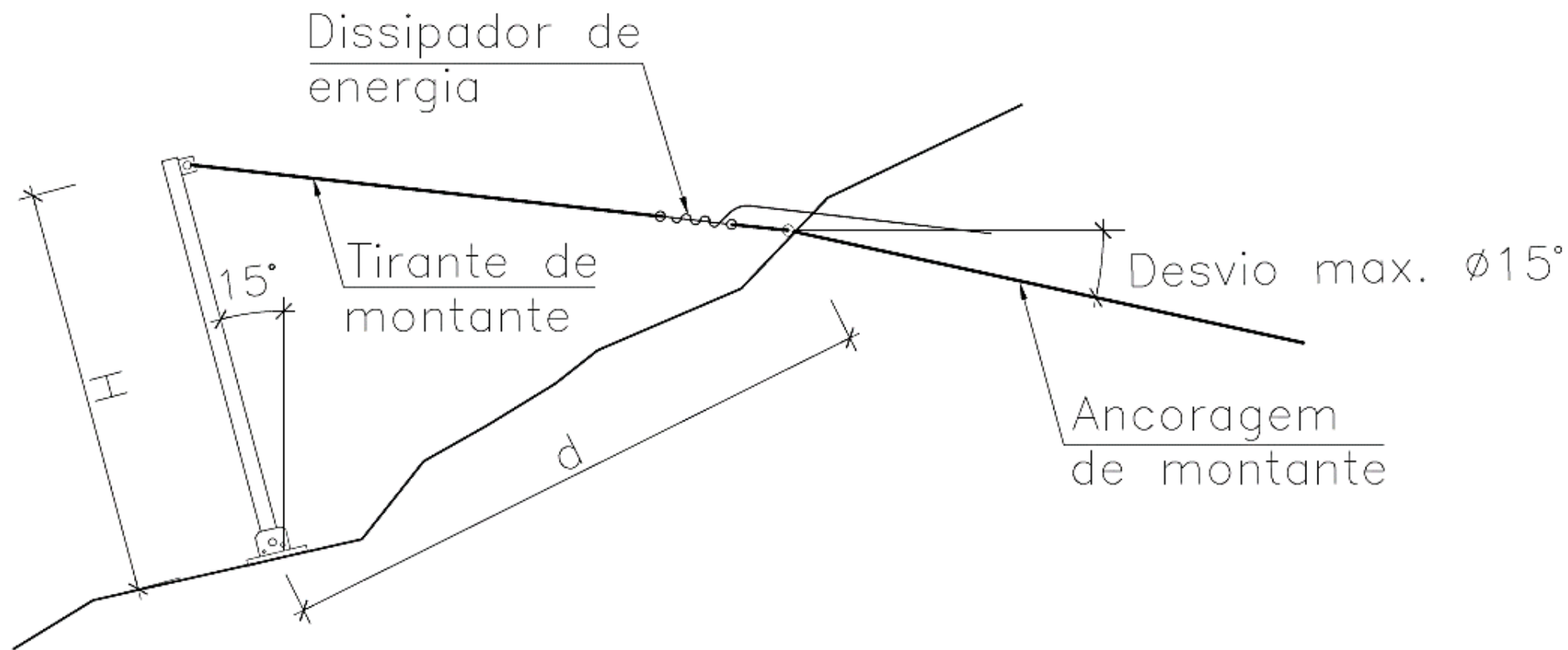
Considerou-se a colocação de **BARREIRAS DINÂMICAS** a meio da encosta, colocadas próximas do limite da área licenciada.



