

ASSUNTO/MOTIVO

## PROJETO EXECUTIVO PARA O DESMONTE DO TALUDE ROCHOSO ATRÁS DO CENTRO DE INFORMAÇÕES DE ITAORNA

PÁGINA

1/62

LOCAL/DATA

Rio, 26/06/18

REDATOR

Anna Laura Nunes

U.O./TEL.

GEOPHI/99491-8085

REFERÊNCIA

Contrato Nº GCE.A/CT-4500195709

CÓDIGO ARQUIVO

BP-U-6081-171000

SUMÁRIO

Nº DE PÁGINAS

62

ANEXOS

13

(NOS RELATÓRIOS DE REUNIÃO INDICAR, INICIALMENTE, NO SUMÁRIO: LOCAL, DATA, COORDENADOR, PARTICIPANTES E DURAÇÃO)

Para ser providenciado

Para conhecimento

prazos

Este documento apresenta as atividades desenvolvidas para o dimensionamento do desmonte a fogo do talude localizado na área a jusante do Centro de Informações, vizinho à área de implantação da Unidade de Armazenamento a Seco (UAS), na Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA, Praia de Itaorna, Município de Angra dos Reis, Rio de Janeiro.

ASSINATURAS

Anna Laura L. S. Nunes

Marcelo Gomes Rios Filho

AUTOR

VERIFICADO/APROVADO

DISTRIBUIÇÃO (QUANDO FOR ENCAMINHADO SOMENTE O SUMÁRIO PARA CONHECIMENTO COLOCAR "PC")

REV.	DATA	PÁG.	VERIFICADO/ APROVADO
0	21/07/17	EMISSÃO INICIAL	ANNA NUNES M. RIOS
1	19/09/17	REVISÃO GERAL	ANNA NUNES M. RIOS
2	09/10/17	24	ANNA NUNES M. RIOS
3	26/06/18	REVISÃO GERAL	ANNA NUNES M. RIOS

## ÍNDICE

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DO TALUDE .....</b>	<b>4</b>
2.1 Geologia da Área.....	4
2.2 Geologia do Talude Rochoso.....	7
2.3 Evolução do Talude Rochoso .....	9
2.4 Parâmetros Geotécnicos da Rocha .....	15
<b>3 DESMONTE A FOGO.....</b>	<b>16</b>
3.1 Definições e Abreviaturas do Plano de Fogo .....	16
3.2 Desmonte Escultural.....	19
3.3 Controle de Vibrações e Ruídos .....	19
3.4 Ultra lançamentos e Métodos de Controle .....	20
<b>4 DIMENSIONAMENTO DO PLANO DE FOGO .....</b>	<b>23</b>
4.1 Equipamentos e Materiais .....	23
4.2 Dimensionamento do Plano de Fogo.....	25
4.3 Prazo de Execução de 1 Plano de Fogo.....	26
4.4 Cronograma da Escavação das Bancadas .....	30
4.5 Procedimentos Executivos Adicionais.....	31
<b>5 MEDIDAS DE SEGURANÇA PARA DESMONTE DE ROCHA.....</b>	<b>32</b>
<b>6 PROTEÇÃO DA ÁREA DE DESMONTE COM PAINEL HEA .....</b>	<b>35</b>
<b>7 TRATAMENTO E PROTEÇÃO DO TALUDE APÓS O DESMONTE .....</b>	<b>40</b>
7.1 Avaliação das Estruturas Geológicas.....	41
7.2 Análise da Estabilidade de Cunhas do Talude.....	43
7.3 Projeto de Estabilização e Proteção do Talude com Tela Metálica .....	47
<b>8 PROJETO DE ESTABILIZAÇÃO DE BLOCOS ROCHOSOS – CONTRAFORTE ATIRANTADO .....</b>	<b>50</b>
8.1 Dimensionamento Estrutural dos Contrafortes.....	50
8.2 Dimensionamento dos Esforços nos Contrafortes .....	50
1. Determinação dos Esforços.....	51
2. Dimensionamento à flexão .....	54
3. Dimensionamento ao cortante .....	55
<b>9 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM.....</b>	<b>55</b>

R3

9.1	Drenagem Profunda .....	55
9.2	Drenagem Superficial .....	56
<b>10</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>57</b>
<b>11</b>	<b>DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....</b>	<b>59</b>
<b>12</b>	<b>DESENHOS DE PROJETO .....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>.....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este documento apresenta as atividades desenvolvidas para o dimensionamento do desmonte a fogo do talude localizado na área a jusante do Centro de Informações, vizinho à área de implantação da Unidade de Armazenamento a Seco (UAS), da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA, Praia de Itaorna, Município de Angra dos Reis, Rio de Janeiro.

Apresenta o dimensionamento do plano de fogo cuidadoso do talude, desenvolvido conforme as especificações da NBR 9653, que versa sobre os controles a serem implantados em desmontes de rochas em áreas urbanas e as recomendações especiais relativas à área de usinas nucleares propostas pela CNEN e as sugeridas por instituições internacionais como a IAEA – *International Atomic Energy Agency*.

O dimensionamento do plano de fogo controlado visa a melhor configuração do talude final remanescente, a fragmentação desejada do material detonado, níveis de vibração dentro dos limites normatizados considerando as estruturas lindeiras, controle da sobrepressão acústica e não ocorrência de ultra lançamentos.

São também apresentadas as medidas de segurança e controle de desmonte, sendo sugerida a utilização da técnica inovadora de proteção com painéis de alta absorção de energia do tipo HEA, com detalhamento do dimensionamento para controle de sobrelançamento.

O documento apresenta também o dimensionamento do sistema de proteção/estabilização com revestimento em tela metálica de alta resistência do talude remanescente, na sua configuração final após a realização do desmonte, e do sistema de drenagem superficial da área.

R3

## 2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DO TALUDE

O talude rochoso a ser configurado pelo desmonte se situa na encosta do Centro de Informações da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA, Praia de Itaorna, Município de Angra dos Reis, Rio de Janeiro.

A Figura 2.1 mostra a área em imagem de satélite, a qual é detalhada na Figura 2.2. O talude está localizado próximo a diversas edificações e estruturas da Central Nuclear, além da via de acesso à Rodovia BR-101 e a própria BR-101.

### 2.1 Geologia da Área

A área foi amplamente estudada desde fins dos anos 60, conforme reportado em BP-U-6501-170005. Foram executados vários mapeamentos em superfície com escalas desde regional até detalhe métrico, em várias fases, baseados em imagens de satélite, de radar, fotografias aéreas em diversas escalas, com uso de veículos terrestres e aéreos e com inspeção visual direta. As investigações da área foram complementadas por ensaios in situ e de laboratório, para determinação de parâmetros mecânicos como resistência ao cisalhamento, módulos de deformabilidade e permeabilidade em solos, rochas intactas e maciços rochosos.



Figura 2.1. Área do talude em imagem de satélite (*Google Earth*).

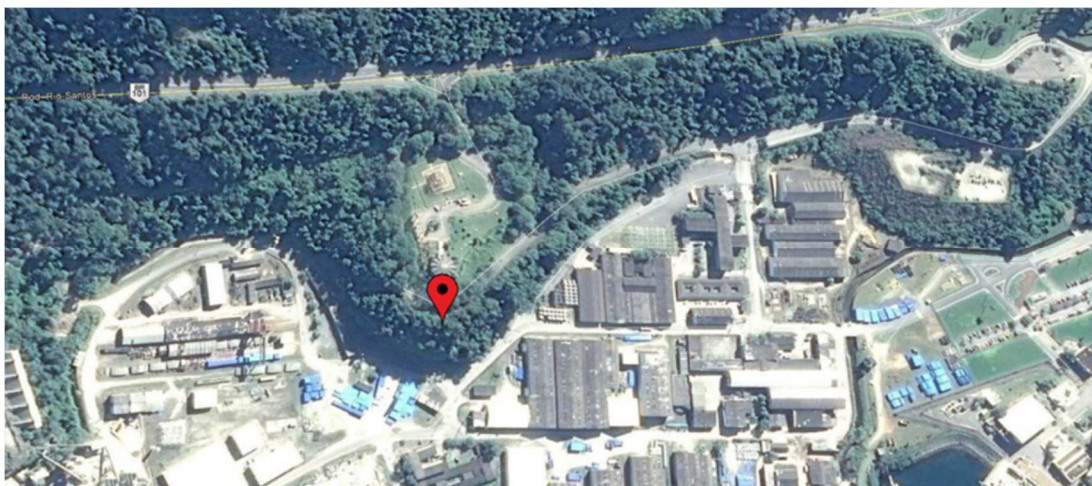
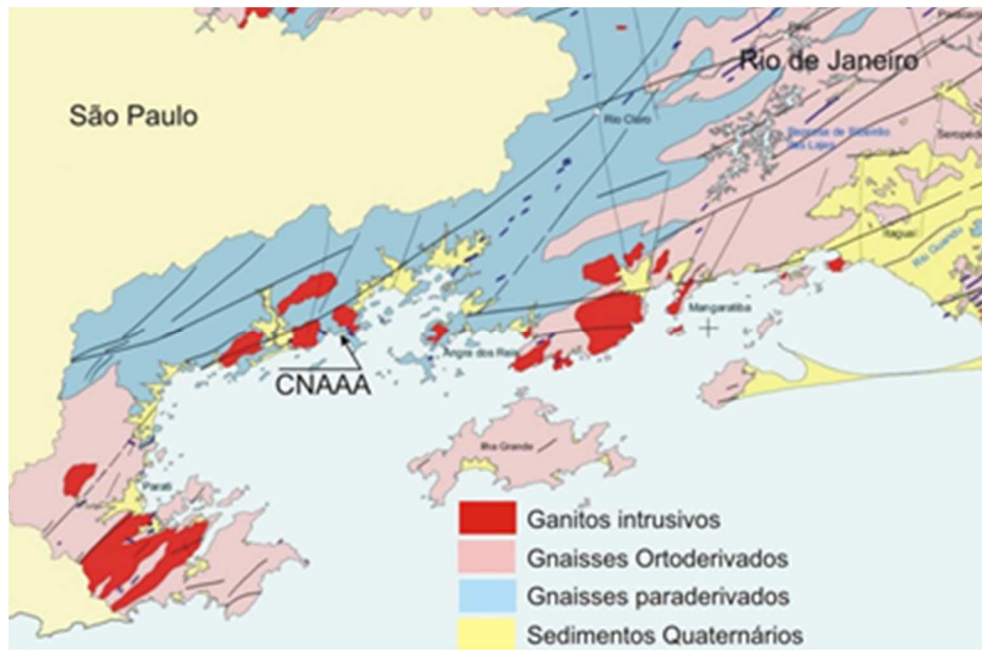
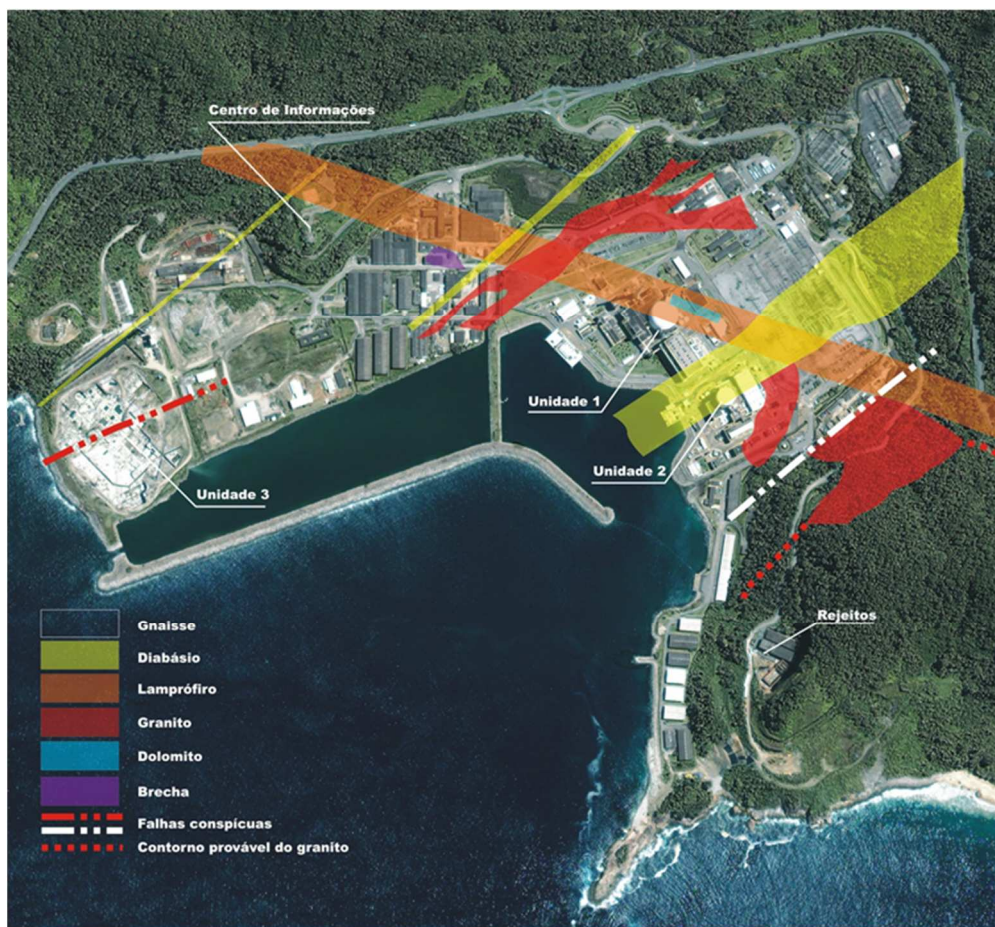


Figura 2.2. Detalhe da área do talude em imagem de satélite (*Google Earth*).

Os relatórios de investigação também definem os tipos litológicos e os padrões estruturais dos maciços rochosos. A Figura 2.3 apresenta a geologia geral da área da CNAAA.



(a) Mapa geológico geral da área



(b) Litologia e estruturas geológicas específicas da área

Figura 2.3. Geologia regional e local da área da CNAAA (BP-U-6501-170005).

Cód O&M 042/04

Os materiais que dominam na área de estudo são:

i. Solos: originados do intemperismo da rocha subjacente, constituindo-se de solos residuais em várias fases de maturidade que, ao serem mobilizados pela dinâmica superficial, passam a se deslocar e degradar passando a solos coluviais, tálus e depósitos aluviais, concentrando-se nos vales mais planos e de cotas inferiores dando origem aos depósitos recentes (Quaternário) de materiais granulares;

ii. Rochas: predominância de gnaisses pré-cambrianos (idade transamazônica), com intrusões ígneas, representadas por aplitos (final do ciclo Brasileiro, idade em torno de 600 milhões de anos). Os aplitos alimentaram as intrusões pegmatíticas, em um estágio final de posicionamento crustal, quando a rocha já havia atingido um nível estrutural menos profundo. Os diques de diabásio cortam discordantemente as rochas pré-cambrianas e estão relacionados à abertura do Atlântico-Sul (Era Mesozóica, período juro-cretáceo, aproximadamente 65 milhões de anos). As rochas encontradas na área estão inseridas no Complexo Paraíba do Sul.

## 2.2 Geologia do Talude Rochoso

O talude rochoso do Centro de Informações, vizinho ao local de implantação da UAS, foi estudado em mapeamento geológico-geotécnico de semi-detalle em janeiro de 2013. O estudo compreendeu a identificação macroscópica dos litotipos existentes e o levantamento de estruturas geológicas com bússola de geólogo, por meio de observação visual das seções verticais espaçadas de 10m.

A litologia predominante do talude rochoso é um gnaiss facoidal com textura porfiroblástica e granulometria entre fina e grossa. O Relatório Técnico BP-U-6501-170005 da GEOPHI (2014) reporta a partir de análise mineralógica e textural que se trata de um biotita gnaiss monzogranítico de cor cinza claro a médio, coerente com granulação média e bandado. O talude também apresenta um corpo de granito fino discordante na sua porção central do talude. A continuidade do corpo granítico é interrompida por uma falha do tipo normal com um deslocamento relativo de blocos de 11m (BP-U-6501-170003).

Conforme o Relatório Técnico BP-U-6501-170003 de 2013, a falha normal gerou uma faixa de alteração ao longo do plano, onde ocorrem as principais concentrações de água que drenam do maciço. A presença da alteração e percolação se deve ao fato da falha ter sua localização subsuperficial, com pequena cobertura de rocha, faixa mais alterada do maciço. À medida que se aprofunda no terreno e na região da falha, o corte mostra estreitamento do dique granítico, além da presença de rocha sã pouco fraturada na parte inferior do talude. Trata-se de uma falha inativa, consolidada, de pequena expressão, marcada pela penetração do dique granítico dispensando-se qualquer tratamento especial devido a sua presença.

A Figura 2.4 apresenta as características geológicas do talude estudado conforme BP-U-6501-170003. Detalhes da falha normal e dique de granito são mostrados na Figura 2.5.