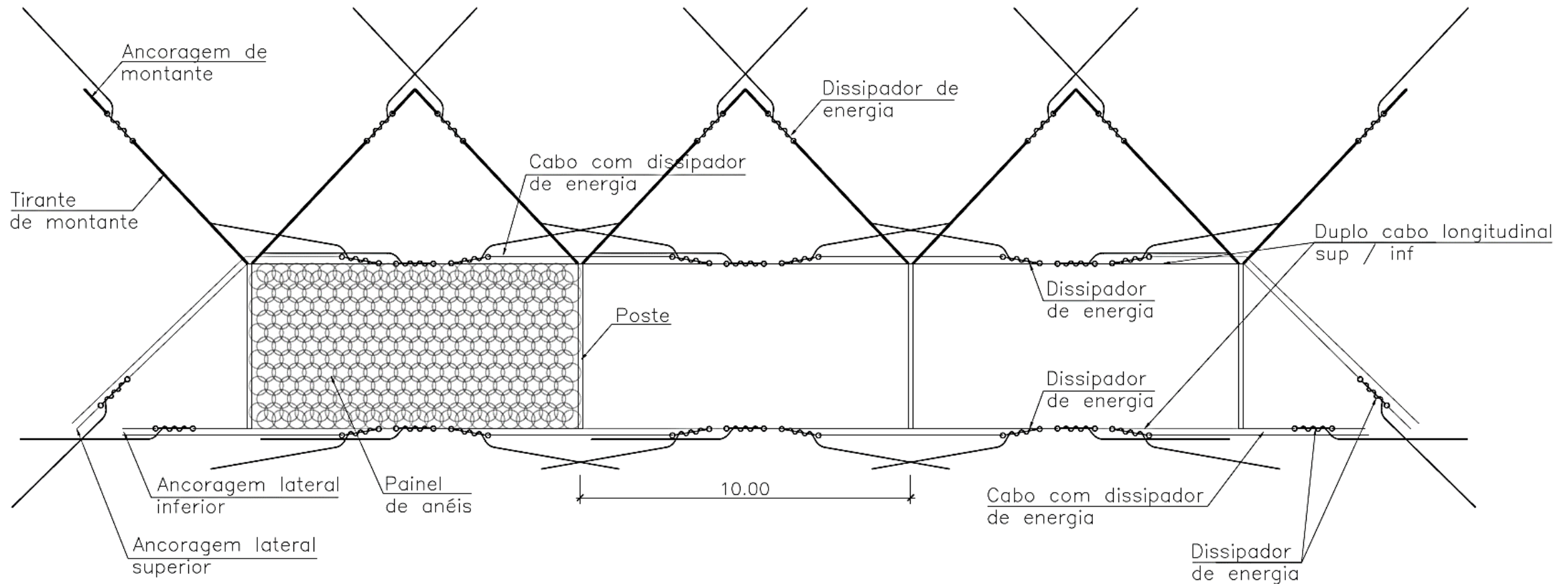
Zona norte: barreiras dinâmicas do tipo RAV_6/A (**3000 kJ**), 5 m de altura, constituída por painéis de anéis tipo RING 6, uma rede de malha hexagonal de tripla torção com malha 8×10/2,7 mm e um afastamento entre postes HEA200 de 10 m.

Zona sul: barreira dinâmicas do tipo RAV_5/A (**2000 kJ**), 4 m de altura, constituídas por painéis de anéis tipo RING 4, uma rede de malha hexagonal de tripla torção com malha 8×10/2,7 mm e um afastamento entre postes HEA160 de 10 m.

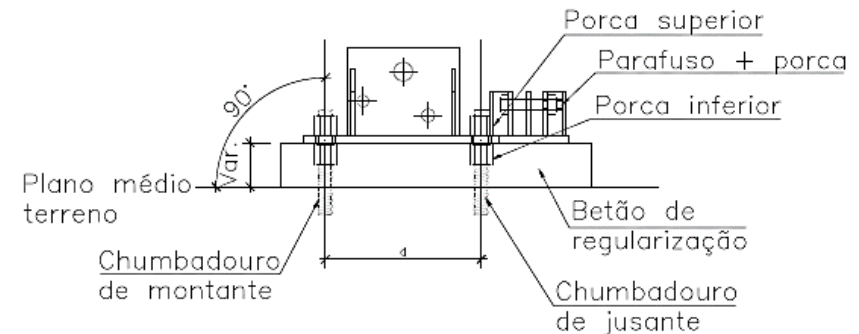
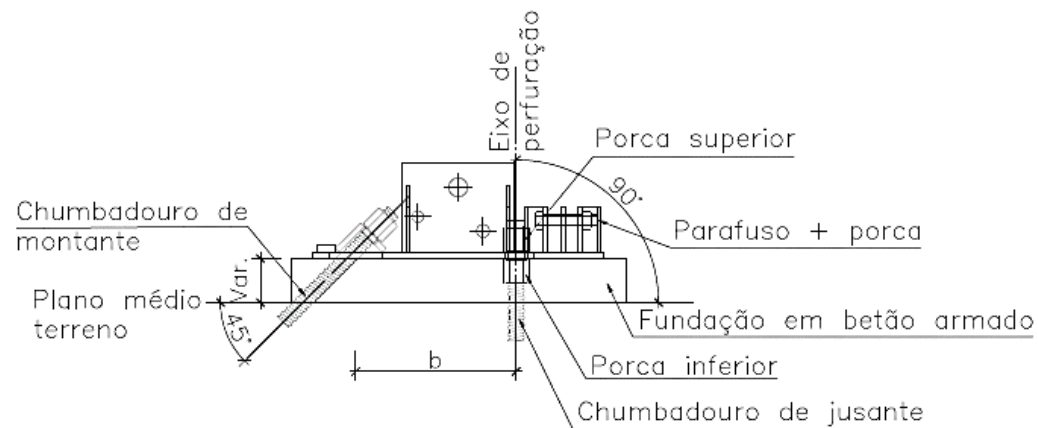
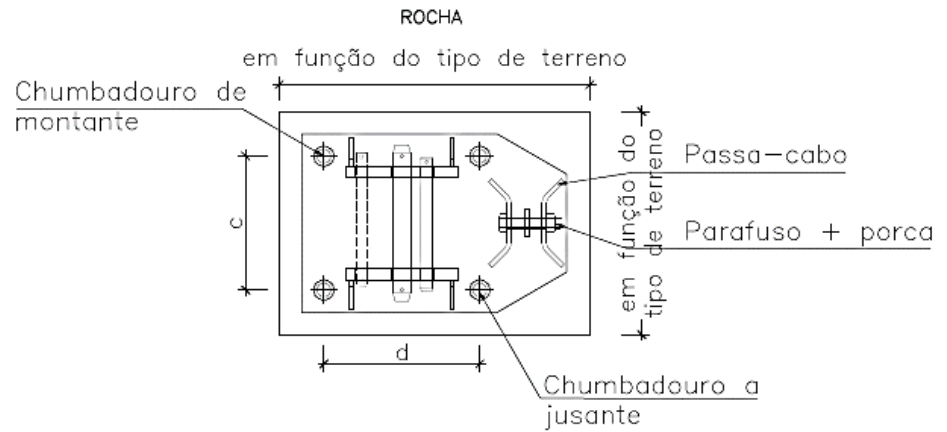
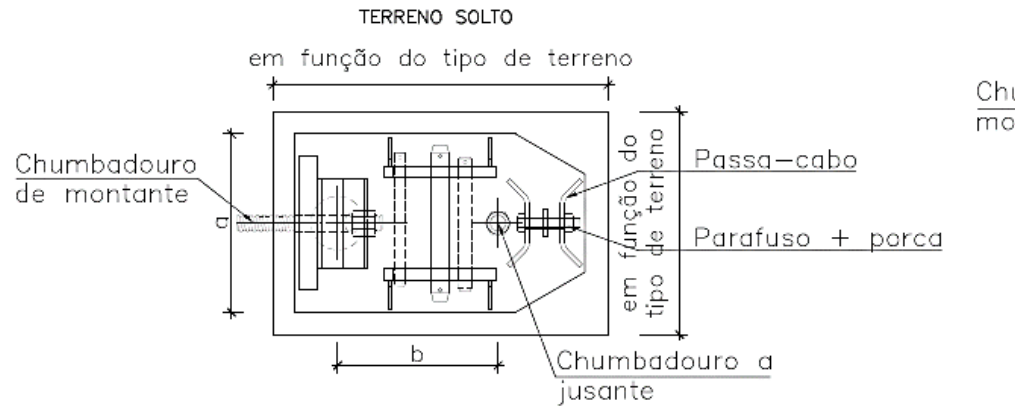
BARREIRA DINÂMICA – CORTE TRANSVERSAL TIPO