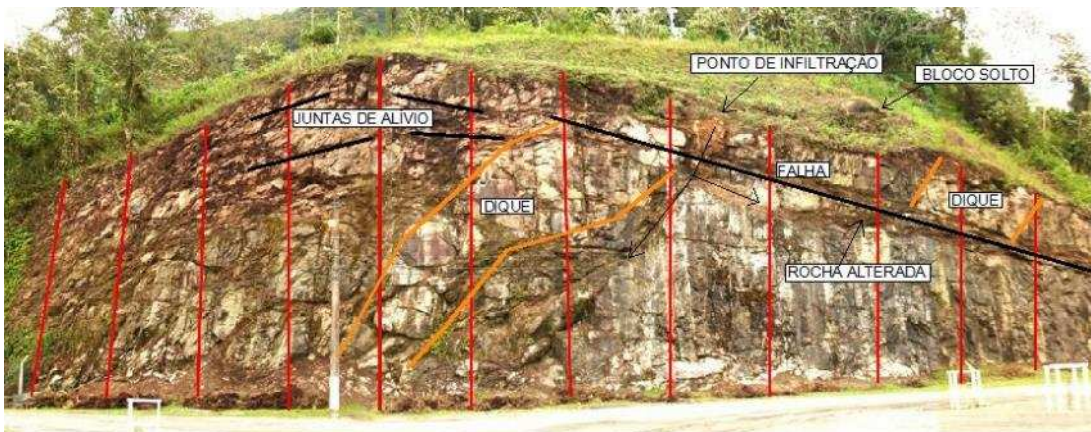


Figura 2.4. Estruturas geológicas do talude rochoso (BP-U-6501-170003, 2013).



Figura 2.5. Presença da falha normal e dique de granito deslocado de 11m pela ação da falha (BP-U-6501-170003, 2013).

São identificadas as seguintes características estruturais geológicas (BP-U-6501-170003, 2013):

- i. Estruturas dúcteis: foliação representada pelo bandamento gnáissico com atitude média entre N50°E e N70°E, e mergulho variando de 40° a 50° para NW (Figura 2.6a);
- ii. Estruturas rúpteis tectônicas: na porção central do talude com direção NE/SW e mergulho entre 10 a 20°; correspondem a alinhamentos concordantes com a foliação e faixas fragmentadas, com paredes oxidadas/alteradas de abertura de aproximadamente 1mm e eventual presença de água e minerais de alteração (Figura 2.6b);
- iii. Estruturas rúpteis atectônicas: representadas pelas juntas de alívio na porção superior do talude com direção plano horizontal, acompanhando a morfologia da encosta e ângulo de mergulho entre 10 e 20°. As juntas de alívio apresentam média persistência, superfícies descontínuas e rugosas, com pouca alteração (Figura 2.6c);



iv. Estruturas rúpteis induzidas: são descontinuidades com distribuição aleatória no talude rochoso e resultantes de fogo de desmonte (Figura 2.6d).

As juntas de alívio associadas às descontinuidades produzidas por fogo de desmonte e foliação do gnaisse são responsáveis pela formação de lascas e blocos rochosos soltos e choccos, potencialmente instáveis.



(a) Foliação – Bandamento gnáissico

(b) Fraturas rúpteis com vegetação



(c) Juntas de alívio na crista do talude

(d) Fraturas de fogo de desmonte

Figura 2.6. Estruturas geológicas mapeadas no talude rochoso (BP-U-6501-170003, 2013).

### 2.3 Evolução do Talude Rochoso

O paredão rochoso do Centro de Informações sofreu uma dinâmica de esforços naturais e antrópicos expressiva ao longo da implantação das estruturas da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA. As Figuras 2.7 a 2.12 ilustram cronologicamente a transformação sofrida pela encosta natural, localmente chamada de Pedra da Itaorninha.



Figura 2.7. Praia de Itaorna com a localização da Pedra de Itaorninha em fotografia área de 1965.



Figura 2.8. Praia de Itaorna e indicação da Pedra de Itaorninha em 1973.



Figura 2.9. Pedra de Itaorninha antes da construção do Centro de informações e do corte do talude em 1974.

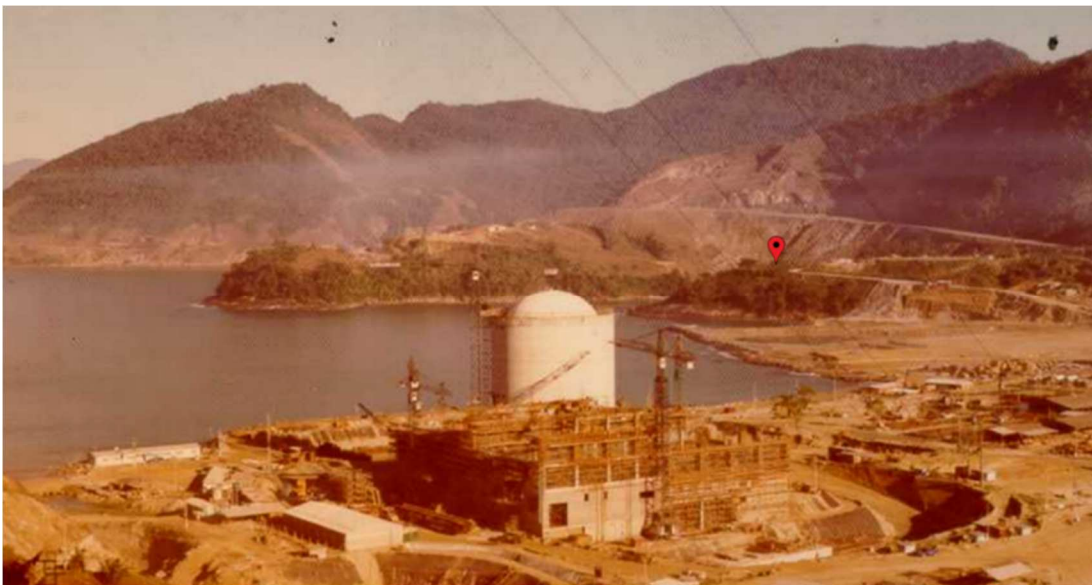


Figura 2.10. Praia de Itaorna e da Pedra de Itaorninha antes da construção do Centro de informações e do corte do talude em 1976.



Figura 2.11. Pedra de Itaorninha retalhada com Centro de Informações e aterro parcial em 1981.



Figura 2.12. Pedra de Itaorninha retalhada com Centro de Informações e aterro completo em 1982.

As Figuras 2.13 a 2.15 mostram a evolução da alteração da face do talude rochoso de 2013 à condição atual. Observa-se o crescimento de vegetação das porções mais intemperizadas e aumento da quantidade de cicatrizes de blocos que caíram.



(a) Dezembro 2013



(b) Março 2016

Figura 2.13. Talude rochoso e aumento da intemperização da superfície do maciço.

Ao longo do tempo, o talude rochoso sofreu a ação de intemperismo, especialmente nas fraturas e juntas, caminhos preferenciais de percolação de água, resultando em grau de alteração elevado das paredes das fraturas e crescente individualização de lascas e blocos rochosos com potencial de desprendimento e queda.



Figura 2.14. Talude rochoso após limpeza da superfície, com realce das juntas intemperizadas em 2017.



(a) Base do talude



(b) Topo do talude

Figura 2.15. Cicatrizes de blocos de rochas que se soltaram do maciço.

A partir dos dados de mapeamento mais antigos e a caracterização geológico-geotécnica mais atualizada, realizada após a limpeza superficial da parede do talude (março, 2017), é possível concluir que as estruturas geológicas observadas na superfície se repetem em profundidade e estarão presentes após a execução do desmonte do maciço rochoso.

Desta forma, ainda haverá a intersecção de juntas formadoras de cunhas e blocos com potencial de queda ao longo do tempo, agravado pela alteração natural da rocha, justificando o desenvolvimento de análises de estabilidade do talude resultante do desmonte, que também é objeto deste projeto.

## 2.4 Parâmetros Geotécnicos da Rocha

No período de 2007 a 2013 foi realizado um amplo programa de investigações geotécnicas de campo e ensaios de campo e de laboratório para subsidiar o projeto de outra estrutura que seria construída no local (UFC), ao lado da UAS.

Tendo em vista que a UAS é locada ao lado do local previsto para a UFC, de forma geral e considerando as particularidades de implantação da UAS, os resultados das investigações geológico-geotécnicas realizadas para a UFC podem ser adotados para a UAS. Desta forma, a Tabela 2.1 sumaria as principais características e propriedades do maciço de gnaiss intacto presente na área.

Tabela 2.1. Parâmetros geotécnicos do gnaiss são na área da UAS.

Parâmetro	Valor
<b>Caracterização física</b>	
Densidade relativa dos sólidos $G_s$	2,649
Peso específico dos sólidos $\gamma_s$	25,98 kN/m <sup>3</sup>
Massa específica aparente seca	2694,7 kg/m <sup>3</sup>
Porosidade aparente	0,70 %
Peso específico natural $\gamma_{nat}$	26,85 kN/m <sup>3</sup>
<b>Caracterização mecânica</b>	
Resistência à compressão uniaxial $\sigma_{cm\acute{a}x}$	79,4 MPa
Resistência à tração indireta $\sigma_{t,b}$	7,0 MPa
Relação $\sigma_{cm\acute{a}x}/\sigma_{t,b}$	11,5
Ângulo de atrito teórico $\phi^{(1)}$	56,7°
Coesão teórica $c^{(1)}$	11,7 MPa
Ângulo de atrito do maciço $\phi_m^{(2)}$	30° a 60° (45°)
Coesão do maciço $c_m^{(2)}$	7,9 MPa
Coeficiente de Poisson dinâmico	0,27
Módulo de elasticidade dinâmico	42,8 GPa
Módulo de elasticidade estático $^{(3)}$	20,5 GPa

(1): Parâmetros calculados teoricamente com Critério de Resistência de Mohr-Coulomb; (2): Estimado segundo recomendação de Kulhawy & Goodman (1987); (3): Estimado com Barton (2007)

Ressalte-se apenas que as propriedades determinadas em ensaios de laboratório utilizaram amostras e/ou corpos de prova de rocha intacta, são, não podendo ser consideradas diretamente para aplicação ao maciço rochoso do talude. Entretanto, os valores assim determinados são essenciais para quantificação dos parâmetros do maciço rochoso do talude.

Em relação às características físicas e mecânicas da rocha gnáissica do talude do Centro de Informações, o Relatório Técnico BP-X-UFC-140002 da GEOPHI (2014) fornece valores determinados a partir de ensaios em corpos de prova extraídos de testemunhos de rocha intacta de gnaiss.

### **3 DESMONTE A FOGO**

O talude rochoso do Centro de Informações será reconfigurado por meio de desmonte a fogo do tipo cuidadoso, denominado Desmonte Escultural, que visa não somente a qualidade da fragmentação do material detonado, em volumes eficientes, bem como a preservação das propriedades do maciço remanescente, e ainda convivendo simultaneamente com as atividades industriais da área e circulação de pessoas.

#### **3.1 Definições e Abreviaturas do Plano de Fogo**

O Plano de Fogo é o projeto executivo para o desmonte (escavação) de rocha com uso sistemático de explosivos, sendo definidos inicialmente:

- i. Plano de perfuração;
- ii. Qualificação e quantificação dos explosivos;
- iii. Esquemas de ligação e iniciação entre os furos que serão detonados.

Os principais elementos e parâmetros que constituem o plano de fogo, esquematizados na Figura 3.1, são:

##### **i. Profundidade do furo (P)**

É a altura da bancada (H) acrescida da sub-furação, em metros. Se a bancada for inclinada, a profundidade do furo será um pouco maior e deverá ser medida de acordo com a inclinação do furo.

##### **ii. Inclinação do furo (I)**

Os furos para desmonte a céu aberto normalmente são verticais ou sub verticais (inclinados), de forma a preservar a estabilidade do talude rochoso remanescente após a detonação. Preferencialmente, a inclinação do furo é igual a inclinação do talude final.

##### **iii. Diâmetro de perfuração (D)**

O diâmetro de perfuração a ser utilizado é o condicionante principal e essencial da malha de perfuração. Quanto maior o diâmetro dos furos, maior poderá ser a área da malha de perfuração a ser utilizada, resultando em uma menor quantidade de furos a ser executada por metro cúbico de rocha a escavar (razão linear de perfuração).



#### iv. Sub-furação (SF) e repés

A sub-furação é uma extensão do furo, ultrapassando a altura da frente livre da bancada. Este procedimento é necessário para se evitar a formação dos repés, que são porções do maciço rochoso que podem permanecer intactas na soleira (pé) da bancada após uma detonação.

#### v. Malha de perfuração (S)

A malha de perfuração é a área resultante do produto das distâncias (em metros) adotadas para a locação dos furos em uma frente de escavação de rocha, expressa por:

$$S = A \cdot E \quad (3.1)$$

Onde:

S: malha de perfuração ou área de perfuração (m<sup>2</sup>);

A: afastamento (m);

E: espaçamento (m).

O afastamento (A) é a distância em metros entre a frente da bancada (frente livre) e a primeira linha de furos a detonar. Quando no plano de fogo estão previstas duas ou mais linhas de furos a detonar em um mesmo evento, o mesmo afastamento deverá ser mantido entre elas.

No dimensionamento do plano de fogo do talude do Centro de Informações adotou-se o afastamento expresso por:

$$A = 0,0123 \left[ 2 \left( \frac{\rho_e}{\rho_r} \right) + 1,5 \right] D_e \quad (3.2)$$

e

$$A_{m\acute{a}ximo} \text{ (em metros)} \leq D_e \text{ (em polegadas)}$$

Onde:

A : afastamento (m);

$\rho_e$  : densidade do explosivo,

$\rho_r$  : densidade da rocha;

$D_e$ : diâmetro do explosivo.

O espaçamento (E) é a distância em metros entre os furos de uma mesma linha. A relação prática para seu dimensionamento é relacionada diretamente ao afastamento por:

$$E = 0,23 (H_b + 2A) \quad (3.3)$$

Onde  $H_b$  é a altura da bancada.

### vi. Razão de carga (RC)

É a quantidade de explosivos a ser utilizada por metro cúbico (ou por tonelada, nas minerações) de rocha a desmontar em uma detonação.

### vii. Tampão (T)

O tampão é a porção superior do furo, que não deve receber carga explosiva, já que esta carga seria supérflua e resultaria apenas em lançamentos de lascas de rocha pela boca do furo. Ao final do carregamento de cada furo com explosivos, o tampão deve ser preenchido com material arenoso, ou mesmo com pedriscos.

Em algumas situações, principalmente nas frentes de escavação em zona urbana, tem sido empregada a metodologia *air deck* (tampão de ar). A altura do tampão, determinada pela relação com o afastamento, é deixada vazia em até 80% de seu comprimento. Ao final do trecho vazio, já próximo da boca do furo, é colocada uma bucha de papel e o restante do espaço é preenchido com pedriscos (brita zero).

### viii. Ligação (iniciação) dos furos

O plano de fogo pode considerar a detonação de um furo isolado, uma linha de furos, ou várias linhas de furos em um mesmo evento. A iniciação da detonação pode ser ativada por estopim com espoleta de queima, por espoleta elétrica ou por um iniciador de pressão não-elétrico. Os estopins e as espoletas de queima são os acessórios normalmente utilizados em detonações de blocos de rocha isolados (fogachos), ou como iniciadores de vários furos interligados por cordel detonante ou iniciadores de pressão (tipo Nonel). O estopim com espoleta é um produto praticamente extinto por motivos de segurança.

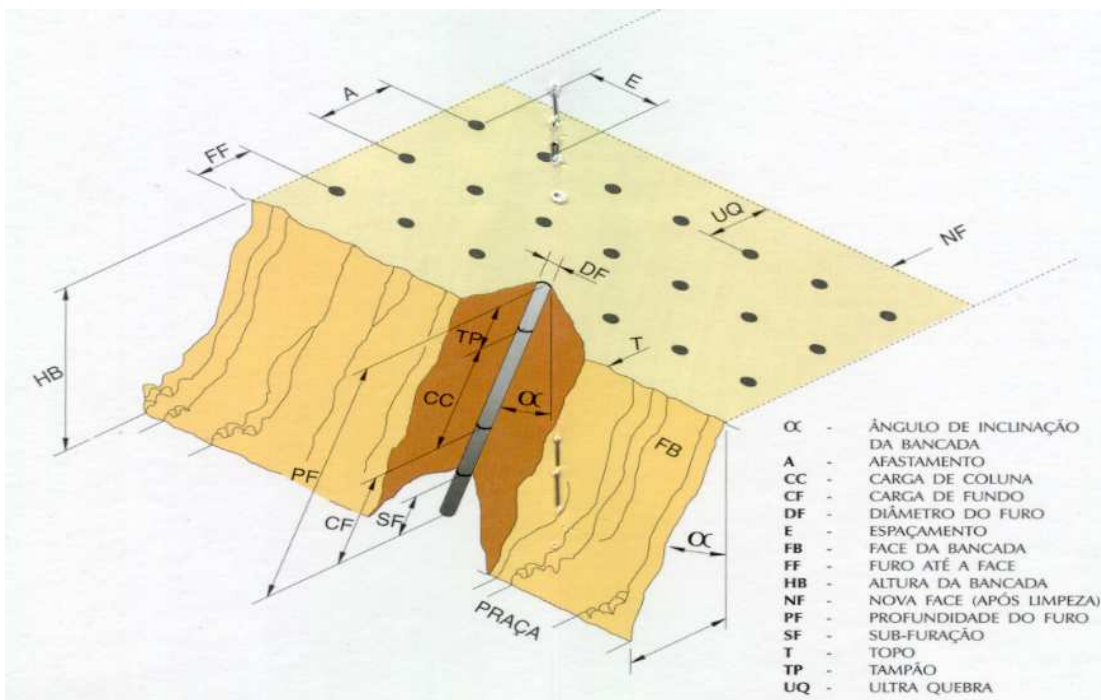


Figura 3.1. Principais elementos do plano de fogo.