BARREIRA DINÂMICA – ALÇADO TIPO



BARREIRA DINÂMICA – MACIÇOS DE FUNDAÇÃO

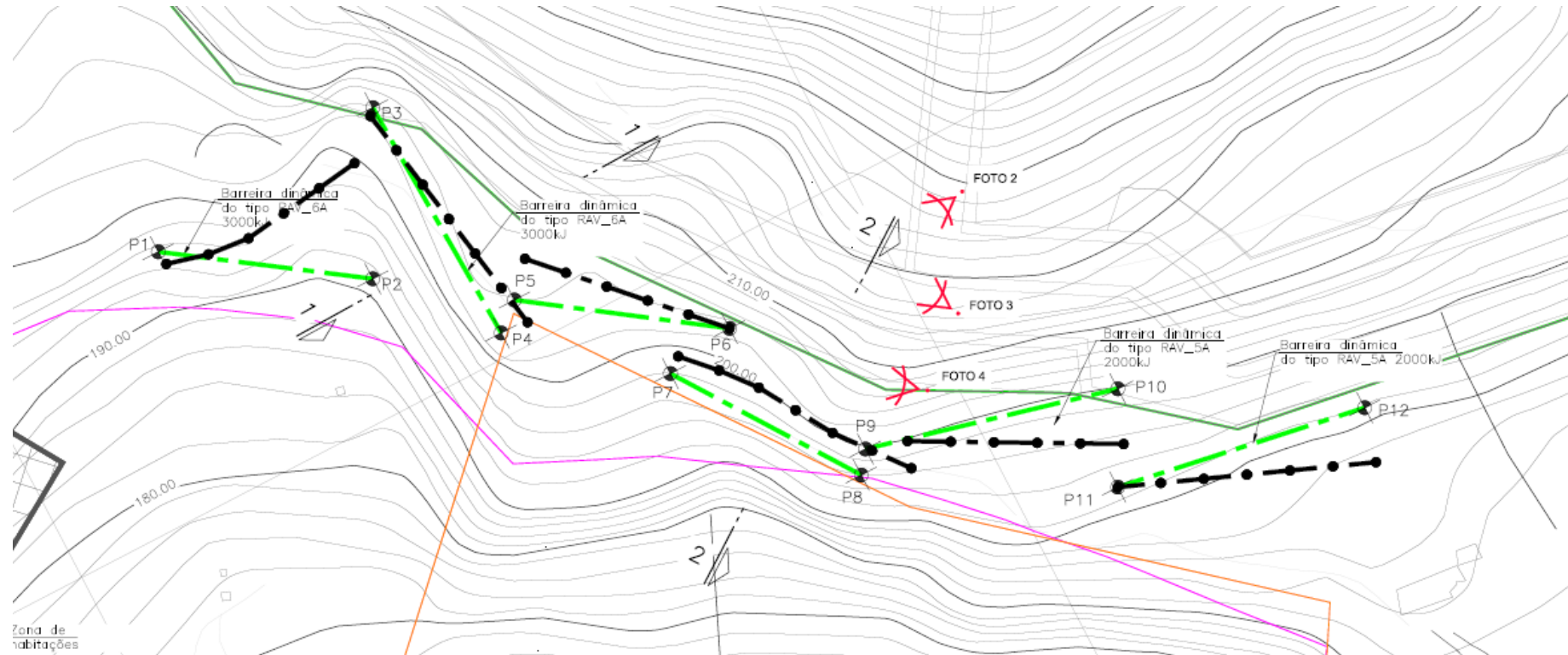


FASE DE OBRA

Levantamento topográfico

Diferença de cotas e planimétricas

Adaptação da localização das barreiras



FASE DE OBRA



FASE DE OBRA



Obrigada



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL





www.tetraplano.com

PORTUGAL

Av. 5 de Outubro, 323, 9ª Andar, 1649-011 LISBOA

Tel.: (351) 217520320

Fax: (351) 217520321

E-mail: tetraplano@tetraplano.com