### 3.2 Desmonte Escultural

Denomina-se como desmonte escultural um conjunto de técnicas especiais de perfuração e detonação de rocha, utilizadas tanto em escavações a céu aberto como em subterrâneas, com as seguintes finalidades principais:

- i. Obter uma melhor definição dos taludes finais nos desmontes;
- ii. Obter uma maior estabilidade dos taludes;
- iii. Evitar ou minimizar a formação de overbreaks (superescavações que formam cavidades além da linha-limite de corte) em taludes que posteriormente são revestidos com concreto;
- iv. Evitar danos, maceração do maciço rochoso remanescente de uma escavação, promovendo a preservação das suas condições geomecânicas originais;
- v. Minimizar a necessidade de aplicação de tratamentos posteriores, tais como ancoragens e revestimentos com concreto projetado, nos taludes e contornos das seções escavadas;
- vi. Promover os cortes necessários para a produção de blocos de rocha bem conformados (granitos e mármore para fins ornamentais).

O desmonte escultural deve ser adotado em áreas urbanas e industriais que envolvam obras de desmonte de rochas a fogo. As recomendações das normas NBR-9653 e NBR 15928/2011 devem ser criteriosamente adotadas para o controle de vibrações e sobrepressão acústica, expressos respectivamente por:

$V_p$  (máxima) pelo terreno = 15mm/s (1,5cm/s)

$P_a$  (máxima) pelo ar = 134db

### 3.3 Controle de Vibrações e Ruídos

A definição de critérios regulatórios relativos aos danos e desconforto causados às pessoas em virtude do desmonte de rochas com uso de explosivos é um tema recorrente de longa data, cujos estudos consideram os seguintes parâmetros:

- i. Relação empírica entre a carga detonada e a energia de vibração, em função da distância;
- ii. Limites máximos admissíveis de vibração;
- iii. Medidas economicamente viáveis a serem tomadas para evitar que as vibrações ultrapassem esses limites máximos;
- iv. Aparatos técnicos capazes de captar as vibrações de maneira precisa, confiável e reprodutível.

Os três principais fatores relacionados à vibração no solo determinantes para as estruturas construídas vibrarem, são:

- i. Velocidade de vibração máxima de partícula e vibração resultante (VR);
- ii. Duração da vibração;
- iii. Frequência de vibração.

### **3.4 Ultra lançamentos e Métodos de Controle**

O fenômeno de ultra lançamento corresponde ao arremesso de fragmentos de rocha com grandes velocidades, provenientes da detonação, excedendo a distância de lançamento frontal prevista ou, principalmente, ocorrendo de forma anômala, sem uma direção pré-estabelecida.

Destacam-se os seguintes procedimentos mais comuns, causadores de ultra lançamentos em detonações:

- i. Bancadas muito altas, que necessitam de furos muito profundos; estes furos normalmente sofrem desvios, aproximando-se da frente (redução do afastamento) ou de um furo vizinho (redução do espaçamento), o que gera uma concentração de carga explosiva não prevista e altamente perigosa;
- ii. Malhas de perfuração com afastamentos muito reduzidos;
- iii. Repés - engastamentos no pé das bancadas;
- iv. Furos muito inclinados;
- v. Razão de carga excessiva;
- vi. Tampões reduzidos, provocando lançamentos para cima e para trás da bancada;
- vii. Ligações entre furos e retardos mal dimensionados.

Os seguintes procedimentos devem ser rigorosamente observados e aplicados:

i. Limpeza da frente

Independentemente do tipo de cobertura a ser utilizado, a frente a detonar deve ser completamente limpa, removendo-se fragmentos de rocha que estejam posicionados no topo e no pé das bancadas. Se o maciço for muito fraturado, ou se a frente apresentar faixas com diaclases, diques ou fraturas, é recomendável uma inspeção preliminar ao carregamento do fogo para remover lascas e fragmentos de rocha “encaixados”, que podem ser projetados a grandes distâncias;

ii. Extensão da cobertura

O desmonte de rocha deve ser realizado utilizando-se coberturas ao longo de toda malha a ser detonada.

Os principais tipos de cobertura são representados por:

*1. Coberturas com solos, areia ou pó de pedra*

São os tipos de cobertura mais eficientes e fáceis de aplicar e podem evitar todo e qualquer tipo de ultralancamento. Esta cobertura costuma ser feita sobre a superfície da frente ou bancada, formando uma camada com espessura de 1m a 1,5m de solo, areia ou pó de pedra.

A área de cobertura deve ser abrangente, ultrapassando as últimas linhas de furos da sequência de detonação e excedendo também a extensão das laterais, em distância igual ou maior ao afastamento adotado para a perfuração-detonação.

Ao longo do pé da bancada é montada uma pilha longitudinal com solo ou pó de pedra, podendo até mesmo ser um pouco afastada da frente da rocha. A altura desta pilha deve corresponder a, no mínimo, 1/3 da altura da bancada;

## *2. Coberturas com artefatos metálicos*

Em algumas detonações, de frentes mais reduzidas e volumes de rocha menores por evento, telas de aço podem ser utilizadas como cobertura contra ultralaçamentos. Estas telas são feitas com elos de corrente ou de cabo de aço entrelaçados, em “panos” de até 4m<sup>2</sup>, devido ao grande peso da tela.

Coberturas metálicas com telas soldadas, ou do tipo normalmente utilizado em peneiramento (britagem), amarradas com cabos de aço, devem ser evitadas por não oferecerem uma inércia suficiente para conter os fragmentos de rocha. Estas coberturas podem se partir com a detonação e serem lançadas a distâncias consideráveis, provocando acidentes.

Mais modernamente tem sido utilizada tela de alta resistência, tal como a empregada com sucesso no desmonte do emboque do túnel Porto Sudeste em Itaguaí, estado do Rio de Janeiro (Figura 3.2);



Figura 3.2. Cobertura com tela metálica de alta resistência e painéis de borracha no emboque do Túnel Porto Sudeste.

## *3. Coberturas com painéis metálicos de alta absorção de energia*

Este método é o mais moderno dos tipos de cobertura e conta com a elevada capacidade do painel de absorver altas energias de impacto. O uso desta cobertura no Brasil ainda é raro, apesar da frequência de sua utilização na Europa

e especialmente na Austrália e Nova Zelândia (Figura 3.3). No Brasil, ela foi dimensionada para desmonte por gravidade de blocos de grandes dimensões em Vitória, Espírito Santo, com sucesso. Sugere-se a utilização desta cobertura para o desmonte do talude do Centro de informações associada às coberturas convencionais;

R3

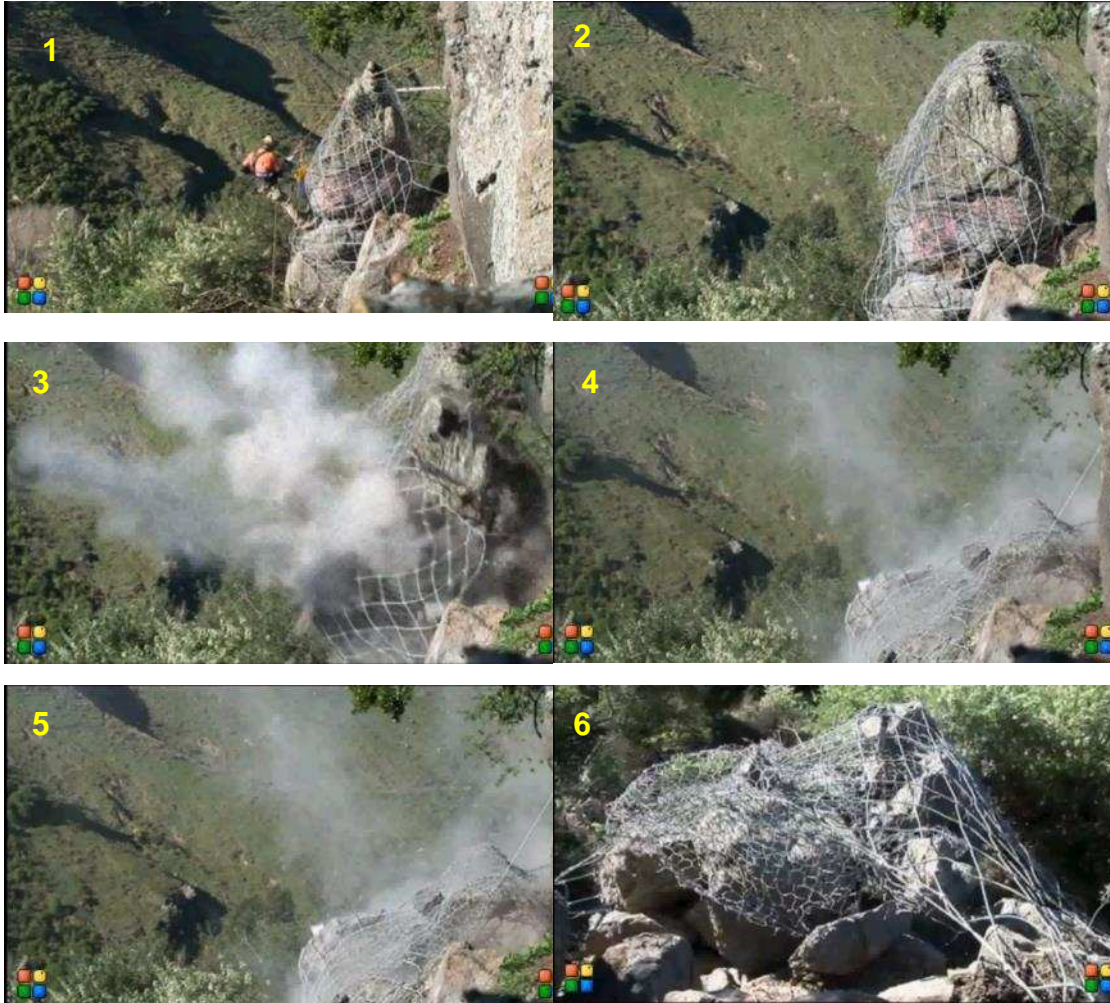


Figura 3.3. Sequência de imagens de desmonte a fogo de bloco com cobertura de painel de alta absorção de energia do tipo HEA na Nova Zelândia.

#### 4. Coberturas com artefatos de borracha

O mesmo procedimento para a confecção e cobertura de detonações com redes metálicas pode ser adotado para a utilização de “redes” de borracha, utilizando-se tiras provenientes de correias transportadoras já utilizadas ou até mesmo pneus cortados e entrelaçados. Por não serem tão pesadas como as coberturas metálicas, as redes de borracha podem ser feitas em panos maiores (12m<sup>2</sup>), mas ainda assim, sua colocação cuidadosa sobre a frente de detonação depende da operação com guindastes/escavadeiras e da amarração cuidadosa do conjunto (Figura 3.4).

As mantas de borracha têm um efeito muito positivo e prático. Além de manter o material detonado limpo, sem a contaminação de areia ou solo, aumenta a produtividade, pois a atividade de cobertura e retirada é muito mais ágil que as demais, excluídas as telas e painéis metálicos.



Figura 3.4. Cobertura com mantas de borracha amarradas para formação da rede do tipo Blasmat.

#### **4 DIMENSIONAMENTO DO PLANO DE FOGO**

Considerando a geometria irregular do maciço do talude, bem como a necessidade de limpeza, a remoção do material solto e/ou escavável mecanicamente e o deslocamento de blocos rochosos, o plano de fogo dimensionado será o adotado para os desmontes das bancadas principais de 8,20m.

Para as bancadas de regularização, independente da altura da bancada no local, as determinações de Razão de Carga, Carga Máxima por Espera, bem como os procedimentos de cobertura e demais, deverão seguir os mesmos procedimentos das bancadas principais.

Ressalte-se ainda que todo plano de fogo, antes de ser efetivamente implantado, deve ser confirmado em relação às condições do maciço a ser detonado.

##### **4.1 Equipamentos e Materiais**

Os equipamentos a serem utilizados para escavação, perfuração e transporte do material, são considerados de médio porte, com largo emprego em obras desta complexidade e são representados por:

- i. Escavadeira hidráulica CAT 320 ou similar (1 unidade), em conjunto com um rompedor hidráulico de aproximadamente 1000 Kg (1 unidade);
- ii. Pá carregadeira Tipo 950 ou similar (1 unidade), observando que pode ser desnecessária, caso o carregamento seja realizado com a própria CAT320, dependendo de quantas detonações poderão ser realizadas por semana. Porém, devido ao local onde será realizada a limpeza, o emprego do

equipamento sobre pneu (carregadeira) é mais recomendável do que a escavadeira, minimizando danos ao pavimento da rua de acesso;

- iii. Caminhões basculantes para carregamento de rocha, com capacidade de caçamba de 14m<sup>3</sup>. Caso o britador ou Bota-Fora (BF) se localize em distância superior a 1km da área de desmonte, é recomendado agregar 1 caminhão a cada Km. Sabendo que a distância entre o talude a ser desmontado e a área prevista para bota fora, localizada na antiga pedreira do CGR (Figura 4.1) é igual a 3Km, serão necessários 3 caminhões basculantes;
- iv. Perfuratriz hidráulica, tipo Ranger 500 ou similar (2 unidades). A perfuratriz hidráulica é recomendada em detrimento da pneumática (Figura 4.2), devido à maior produção horária, menor emissão de ruído e dispensa de compressor pneumático. A desvantagem do uso da perfuratriz hidráulica reside na menor versatilidade em terreno muito irregular, quando comparada à versatilidade da pneumática. Caso seja adotada a perfuratriz pneumática, recomenda-se um total de 2 perfuratrizes PW, acopladas com coletor de poeira;
- v. Compressores de ar 750 PCM para cada uma das perfuratrizes pneumáticas;
- vi. Compressor de ar 360 PCM, para os martelos manuais;
- vii. Bancada com afiador de Bit (1 unidade);
- viii. Peças de manta Blastmast, 12 m<sup>2</sup> cada, para cobertura do fogo (6 unidades);
- ix. Areia ou solo extremamente fino para a cobertura (aproximadamente 5390m<sup>3</sup>);
- x. Ferramentas de pequeno porte.

Importante atentar para as quantidades em estoque permanente de material de perfuração e mangueiras hidráulicas.



Figura 4.1. Distância de viagem do bota fora do talude UAS até antiga pedreira do CGR (Google Earth).





(a) Perfuratriz Ranger 500



(b) Perfuratriz Pneumática Manual

Figura 4.2. Tipos de perfuratrizes para o desmonte.

## 4.2 Dimensionamento do Plano de Fogo

O dimensionamento do plano de fogo considera 2 condições fundamentais: a velocidade de partícula máxima na edificação acima do corte a ser implantado e no primeiro arco frontal é igual a 15 mm/s e a sobrepressão acústica nos mesmos locais e no bloqueio mais próximo da rodovia é igual 134 Db.

Foram estabelecidos os seguintes parâmetros para o dimensionamento do talude em gnaiss são a fraturado:

- i. Altura da Bancada: 8,20m;
- ii. Diâmetro de Perfuração: 76mm (3");
- iii. Ângulo de Inclinação dos Furos: 10°;
- iv. Explosivo Utilizado: Encartuchado, densidade  $\rho = 1,15 \text{ g/cm}^3$ . Presença de água. Note-se que não pode ser usado ANFO e emulsão bombeada;
- v. Diâmetro Explosivo: 2 ½ x 24" (64mm x 610mm) com 2.083,0g;
- vi. Densidade da Rocha: 2,6 g/cm<sup>3</sup>.

O Anexo 1 apresenta os cálculos detalhados do plano de fogo. A Tabela 4.1 sumaria os parâmetros importantes do plano de fogo do talude rochoso do Centro de Informações.

Tabela 4.1 Principais parâmetros do plano de fogo.

Parâmetro do Plano de Fogo	Valor
Altura da bancada	8,20 m
Diâmetro de perfuração	0,076 m
Ângulo de inclinação dos furos	10°
Tipo de explosivo	Encartuchado
Densidade do explosivo	1,15 g/cm <sup>3</sup>
Diâmetro do explosivo	2½ x 24" (64mmx610mm) com 2.083,0g
Afastamento	1,90 m
Espaçamento	2,70 m
Malha de perfuração	5,13 m <sup>2</sup>
Subfuração	0,60 m
Profundidade dos furos	8,90 m
Comprimento do tamponamento	1,53 m
Comprimento do tampão vazio	1,20 m
Razão linear de carregamento	3,70 Kg/m
Carga de explosivos	27,27 Kg
Volume de rocha por furo	42,71 m <sup>3</sup>
Razão de carregamento	0,639 Kg/m <sup>3</sup>
Carga máxima por espera	32,01 Kg
Velocidade de partícula máxima	15,0 mm/s
Sobrepresão acústica	134 Db

Obs.: Coluna Brinel de 9m de comprimento, amarração com Brinel de Ligação de 9 ou 12m, iniciação com Brinel Iniciador, tipo *lead in line*, de 300-500m e tempo do Brinel de Ligação de 17 ms.

### 4.3 Prazo de Execução de 1 Plano de Fogo

A determinação do prazo de execução do Plano de Fogo 1 da Bancada 31 considerou os seguintes parâmetros:

- i. Número de furos: 53;
- ii. Volume detonado por furo: 42,71 m<sup>3</sup>;
- iii. Volume total a ser detonado: 2523,14m<sup>3</sup>/desmonte;
- iv. Área de detonação: 307,70 m<sup>2</sup>;

- v. Cobertura: Areia e pó de pedra no pé da bancada e areia limpa, mantas Blastmat e painel de alta absorção de energia do tipo HEA;
- vi. Total a ser perfurado:  $H_f \times N_f = 8,90 \times 53 = 471,70 \text{ m}$ ;
- vii. Prazos para as fases indicados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Ciclo de escavação - Períodos de cada fase do plano de fogo com 2 perfuratrizes.

Atividade	Período/Duração
Perfuração com 2 perfuratrizes hidráulicas (Ranger 500)	44,0 m/hora
Perfuração total	471,70m/44 m/h = 10,72 horas
Deslocamento entre furos	10 minutos
Deslocamentos para 52 furos	520 minutos ou 8,7 horas
Perfuração total com deslocamento de furos	19,5 horas
Carregamento	2,5 horas
Cobertura	2,0 horas
Evacuação e Detonação	1,0 hora
Ciclo de Detonação	25,0 horas
Horas Trabalhadas Diárias	10,0 horas
Preparação do ciclo completo	2,5 dias
Ciclo completo adotado	2,5 dias

Desta forma, o ciclo completo de escavação com emprego de 2 perfuratrizes hidráulicas do tipo Ranger 500 corresponde a 2,5 dias com volume detonado de aproximadamente 2523m<sup>3</sup>. A Tabela 4.3 sumaria os volumes geométricos de corte das bancadas.

Tabela 4.3. Volumes geométricos de corte das bancadas.

Acesso e Bancada	Volume
Acesso para Bancada 31,0	4465,5 m <sup>3</sup>
Bancada 31,0	13157,2 m <sup>3</sup>
Bancada 22,8	17494,6 m <sup>3</sup>
Bancada 14,6	24282,7 m <sup>3</sup>
Total de desmonte	59400,0 m <sup>3</sup>

Observa-se que a limpeza do material detonado não interfere no ciclo, pois quando do término da perfuração, a limpeza estará concluída para execução dos furos, o que permite a realização do desmonte a cada 2,5 dias.

A Figura 4.3 mostra o modelo da tabela constante da NBR 9653 com exemplo do esquema de ligação do Plano de Fogo 1 da Bancada 31 (primeiro patamar). A Figura

4.4 ilustra o esquema do plano de fogo dimensionado para a primeira bancada (Bancada 31). O Anexo 2 apresenta as tabelas de plano de fogo para todas as bancadas.

Cadastro de detonação tipo 1			
Local	Fogo nº 01		Data
	Horário		Folha nº
<b>Malha (ExA) <sup>1</sup> (mxm)</b>	<b>Previsto</b>	<b>Executado</b>	<b>Observações</b>
Altura da bancada	8,20		
Profundidade perfurada (m)	471,70		
Total de furos	53		
Profundidade média (m)	8,90		
Subfuração média (m)	0,60		
Diâmetro dos furos	cm	0,076	
	pol	3"	
inclinação dos furos	10°		
Volume teórico deslocado (m³)	2.523,14		

Explosivo	1	2	3	Observações
Nome	IBEGEL			
Tipo	Encartuchado			
Posição no Furo (cm)	0,061			
Dimensões (pol)	2 1/2"x24"			
Peso do Cartucho (Kg)	2,083			
Total utilizado (Kg)	1.435,19			

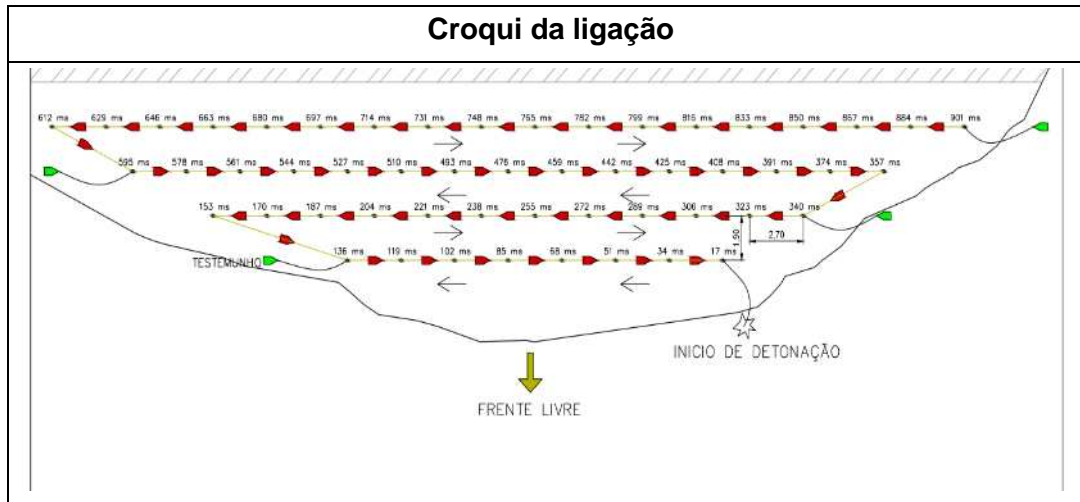
  

Total geral de explosivo (Kg):	1.435,19	Cordel detonante (m)	
Razão de carregamento (Kg/m³)	0,569	Espera da carga máxima:	17 ms
Carga máxima por espera (Kg)	27,079	Número de furos da carga máxima:	1
Retardos utilizados	Tempo	17 ms	
	Quantidade	53	

Método de iniciação: Lead in line com 300m de comprimento
Método de tamponamento: Sistema Air Deck, com bucha e complemento de areia, sendo T vazio = 1,20 m e T preenchido = 0,33m
Tipo de proteção: Cobertura com 1,5m de areia, mantas tipo blastmat e HEA
Tipo de material detonado
Fragmentação resultante
Condições meteorológicas
Observações
<sup>1</sup> : E = espaçamento; A = afastamento

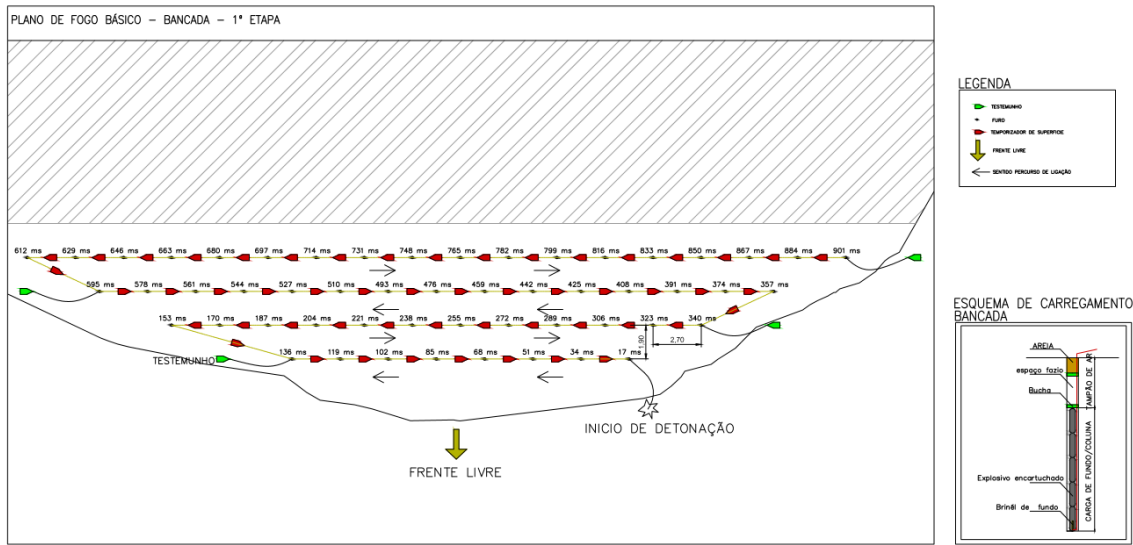
Figura 4.3. Planilha de cadastro do plano de fogo conforme NBR 9653.



### Croqui da localização

### Observações

Figura 4.3 (cont.). Planilha de cadastro do plano de fogo conforme NBR 9653.



DADOS DE PERFURAÇÃO	
<b>BANCADA</b>	
Área da seção (m2)	307.70
Malha para perfuração (m)	1,90 x 2,70
Quantidades de linhas	4
Total de Furos	53
Profundidade de perfuração furo (m)	8.20
Profundidade sub-furação furo (m)	0.60
Profundidade total perfuração furo (m)	8.90
Perfuração total (m)	471.70
Diametro de perfuração furo (mm)	76
Inclinação furo	10°
<b>CONTORNO</b>	
Área da seção (m2)	-
Malha para perfuração (m)	-
Profundidade de perfuração furo (m)	-
Profundidade sub-furação furo (m)	-
Profundidade total perfuração furo (m)	-
Diametro de perfuração furo (mm)	-
Inclinação furo	-

DADOS DE CARREGAMENTO	
Comprimento do Tampão	Vazio=1,22m, preenchido=0,31m
Volume de demonte (m³)	2,523.14
Razão de Carga (kg/m³)	0.569
Perfuração específica (m/m³)	0.19
CME - Carga máxima por espera - Tempo 17 ms	27.08
<b>QUANTIDADES DE EVENTOS NO PLANO (TEMPOS UTILIZADOS)</b>	<b>53</b>
<b>CONDIÇÕES DA ESTRUTURA</b>	<b>NÃO CONFINADO</b>
Consumo específico de iniciadores - ESPOLETA DE LIGAÇÃO (PC/m³)	0.02

DETALHE DO CARREGAMENTO						
POSIÇÃO	EXPLOSIVO	BITOLA	PESO CART	CART/FURO	Kg / FURO	TOTAL (Kg)
LINHA 1 - 8 FUROS	Ibegel	2.1/2" x 24"	2.083	13	27.079	216.632
LINHA 2 - 12 FUROS	Ibegel	2.1/2" x 24"	2.083	13	27.079	324.948
LINHA 3 - 15 FUROS	Ibegel	2.1/2" x 24"	2.083	13	27.079	406.185
LINHA 4 - 18 FUROS	Ibegel	2.1/2" x 24"	2.083	13	27.079	487.422
<b>TOTAL</b>						<b>1,435.19</b>

SISTEMA DE RETARDO			
DESCRIÇÃO	QUANT.	TEMP MS	COMPRIMENTO (m)
BRINEL DE FUNDO	53	1,000.00	9
BRINEL DE LIGAÇÃO	53	17	6
BRINEL DE INICIADOR	1		500

Figura 4.4. Esquema do plano de fogo da Bancada 31 - Etapa 1.

#### 4.4 Cronograma da Escavação das Bancadas

O cronograma de escavação considera trabalhos em turno único de 10 horas, em 5 dias da semana e 1 desmonte a cada 3 dias. A Figura 4.5 mostra o cronograma desenvolvido para o desmonte do talude.

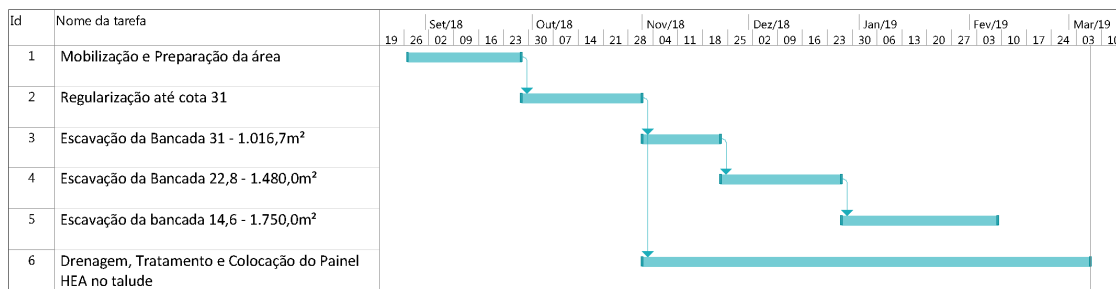


Figura 4.5. Cronograma de execução do desmonte do talude rochoso.

R3

#### 4.5 Procedimentos Executivos Adicionais

As atividades associadas ao desmonte do talude rochoso do Centro de Informações, vizinho à área de implantação da UAS são as típicas da prática da boa engenharia. Em adição, vale ressaltar alguns procedimentos adicionais:

- i. Após a delimitação da área a ser escavada, deverão ser realizadas as atividades de limpeza, caso necessária, e retirada de eventuais blocos soltos no maciço;
- ii. Blocos rochosos de volumes menores, capazes de serem deslocados com equipamentos leves, tais como a escavadeira CAT 320 ou similares, deverão ser deslocados e posteriormente desmontados a frio, por meio de rompedores hidráulicos acoplados na própria escavadeira. O material resultante deverá ser carregado com equipamentos tipo Pá Carregadeira 966H, ou escavadeiras e transportado em caminhões basculantes com capacidade de caçamba de 14m<sup>3</sup>;
- iii. No caso da escavação do solo, deve se preparar a berma no topo do *offset* e iniciar os cortes em bancadas;
- iv. O acesso à Bancada 31 será realizado adotando-se procedimentos de limpeza, com remoção de capa de solo e blocos rochosos por meio de retroescavadeira, desmonte mecânico com picão e, se necessário, desmonte com fogacho;
- v. A limpeza da frente a ser detonada deve ser completa, independentemente do tipo de cobertura a ser utilizado, removendo-se fragmentos de rocha e chocos presentes no topo e no pé das bancadas. Caso o maciço seja muito fraturado e/ou a frente apresente faixas com diaclases, diques ou fraturas, é recomendável uma inspeção preliminar ao carregamento do fogo para remover lascas e fragmentos de rocha encaixados, que podem ser projetados a grandes distâncias;
- vi. A extensão da cobertura de proteção do desmonte de rocha deve ser, no mínimo, igual à área da malha de perfuração, recomendando-se fortemente a instalação de coberturas laterais adicionais;
- vii. As detonações devem ocorrer em horários e dias pré-determinados, inclusive com conhecimento e aprovação da Polícia Rodoviária Federal, pois haverá necessidade de bloqueios, mesmo que momentâneos da BR-101. Tal fato se faz necessário, não pela possibilidade de ultralanchamento ocorrer até a rodovia, mas sim para evitar possíveis acidentes decorrentes da reação de

susto dos motoristas com o barulho resultante da detonação e da sobrepressão acústica;

- viii. Recomenda-se, em função da logística de ocupação da área, que as detonações sejam programadas para os dias de segunda-feira e quinta-feira no horário de 6h30.

## **5 MEDIDAS DE SEGURANÇA PARA DESMONTE DE ROCHA**

As medidas de segurança recomendadas para os eventos de detonação são as seguintes:

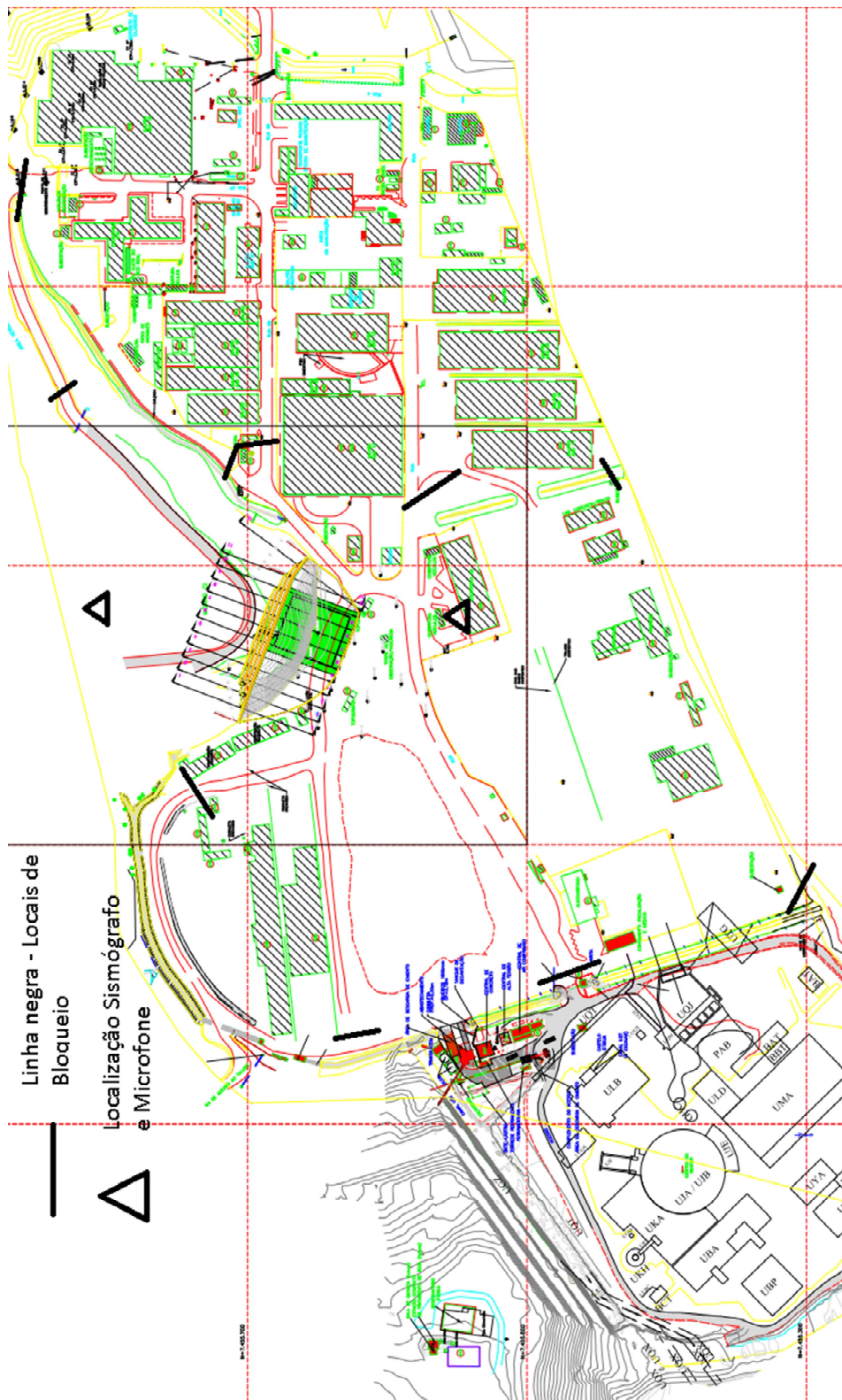
- i. Plano de fogo cuidadoso conforme dimensionado, correspondendo ao uso de pré fissuramento, tampão com air deck e controle da carga máxima por espera;
- ii. Cobertura total do fogo com as mantas tipo BlastMat, areia e painel de alta absorção de energia de impacto com tela metálica de dupla torção DT para retenção de fragmentos de volumes reduzidos, detalhado no Item 6 do presente documento;
- iii. Sismografia nos locais correspondentes às edificações frontais ao talude, Centro de Informações, na Rodovia e na Usina Angra 2;
- iv. Controle da sobrepressão acústica com tampão air deck. Importante lembrar que não devem ser utilizados estopins de iniciação e cordel detonante nas amarrações e colunas do corpo da detonação (o cordel é usado somente no pré fissuramento);
- v. Proibição de circulação na área de influência da detonação;
- vi. Análise dos resultados para aprimoramento do plano de fogo.

A área de influência das detonações deverá ser de 250m, sendo necessária a evacuação neste perímetro para a proteção das pessoas e veículos.

O maior risco de lançamento reside na área frontal ao talude da escavação. Porém, ainda podem ocorrer lançamentos laterais e para montante devido a desvios de furação e ao sopro pelo tampão, razão pela qual a evacuação é obrigatória. A maior sensação de vibração será sentida na área a montante do desmonte.

As Figuras 5.1 e 5.2 apresentam recomendações para o Plano de Bloqueio das Vias e Instalação de Sismógrafos dentro da planta da Central Nuclear. Note-se que a localização exata dos sismógrafos na área, especialmente na área da Usina de Angra 2, será definida com o apoio técnico da Eletronuclear, a fim de atender aos condicionantes inerentes à área da usina e adjacências.





Linha negra - Locais de  
Bloqueio

Localização Sismógrafo  
e Microfone

Figura 5.1. Planta com recomendação para o plano de bloqueio das vias e locação dos sismógrafos.

Cód O&M 042/04



Figura 5.2. Recomendações para o plano de bloqueio de vias e instalação da sismografia locados na imagem de satélite da área do talude.

Cód O&M 042/04

Para Implantação dos bloqueios de vias e do procedimento de detonação, propõe-se a seguinte sequência de avisos sonoros para anunciar as etapas do processo:

- i. 1ª Sirene: Confirmação da detonação. Deslocamento das equipes para as frentes a serem bloqueadas a 20 minutos antes da detonação;
- ii. 2ª Sirene: Implantação dos bloqueios de veículos e pedestres a 5 minutos antes da detonação;
- iii. 3ª Sirene: Informa a efetivação do bloqueio das vias e libera a detonação, assim que os bloqueios sejam implantados e confirmados;
- iv. 4ª Sirene: Conclusão do desmonte com a liberação dos bloqueios implantados, após confirmação do operador de detonação (*Blaster*).

Recomenda-se fortemente que as edificações não mantenham portas ou janelas de vidro fechadas, evitando-se desta forma o impacto de ar nas estruturas de forma a eliminar a ocorrência de danos (quebras de vidros) e reduzir o incômodo sentido pelas pessoas.

O procedimento PAVE - Procedimento de Avanço das Escavações – deve ser adotado, exigindo o seu preenchimento pelos responsáveis pela implantação do Plano de Fogo, a saber, Técnico de Segurança do Trabalho, *Blaster*, Técnico de Qualidade (caso exista), Engenheiro responsável pela frente e ATO. O formulário PAVE é apresentado no Anexo 3.

## **6 PROTEÇÃO DA ÁREA DE DESMONTE COM PAINEL HEA**

A cobertura da área de desmonte com painel de alta absorção de impacto é uma novidade no Brasil, apesar da ampla utilização na Europa e especialmente Austrália e Nova Zelândia.

A técnica consiste em instalar painéis de alta resistência e alta absorção de energia sobre a área a ser detonada, a fim de absorver as elevadas energias de impacto do material no momento da detonação. O painel é capaz de atenuar a energia de impacto e ainda favorecer a queda controlada dos fragmentos resultantes da detonação até a base da escavação. Desta forma, evita-se os ultralanchamentos frontais e laterais e ainda reduz a área de depósito do material desmontado.

A GEOPHI engenharia desenvolveu um procedimento para dimensionamento dos painéis de alta absorção de energia para desmontes a fogo e por gravidade. Emprega o painel HEA, *High Energy Absorption*, fabricado pela MACCAFERRI e testado conforme as especificações da Norma Italiana UNI 11437 e diretivas do CDOT, *Colorado Department of Transportation (TRC – E- C141, Colorado's Full-Scale Field Testing of Rockfall Attenuator Systems)*. Ressalta-se que os resultados da intensa campanha de ensaios realizados pelo CDOT em telas e painéis metálicos indicaram que o painel HEA é o único capaz de absorver os esforços dinâmicos produzidos pelo impacto de blocos de rocha sem sofrer danos e com comprovada ação retentora e controladora do movimento. Os demais painéis testados e analisados pelo CDOT não mostraram desempenho adequado para a absorção do impacto e controle do movimento de blocos, além de sofrerem danos severos, que atingem inclusive a perda da integridade estrutural da peça.

O sistema atenuador é composto por painéis de alta resistência HEA 300  $\phi$ 10 (MACCAFERRI). O *painel HEA (High Energy Absorption panel)* é uma combinação de cabos de aço de alta resistência conectados por nós de arame de aço com 3,00 mm de diâmetro revestido com Galfan (liga de zinco-alumínio a 5%). O cabo de aço de 1770 N/mm<sup>2</sup> tem diâmetro igual a 10,0 mm e carga de ruptura de 380 a 500 N/mm<sup>2</sup>. O painel HEA apresenta resistência à tração nominal de 290 kN/m e carga final de punção igual a 456 kN. É fornecido normalmente em rolos de até 5,0m de largura e 10,0m de comprimento, podendo ser fabricado sob medida, caso solicitado. O painel HEA é associado ao revestimento com tela metálica simples de dupla torção, favorecendo a retenção de fragmentos e blocos de volumes reduzidos.

A Figura 6.1 ilustra o funcionamento do painel atenuador com 3,0 x 6,0m, instalado para o desmonte de um talude de 10,0m de altura. Os chumbadores de fixação do cabo de aço de topo são executados na crista em distância mínima de 1,5m da parede e espaçados conforme dimensionamento específico do sistema formado pelo painel HEA, chumbadores e cabo de topo. Os painéis são unidos de forma a cobrir toda a superfície de desmonte e fixados na crista por meio de cabo de ancoragem de topo, o qual é suportado pelos chumbadores de topo. Ressalta-se que não há ancoragens intermediárias, somente as ancoragens de crista.

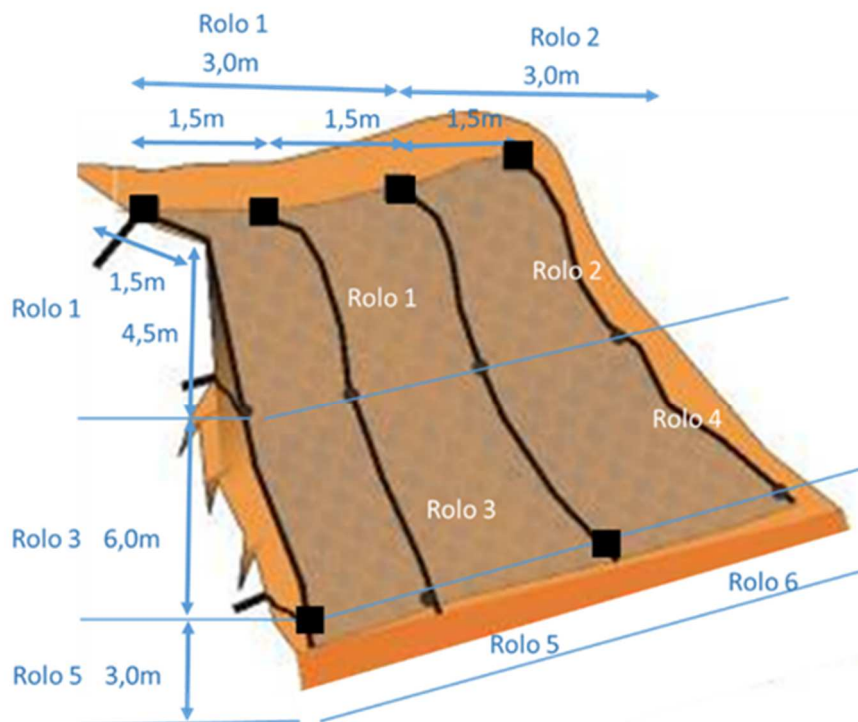


Figura 6.1. Esquema do sistema atenuador para controle e proteção de desmonte.

O dimensionamento do painel metálico atenuador e de proteção para desmonte a fogo do talude considerou o painel HEA 300  $\phi$ 10. O bloco típico de projeto, que sofre deslocamento por efeito da explosão, foi adotado com 1,0m<sup>3</sup> de volume, peso de 2,6t e queda máxima de 40,0m de altura do talude com 70° de inclinação. Premissas de projeto

foram adotadas em relação ao punctionamento do painel, provocado pelo impacto do bloco.

As análises foram desenvolvidas com o programa numérico MACRO Studio Beta – MACRO 2 (desenvolvido pela *Officina Maccaferri*). O Anexo 4 apresenta a memória de cálculo de dimensionamento do painel metálico atenuador e de proteção para desmonte a fogo do talude. As especificações técnicas do produto são apresentadas no Anexo 5.

O sistema é ancorado por chumbadores compostos de barras de aço do tipo GEWY ou similar, de diâmetro nominal igual a 32,0mm, com 550 MPa de tensão de escoamento e carga de trabalho igual a 130kN. As barras são tratadas contra a corrosão e rosqueadas para facilitar a fixação da porca de aperto da placa ao chumbador.

Os chumbadores de crista são executados em furos com diâmetro mínimo de 75,0mm, inclinados de 45º com a horizontal e espaçados de 2,25m, com comprimento mínimo igual a 4,0m, demais chumbadores com inclinação de 10º.

A injeção (bainha) e reinjeção dos chumbadores devem ser realizadas com calda de cimento com fator água/cimento de 0,5. As injeções são ascendentes até vazamento da nata na boca do furo e realizadas em 2 etapas: bainha e reinjeção, a qual é realizada por meio de tubo com válvulas manchete a cada 50cm, e após 3 horas de cura da nata de cimento da bainha. O projeto executivo para bainha e reinjeção dos chumbadores é apresentado em detalhes no Anexo 6.

O cabo de topo para suporte e fixação dos painéis HEA é em aço com 1770MPa de tensão de escoamento e diâmetro igual a 22,0mm.

O painel HEA a ser instalado para desmonte tem largura e comprimento mínimos correspondentes à extensão total da área a ser protegida. Adotou-se o painel HEA 300  $\phi$ 10, comercializado em rolo de 5,0m de largura e 10,0m de comprimento.

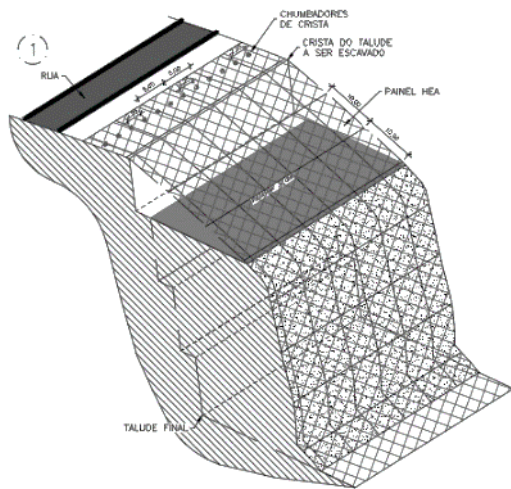
O comprimento do painel na crista do talude necessário para a instalação do sistema é igual a 5,0m a partir da primeira linha de furos de detonação para montante. Este comprimento é somado ao comprimento referente à altura do talude até a base da parede rochosa e ainda acrescido de saia (véu) com 6,0m de comprimento.

A Figura 6.2 ilustra os procedimentos para instalação e funcionamento do sistema de atenuação e proteção com painel HEA para o desmonte do talude da UAS. Os procedimentos executivos são detalhados no Desenho VH-U UZT-001009.

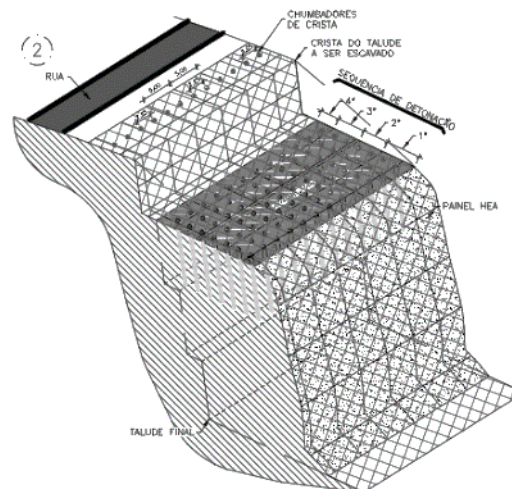
Os fatores de segurança obtidos para o sistema HEA são considerados satisfatórios e confortáveis sendo iguais a 3,93 para a malha do painel e 1,34 para o cabo de topo de fixação dos painéis.

A Tabela 6.1 sumaria os parâmetros do sistema de atuação e proteção com HEA para o desmonte do talude rochoso.

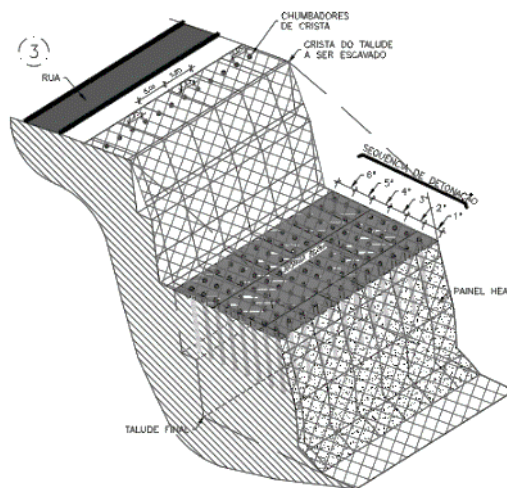
Foram também realizadas análises de trajetórias e envoltórias de energia cinética de deslocamento do bloco de projeto para estimativa de valores de energia de impacto no sistema atenuador de HEA. O programa numérico Rocfall V.4 (*Rocscience inc.*) foi empregado para as análises das envoltórias de energia cinética do bloco típico.



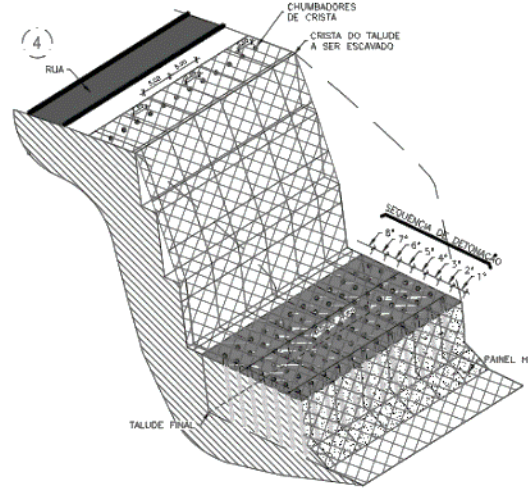
(a) Fase 1



(b) Fase 2



(c) Fase 3



(d) Fase 4

Figura 6.2. Sequencia executiva de instalação e funcionamento do sistema de proteção com HEA 300  $\phi$ 10 para desmonte do talude.

Tabela 6.1. Parâmetros do sistema atenuador HEA para desmonte do talude rochoso.

Parâmetro	Tipo ou Valor
Malha metálica	HEA 300 $\phi$ 10
Placa de amarração	MACCAFERRI
Barra de ancoragem	GEWY - Aço 550 MPa
Diâmetro da barra de ancoragem	32 mm
Diâmetro do furo mínimo	75 mm
Espaçamento horizontal entre ancoragens de topo	2,25 m
Inclinação da ancoragem com a horizontal	45°
Comprimento mínimo da ancoragem <sup>(1)</sup>	4,0 m
Cabo de suporte	Aço 1770 MPa
Diâmetro do cabo de suporte	22 mm

<sup>(1)</sup> : O comprimento da ancoragem adotado atende ao valor mínimo calculado por: MACRO 2, Bustamante & Doix e recomendação da GEORIO e ABNT 5629.

A Figura 6.3 ilustra a variação da energia ao longo do deslocamento do bloco, provocado pela detonação, sem a proteção do painel. Observa-se que a maior energia ao longo da trajetória é de 1000kJoules e, portanto, inferior à capacidade de absorção de energia nominal do painel, determinada em ensaios em escala real e estimada em, no mínimo, 2000kJoules, para solicitações de desmonte a fogo.

O processo executivo de desmonte deve atender à instalação inicial do sistema atenuador de energia de impacto sobre a região de desmonte do talude e acomodação da saia de 6,0m de comprimento na área frontal da base do talude (distância horizontal mínima de 6,0m a partir da base do talude), requerida para acomodação da queda de blocos durante o processo de desmonte. O processo executivo é apresentado em detalhes no desenho respectivo ao sistema de proteção com HEA.

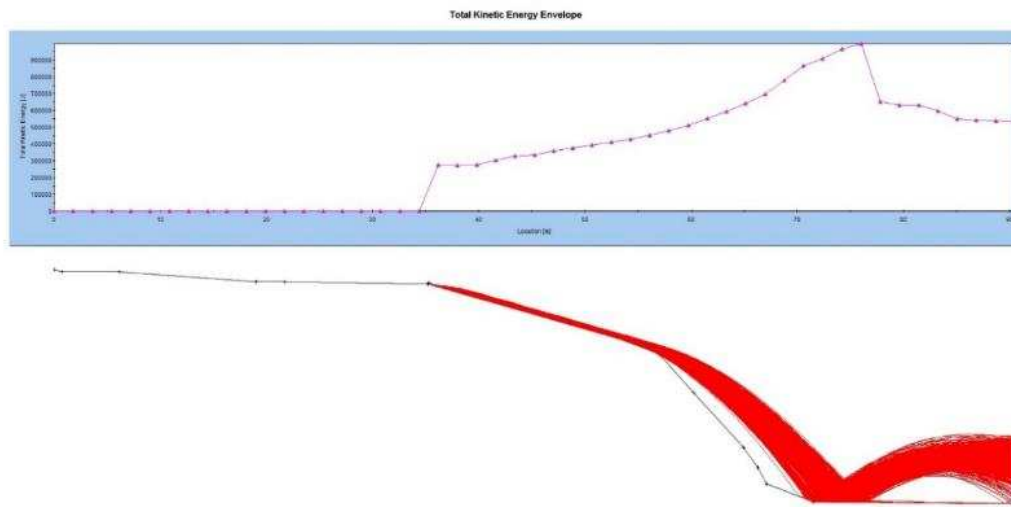


Figura 6.3. Envoltória de energia cinética total do bloco de 1m<sup>3</sup> ao longo do talude rochoso.

Ressalte-se que o painel atenuador deve ser aproveitado ao longo de todo o processo de desmonte a fogo, incluindo-se as bancadas intermediárias. Caso seja adotada esta proteção e em função da condição final dos painéis, após a conclusão do desmonte do talude, os painéis HEA podem ser aproveitados para o revestimento permanente do talude remanescente.

O aproveitamento dos painéis HEA para o revestimento permanente está condicionado à integridade física e, portanto, mecânica do material. Anomalias tais como puncionamento e cisalhamento excessivos após o impacto de blocos, devem ser considerados para o descarte e o não reaproveitamento do painel como revestimento do talude remanescente, após o fogo.

## 7 TRATAMENTO E PROTEÇÃO DO TALUDE APÓS O DESMONTE

O talude rochoso resultante do processo de desmonte para a implantação da UAS deve apresentar boa qualidade geomecânica, tendo em vista a técnica e cuidados tomados para o corte do maciço. Entretanto, o talude ainda apresentará as estruturas geológicas identificadas no mapeamento de superfície.

Desta forma, foram desenvolvidas análises de estabilidade do talude na sua conformação final, remanescente do desmonte, a fim de se avaliar suas condições de segurança e prever possíveis rupturas potenciais que possam ocorrer ao longo do tempo de exposição do maciço ao intemperismo.

R3



## 7.1 Avaliação das Estruturas Geológicas

As estruturas geológicas mapeadas no talude rochoso foram consideradas para análises em projeção estereográfica da nova conformação do talude remanescente. O mapeamento geológico e sua interpretação geotécnica forneceram as estruturas geológicas listadas na Tabela 7.1, as quais são indicadas na Figura 2.5 do Item 2 desta memória de cálculo.

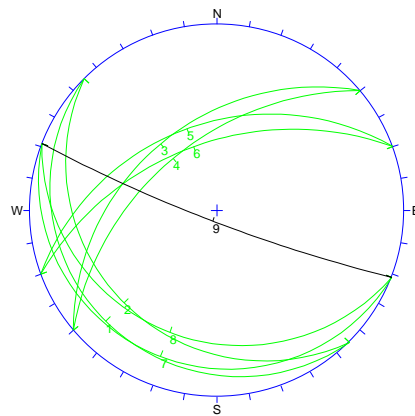
As estruturas geológicas foram analisadas em relação à orientação do talude rochoso na sua orientação resultante do desmonte e igual a  $83^\circ / 201^\circ$ . O Programa comercial DIPS (*Rocscience Inc.*) foi adotado para análise de projeção estereográfica das juntas em relação ao talude. A Figura 7.1 apresenta os resultados das análises estereográficas.

A Figura 7.1a corresponde às projeções das estruturas (planos em verde) em relação à orientação do talude. A Figura 7.1b mostra o estereograma com o acréscimo da localização dos pólos (em vermelho) de cada estrutura. A Figura 7.1c apresenta a concentração de pólos das estruturas ou juntas considerando o Método de Fisher, com concentração máxima de pólos igual a 35,0%.

As projeções estereográficas permitem concluir que a formação de cunhas é predominante nas análises de estabilidade geométrica do talude rochoso na área de implantação da UAS.

Tabela 7.1. Orientação das principais estruturas geológicas mapeadas no talude.

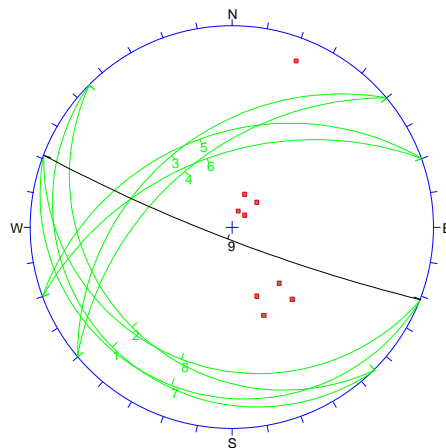
Estrutura Junta	Orientação (Mergulho/ Direção de mergulho)
1	$10^\circ / 225^\circ$
2	$20^\circ / 225^\circ$
3	$40^\circ / 320^\circ$
4	$50^\circ / 320^\circ$
5	$40^\circ / 340^\circ$
6	$50^\circ / 340^\circ$
7	$10^\circ / 201^\circ$
8	$20^\circ / 201^\circ$
9	$83^\circ / 201^\circ$



Orientations	
ID	Dip / Direction
1	10 / 225
2	20 / 225
3	40 / 320
4	50 / 320
5	40 / 340
6	50 / 340
7	10 / 201
8	20 / 201
9	83 / 201

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
9 Poles  
9 Entries

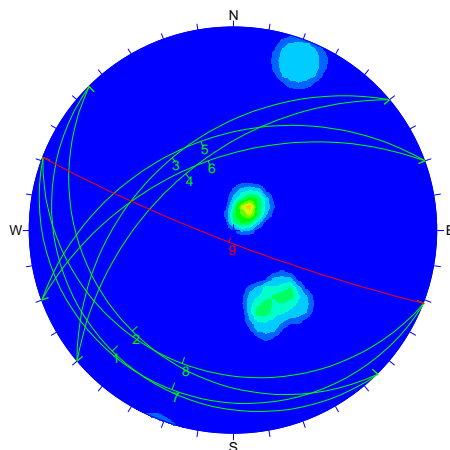
(a) Planos do talude e das estruturas



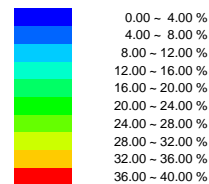
■ Poles

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
9 Poles  
9 Entries

(b) Planos do talude e estruturas e locação dos pólos



Fisher  
Concentrations  
% of total per 1.0 % area



No Bias Correction  
Max. Conc. = 35.0257%

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
9 Poles  
9 Entries

(c) Planos dos taludes e estruturas e concentração dos pólos

Figura 7.1. Projeções estereográficas das estruturas e talude rochoso.

## 7.2 Análise da Estabilidade de Cunhas do Talude

As análises de estabilidade das cunhas de ruptura potenciais no maciço rochoso do talude da área da UAS foram realizadas considerando os parâmetros geométricos e a orientação do talude, definida após o processo de desmonte, conforme Tabela 7.2.

Tabela 7.2. Parâmetros geométricos e orientação do talude.

Parâmetro	Valor
Orientação da face	83° / 201°
Altura	33,0 m
Inclinação de topo	0°
Largura de bancada máxima	2,0 m

As estruturas ou juntas críticas para as análises de estabilidade foram selecionadas e correspondem às Juntas 1 a 8, apresentadas na Tabela 7.3. Foram adotadas propriedades mecânicas reduzidas para as paredes das fraturas: coesão da junta nula e ângulo de atrito de 25°, correspondendo, portanto, a um cenário pessimista que penaliza os parâmetros de resistência das fraturas do maciço rochoso.

Tabela 7.3. Juntas adotadas para análise de rupturas em cunha no talude.

Estrutura	Orientação
J1	10° / 225°
J2	20° / 225°
J3	40° / 320°
J4	50° / 320°
J5	40° / 340°
J6	50° / 340°
J7	10° / 201°
J8	20° / 201°

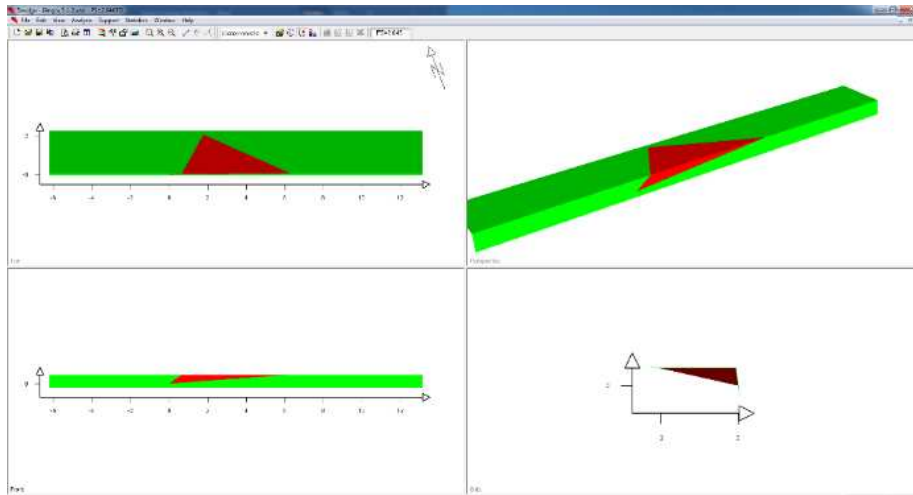
Obs.: Parâmetros de resistência das juntas adotados iguais a  $c_j = 0$  kPa e  $\phi_j = 25^\circ$

As análises de estabilidade pseudo estáticas das cunhas foram desenvolvidas com o programa comercial SWEDGE (*Rocscience Inc.*), considerando condições de saturação distintas: Talude seco; Fraturas com 50% de água; e Fraturas totalmente preenchidas com água. As 8 fraturas (Juntas J1 a J8) foram combinadas em par e analisadas para o maciço rochoso com a orientação de corte de desmonte e as 3 condições de água.

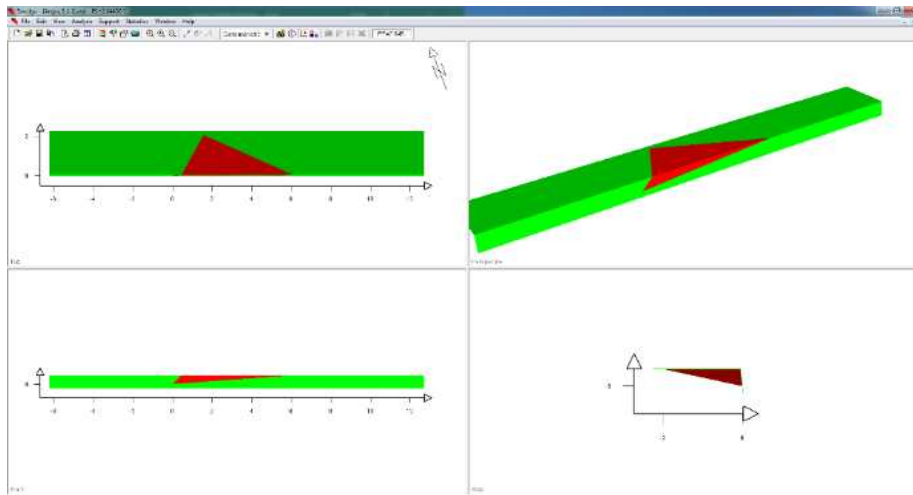
A Figura 7.2 ilustra os resultados obtidos para o talude, sendo identificada a formação de 8 tipos de cunhas produzidas pela intersecção das juntas J1–J3, J1–J4, J1–J5, J1–J6, J2–J3, J2–J4, J2–J5 e J2–J6.

O Anexo 7 apresenta os resultados de todas as análises de cunhas realizadas para o talude.

(a) Juntas J1 e J3



(b) Juntas J1 e J4



(c) Juntas J1 e J5

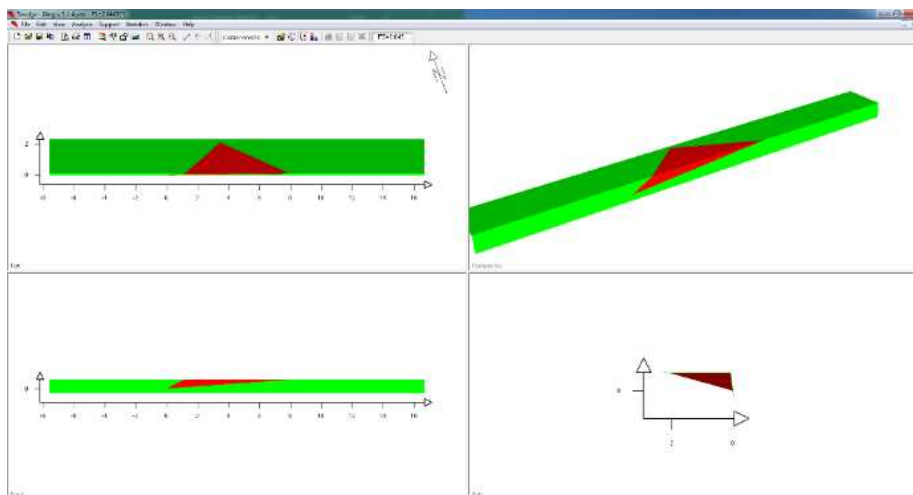
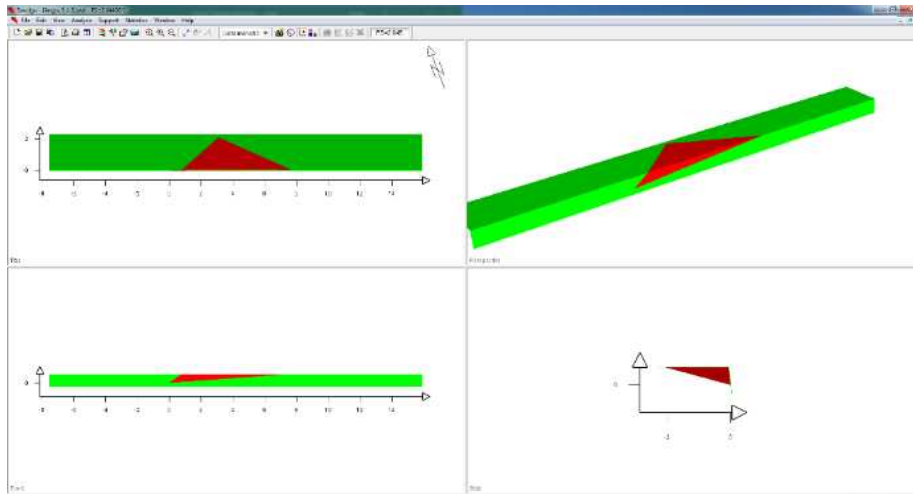


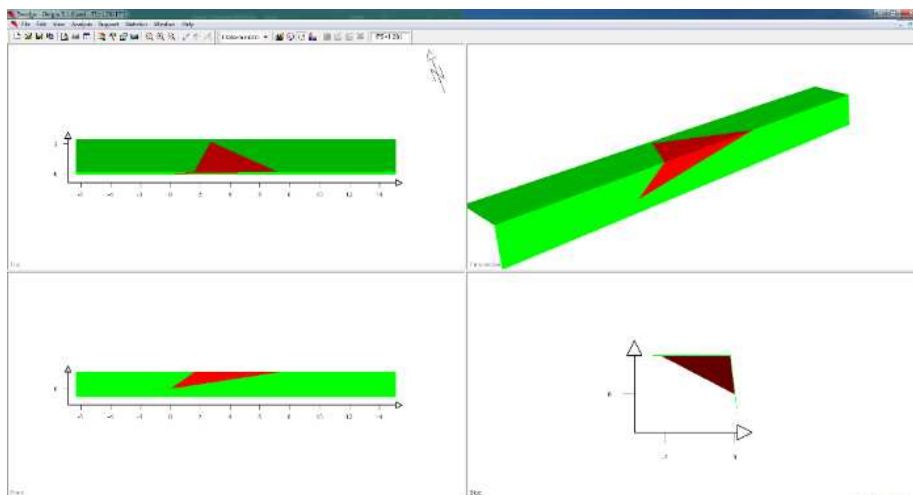
Figura 7.2. Análise de cunhas formadas pelas juntas.

Cód O&M 042/04

(d) Juntas  
J1 e J6



(e) Juntas  
J2 e J3



(f) Juntas  
J2 e J4

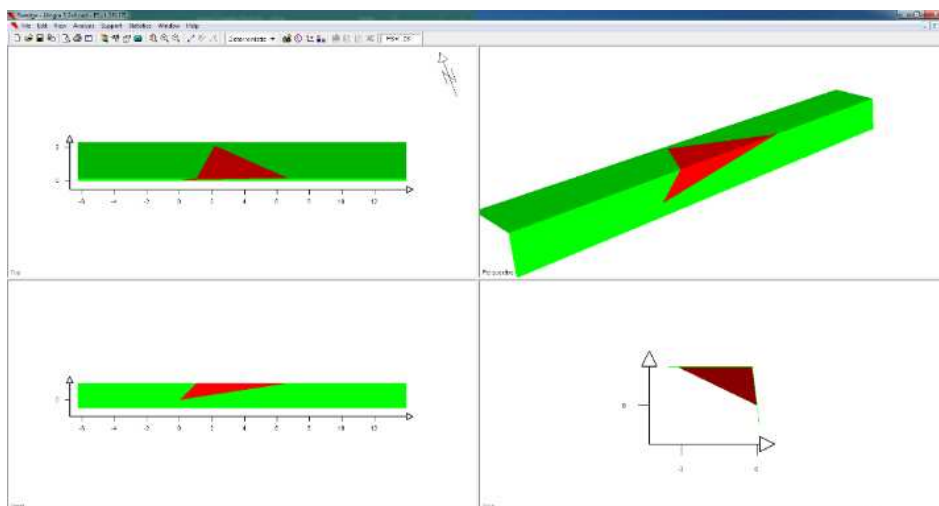
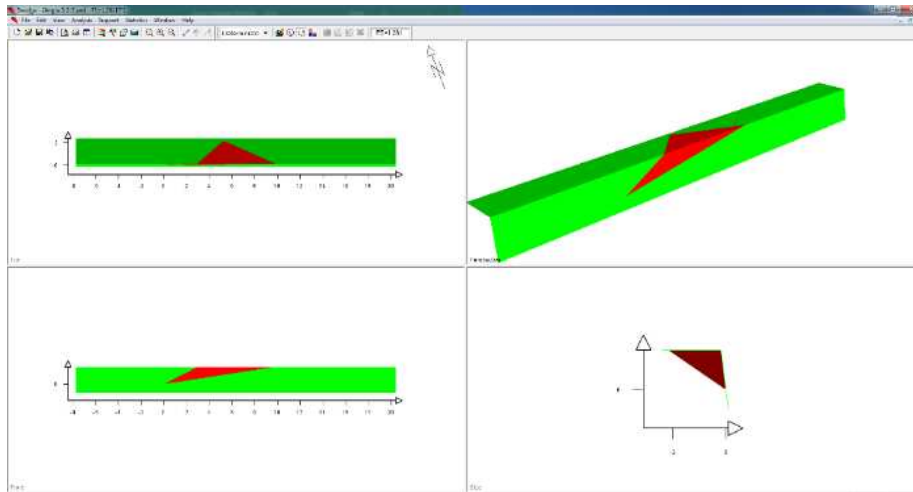


Figura 7.2 (Continuação). Análise de cunhas formadas pelas juntas.

Cód O&M 042/04

(g) Juntas  
J2 e J5



(h) Juntas  
J2 e J6

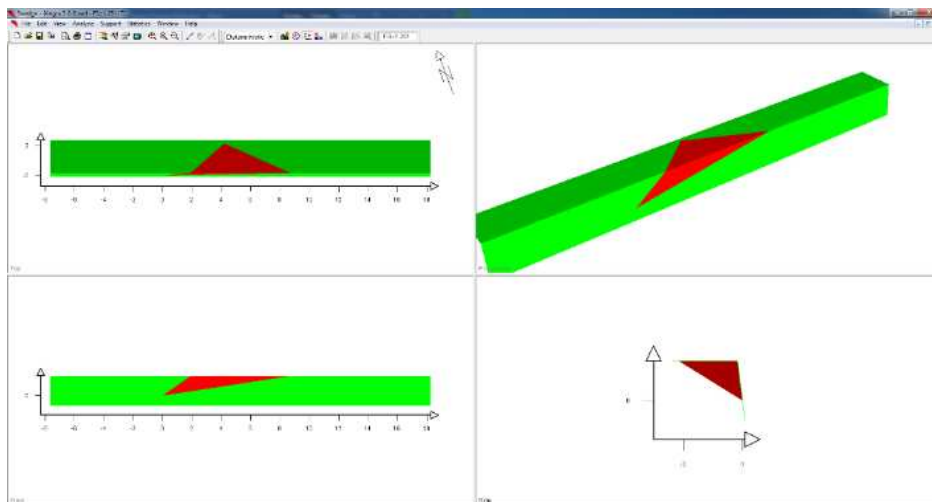


Figura 7.2 (Continuação). Análise de cunhas formadas pelas juntas.

A Tabela 7.4 resume os principais resultados obtidos das análises de formação e estabilidade de cunhas realizadas para o talude. São consideradas as cunhas formadas pelas juntas, seus volumes e os respectivos fatores de segurança na condição mais crítica correspondente às juntas completamente preenchidas com água. Os fatores de segurança inferiores a 1,0 indicam instabilidade da cunha, cuja estabilização é garantida com a instalação de tela metálica e chumbadores sistemáticos de carga de tração nominal igual a 130 kN.

Na Tabela 7.4 observa-se que as cunhas formadas pelas intersecções das juntas J1 - J3, J1 - J4, J1 - J5 e J1 - J6 interceptam o talude, porém são estáveis, com Fatores de Segurança variando de 1,70 a 2,56, não exigindo qualquer intervenção.

Entretanto, os 4 tipos de cunhas formadas pelas intersecções das juntas J2 - J3, J2 - J4, J2 - J5 e J2 - J6 interceptam o talude e são instáveis com Fatores de Segurança inferiores a 1,0 e pesos variando de 5,0 a 8,8t. Esta condição exige a estabilização com tela metálica de alta resistência e chumbadores sistemáticos.

Tabela 7.4. Resultados das análises de estabilidade de cunhas do talude rochoso.

Juntas	Formação de cunhas		Juntas	Formação de cunhas	
	Peso (Tf)	Fator de Segurança		Peso (Tf)	Fator de Segurança
J1 - J2	não	-	J3 - J5	não	-
J1 - J3	2,22	1,87	J3 - J6	não	-
J1 - J4	2,15	2,56	J3 - J7	não	-
J1 - J5	3,41	1,70	J3 - J8	não	-
J1 - J6	3,26	1,81	J4 - J5	não	-
J1 - J7	não	-	J4 - J6	não	-
J1 - J8	não	-	J4 - J7	não	-
J2 - J3	5,38	0,76	J4 - J8	não	-
J2 - J4	4,98	0,83	J5 - J6	não	-
J2 - J5	8,84	0,63	J5 - J7	não	-
J2 - J6	7,90	0,74	J5 - J8	não	-
J2 - J7	não	-	J6 - J7	não	-
J2 - J8	não	-	J6 - J8	não	-
J3 - J4	não	-	J7 - J8	não	-

Obs.: Cunhas formadas instáveis com FS < 1,0, estabilizadas com tela metálica e chumbadores sistemáticos de 130 kN.

### 7.3 Projeto de Estabilização e Proteção do Talude com Painel de Alta Resistência

A estabilização e proteção do talude rochoso na área da UAS consiste na instalação de painéis de alta resistência HEA 300  $\phi$ 10 (MACCAFERRI) ou tela similar de mesmas resistência e rigidez, com ancoragens sistemáticas, calculado com o auxílio do programa MACRO Studio beta – MACRO 1 (Maccaferri), conforme a Memória de Cálculo apresentada no Anexo 8.

A proteção e revestimento do talude remanescente é composto por painéis de alta resistência HEA 300  $\phi$ 10 (MACCAFERRI). O *painel HEA (High Energy Absorption panel)* é uma combinação de cabos de aço de alta resistência conectados por nós de arame de aço com 3,00 mm de diâmetro revestido com Galfan (liga de zinco-alumínio a 5%). O cabo de aço de 1770 N/mm<sup>2</sup> tem diâmetro igual a 10,0 mm e carga de ruptura de 380 a 500 N/mm<sup>2</sup>. O painel HEA apresenta resistência à tração nominal de 290 kN/m e carga final de punção igual a 456 kN. É fornecido normalmente em rolos de até 5,0m de largura e 10,0m de comprimento, podendo ser fabricado sob medida, caso solicitado. O painel HEA é associado ao revestimento com tela metálica simples de dupla torção, favorecendo a retenção de fragmentos e blocos de volumes reduzidos. O painel HEA para proteção do talude remanescente é similar ao painel sugerido para atenuação e proteção o desmonte.

Este produto foi especialmente desenvolvido para obras de engenharia, com a finalidade de revestir taludes, evitando o desprendimento e queda de rochas, minimizando erosões

R3

e favorecendo a estabilização superficial do maciço. As especificações técnicas do produto são apresentadas em Anexo 5.

R3

A empresa americana *Weston Geophysical Research (WGR)*, realizou na década de 70 a 80, estudos que indicaram que o sítio da CNAAA está numa região estável, intraplaca, distante dos bordos das placas tectônicas, sem falhas geológicas capazes de gerar terremotos de grande magnitude.

A região foi considerada como de baixa sismicidade e, de acordo com os critérios determinísticos vigentes, adotou-se como referência o maior sismo registrado num raio de 200 milhas (320 km) do sítio. Ao terremoto de Cunha, registrado em março de 1967, com magnitude 4,1 na escala Richter, foi atribuída uma intensidade de VI a VII na escala Mercalli modificada, correspondente a acelerações da ordem de 0,07 g.

Assim sendo, foi considerado para critério de projeto, um terremoto de desligamento seguro (SSE), adotando-se uma aceleração horizontal de 0,10g na rocha aflorante aplicando simultaneamente, uma aceleração de 0,067g na direção vertical. No final da década de 90, foi feita uma atualização da base de dados geológica e sísmológica, incorporando os estudos sobre as falhas regionais mais recentes (neotectônica) e uma análise probabilística de ameaça sísmica com base nas normas americanas vigentes. Estes estudos realizados pelo Prof. Dr. Berrocal, sísmólogo do IAG/USP e pela PUC-Rio/Depto. Eng. Civil (Professores Dr. J. L. Roehl e Dra. Andreia A. D. de Almeida), mostraram que o nível de acelerações adotado no projeto é adequado.

Desta forma, as análises de estabilização foram desenvolvidas considerando a aceleração horizontal igual a 0,10g, desprezando-se a aceleração vertical, visto que a mesma atua favoravelmente à segurança nas análises de estabilidade.

O dimensionamento da estabilização e proteção do talude, resultante das análises com coeficiente sísmico de 0,1g, corresponde ao sistema com tela metálica HEA 300  $\phi$ 10 ou produto similar de mesmas resistência e rigidez, ancorado por chumbadores compostos de barras de aço do tipo GEWY ou similar, de diâmetro nominal igual a 32,0mm, com 550 MPa de tensão de escoamento e carga de trabalho igual a 130kN. As barras são tratadas contra a corrosão e rosqueadas para facilitar a fixação da porca de aperto da placa ao chumbador.

R3

Os chumbadores são executados em furos com diâmetro mínimo de 75,0mm, inclinados de 10° com a horizontal. O comprimento mínimo das ancoragens sistemáticas é igual a 4,0m e os espaçamentos horizontal e vertical são respectivamente iguais a 2,25m e 2,0m.

A injeção (bainha) e reinjeção dos chumbadores devem ser realizadas com calda de cimento com fator água/cimento de 0,5. As injeções são ascendentes até vazamento da nata na boca do furo e realizadas em 2 etapas: bainha e reinjeção, a qual é realizada por meio de tubo com válvulas manchete a cada 50cm, e após 3 horas de cura da nata de cimento da bainha. O projeto executivo para bainha e reinjeção dos chumbadores é apresentado em detalhes no Anexo 6.

Este arranjo garante um Fator de Segurança de 1,57 para a estabilização com chumbadores e de 8,91 para o revestimento do talude rochoso com painel HEA em estado limite último, sendo, portanto, considerados adequados e confortáveis para a área da UAS.

R3

A instalação adicional de chumbadores em pontos específicos será avaliada por técnico capacitado da empresa GEOPHI Engenharia LTDA, responsável pelo acompanhamento técnico da obra ao longo de sua execução.



A Tabela 7.5 resume as intervenções geotécnicas para estabilização e proteção do talude rochoso da área de implantação da UAS.

Tabela 7.5. Parâmetros do sistema de estabilização e proteção do talude rochosos da área da UAS.

Parâmetro	Tipo ou Valor
Painél metálica	HEA 300 $\phi$ 10
Placa de amarração	MACCAFERRI
Barra de aço do chumbador	GEWY
Diâmetro nominal da barra de aço	32 mm
Tensão de escoamento da barra de aço	550 MPa
Diâmetro mínimo do furo	75 mm
Inclinação do chumbador com a horizontal	10°
Comprimento mínimo do chumbador <sup>(1)</sup>	4,0 m
Espaçamento horizontal entre chumbadores	2,25 m
Espaçamento vertical entre chumbadores	2,00 m

<sup>(1)</sup>: O comprimento do chumbador adotado atende ao valor mínimo calculado por: MACRO 1, Bustamante & Doix (1985) e recomendação da GEORIO e ABNT 5629.

É importante comentar que o sistema de estabilização e proteção do talude na área da UAS foi dimensionado considerando as condições geomecânicas previstas após o desmonte a fogo. A inspeção e mapeamento do talude remanescente, após a conclusão dos procedimentos de desmonte, é obrigatória para a verificação do projeto apresentado neste relatório. Caso as condições previstas em projeto sejam diferentes das encontradas no talude, o dimensionamento deve ser revisto e adequado às condições efetivamente observadas.

Caso sejam utilizados os painéis HEA para proteção durante o desmonte, os mesmos poderão ser reaproveitados para o revestimento do talude remanescente, caso apresentem condições adequadas e não haja comprometimento de desempenho.

R3

R3

## 8 Projeto de Estabilização de Blocos Rochosos – Contraforte Atirantado

O talude remanescente do desmonte a fogo pode apresentar blocos de maiores dimensões em virtude da presença das estruturas geológicas já mapeadas na sua condição atual. Desta forma, foi previsto o emprego de contrafortes atirantados para a estabilização de eventuais blocos rochosos desconfiados do maciço. A avaliação da condição do talude após o desmonte deve definir a necessidade ou não de execução de contrafortes atirantados. Esta avaliação será realizada pela GEOPHI Engenharia LTDA, responsável pelo acompanhamento técnico da obra.

### 8.1 Dimensionamento Estrutural dos Contrafortes

Os contrafortes serão executados em concreto armado, compostos de 2 tirantes cada, com carga de trabalho de 130 kN. Com altura variável e seção transversal de 50 x 60cm, conforme mostrado na Figura 8.1.

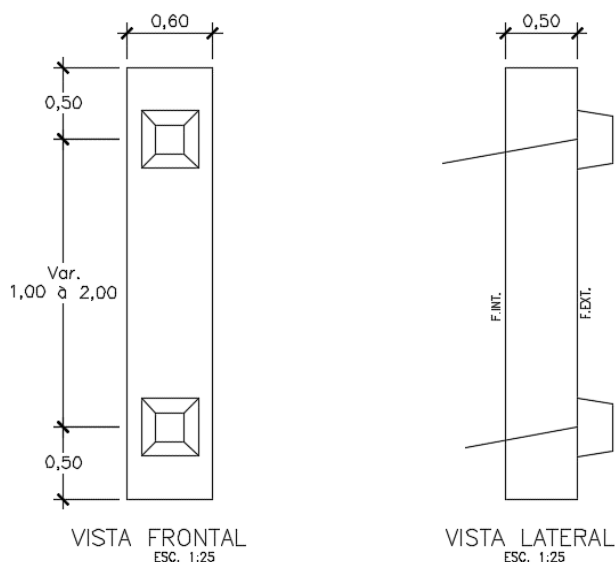


Figura 8.1. Forma dos contrafortes atirantados.

Considerou-se que todos os procedimentos de execução do contraforte e de quaisquer outros elementos que interajam com a presente estrutura seguem as recomendações das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

### 8.2 Dimensionamento dos Esforços nos Contrafortes

Os contrafortes foram calculados como vigas apoiadas nos tirantes e sujeitas à soma das cargas de trabalho distribuídas ao longo de seu comprimento.

São considerados os seguintes parâmetros para o dimensionamento:

- i. Materiais: Concreto com  $f_{ck} = 30\text{MPa}$  e aço CA-50;
- ii. Cobrimento da armadura  $c = 5\text{cm}$ ;

- iii. Ancoragens: Q trabalho = 130kN e Q ensaio = 230kN;
- iv. Terreno com coeficiente de mola horizontal  $K = 5.000\text{kN/m}^3$ .

Os contrafortes foram dimensionados para carga de trabalho de 130kN e como sua altura é variável, os esforços foram determinados para seus vãos máximos e mínimos.

Determinados os momentos fletores, procede-se ao dimensionamento da armadura a partir das seguintes expressões:

- i.  $M_d = \gamma_f \times M$
- ii.  $k_{md} = M_d / (b \times d^2 \times f_{cd})$  onde  $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$
- iii.  $k_x = (2.5 - (6.25 - 14.706 \times k_{md})^{1/2}) / 2$
- iv.  $k_z = 1 - 0.4 k_x$
- v.  $A_s = M_d / (k_z \times d \times f_{yd})$  onde  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$

Foram adotados para o cálculo os seguintes coeficientes de segurança:

- i. Esforços:  $\gamma_f = 1,4$
- ii. Concreto:  $\gamma_c = 1,4$
- iii. Aço:  $\gamma_s = 1,15$

### 1. Determinação dos Esforços

A carga distribuída no contraforte devido à carga dos chumbadores, considerando vãos máximo e mínimo é expressa por:

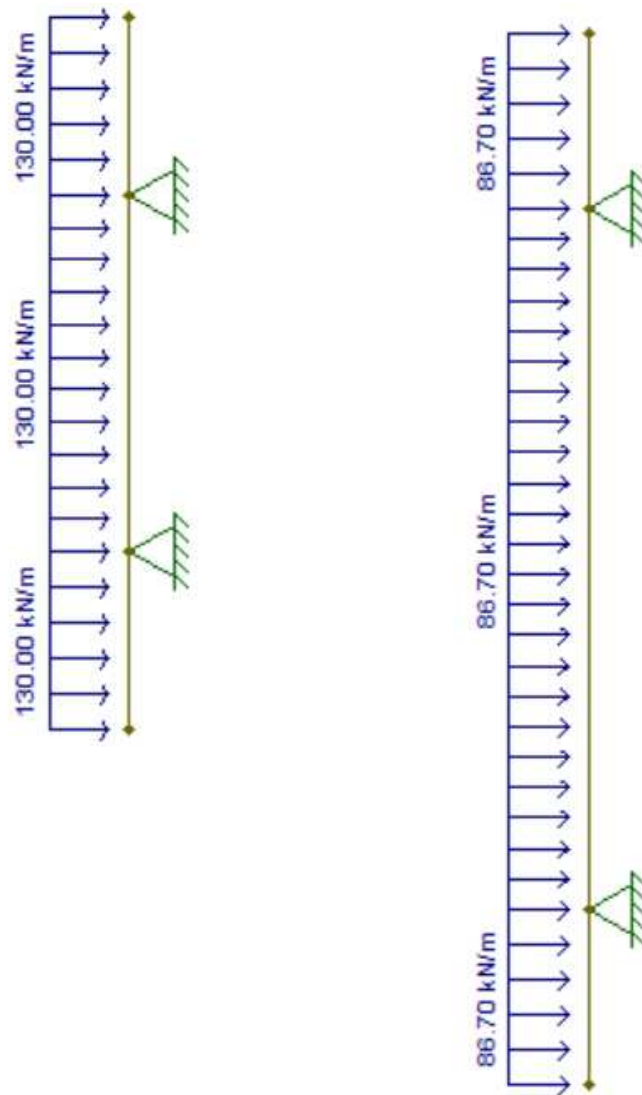
- i. Vão mínimo

$$q_{distr} = \frac{CT_{total}}{L_{contra-fortes}} = \frac{130\text{kN} \times 2}{2,0\text{m}} = 130\text{kN/m}$$

- ii. Vão máximo

$$q_{distr} = \frac{CT_{total}}{L_{contra-fortes}} = \frac{130\text{kN} \times 2}{3,0\text{m}} = 86,7\text{kN/m}$$

Os contrafortes foram modelados com a ajuda do programa de análise estrutural Ftool e os esforços máximos são indicados nas Figuras 8.2 a 8.4.



(a) Vão Mínimo

(b) Vão Máximo

Figura 8.2. Cargas atuantes no contraforte para vãos máximo e mínimo em kN/m.

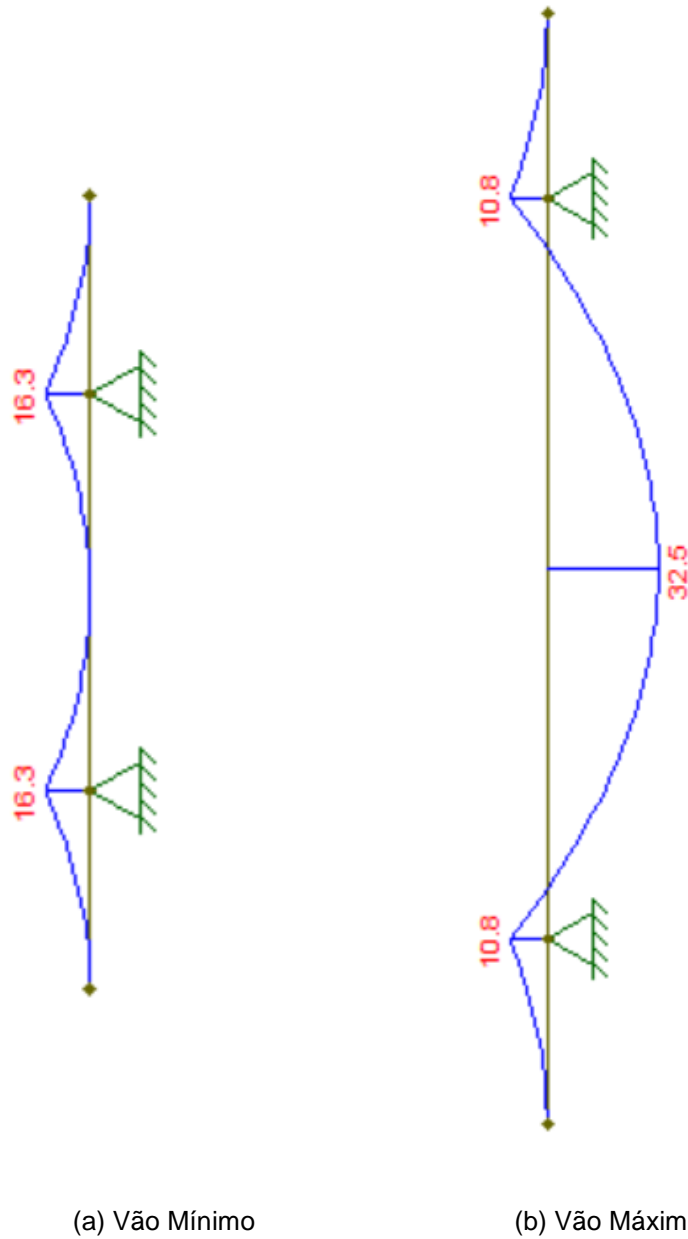


Figura 8.3. Diagrama de momento fletor para vãos máximo e mínimo em kN.m.

Cód O&M 042/04

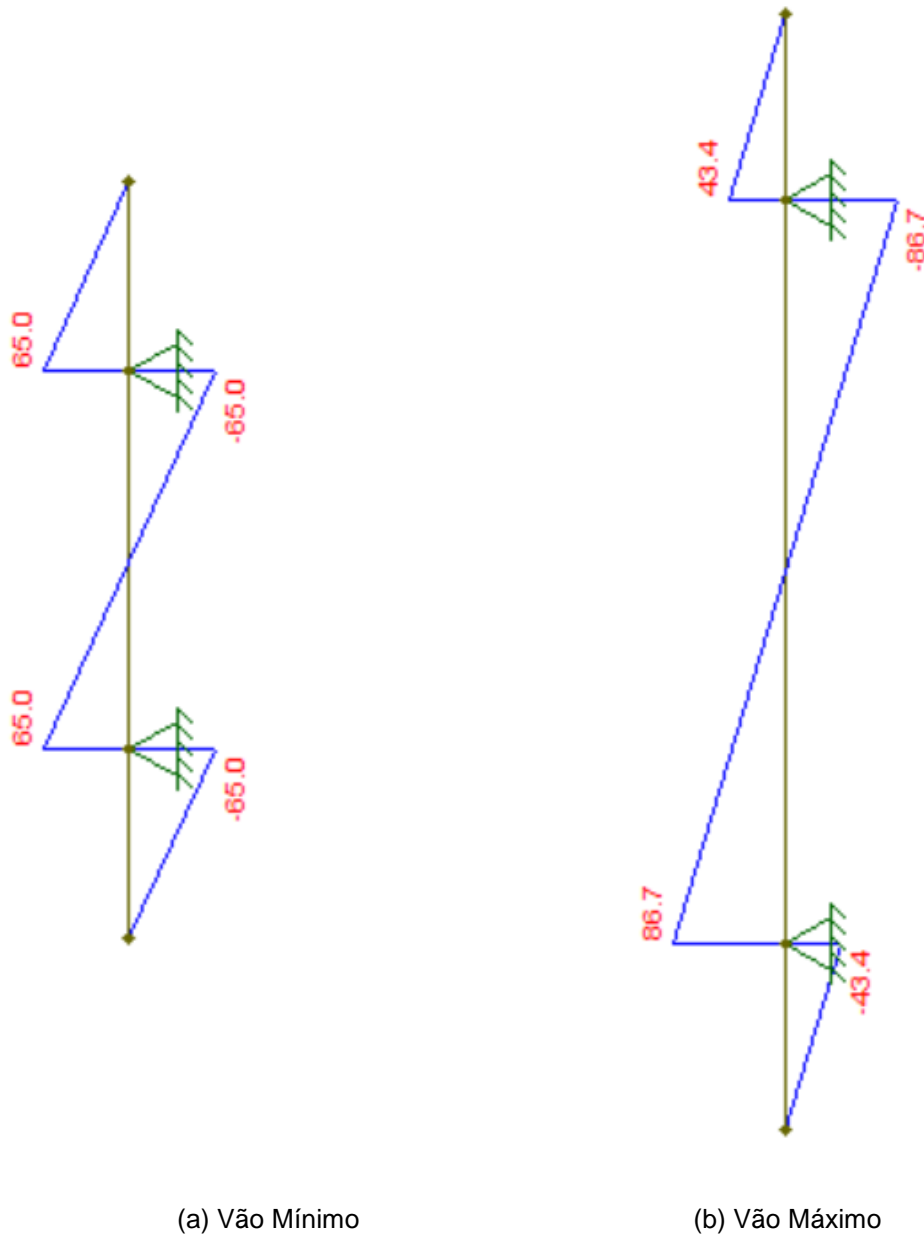


Figura 8.4. Diagrama de esforço cortante para vãos máximo e mínimo em kN.

Os esforços característicos máximos são:

- i.  $M_{kmax} = 32,5 \text{ kN.m}$
- ii.  $V_{kmax} = 86,7 \text{ kN}$

## 2. Dimensionamento à flexão

$$A_{smin} = 0,15\% \cdot A_c = 4,5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Caso	b <sub>w</sub> (cm)	h (cm)	c (cm)	d (cm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	f <sub>y</sub> (MPa)	γ <sub>c</sub>	γ <sub>s</sub>	ρ <sub>min</sub>	M <sub>k</sub> (kN.m)	M <sub>d</sub> (kN.m)
Ct = 130 kN	60	50	6	44	30	500	1,4	1,15	0,15	32,5	45,5

k <sub>md</sub>	k <sub>x</sub>	x (cm)	a (cm)	z (cm)	A <sub>s,calc</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,min</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	Φ <sub>adot.</sub> (mm)	Nº Barras	A <sub>s,adot.</sub> (cm <sup>2</sup> )	Verif.
0,018	0,027	1,20	1,02	43,49	2,4	4,5	4,5	12,5	5	6,1	OK

Armadura adotada:

Armadura interna (Principal) - 5 Φ 12,5

Armadura externa - 5 Φ 12,5

### 3. Dimensionamento ao cortante

Caso	b <sub>w</sub> (cm)	h (cm)	c (cm)	d (cm)	f <sub>ck</sub> (MPa)	f <sub>y</sub> (MPa)	γ <sub>c</sub>	γ <sub>s</sub>	V <sub>Sk</sub> (kN)	V <sub>Sd</sub> (kN)	f <sub>ctd</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	f <sub>ctm</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
Ct = 130 kN	60	50	6	44	30	500	1,4	1,15	86,7	121,4	1.448	2.896

α <sub>v2</sub>	V <sub>Rd2</sub> (kN)	V <sub>c</sub> (kN)	V <sub>sw</sub> (kN)	(A <sub>sw/s</sub> ) <sub>calc</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	(A <sub>sw/s</sub> ) <sub>min</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	Φ <sub>adot.</sub> (mm)	Nº pernas	Espac. (cm)	(A <sub>sw/s</sub> ) <sub>adot.</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	Verif.
0,88	1344,1	229,4	0,0	0,0	7,0	8,0	4	15,0	13,4	OK

Armadura adotada: Φ 8 c/15 (4R)

O Anexo 9 apresenta a memória de cálculo do dimensionamento dos contrafortes atirantados para blocos típicos com dimensões 2,0 x 3,0 x 1,5m, a serem verificadas no talude após o desmonte. Foram realizadas análises estáticas e com sismo de 0,1g.

R3

O Anexo 10 apresenta o procedimento executivo típico dos tirantes.

R3

## 9 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM

### 9.1 Drenagem Profunda

Em função das surgências de água observadas no talude de rocha, foram dimensionados drenos horizontais profundos (DPH), executados em furos de 75,0mm, em uma única linha disposta na base do talude, com espaçamento horizontal de 10,0m e comprimento igual a 10,0m, conforme especificações técnicas detalhadas no Desenho VH-U UZT-001003.

## 9.2 Drenagem Superficial

O projeto de drenagem para a área prevê a captação das águas pluviais através de 4 canaletas quadradas e 3 escadas hidráulicas.

O valor da precipitação local e dos seus critérios de cálculo foram fornecidos pela ELETRONUCLEAR, considerando os estudos e reavaliações devido ao evento Fukushima.

Desta forma, foram considerados para dimensionamento da drenagem superficial:

- i. I : intensidade de precipitação = 311,07mm/h;
- ii. TR: tempo de recorrência (anos) = 10.000 anos;
- iii. T<sub>c</sub>: tempo de concentração = 15 minutos.

### 9.2.1 Dimensionamento das Canaletas – Equação de Vazão

Para a obtenção das vazões foi utilizado o Método Racional, cuja equação em unidades métricas é:

$$Q = 0,00278 \times C \times i \times A$$

Onde:

Q : vazão (m<sup>3</sup>/s);

C : coeficiente de escoamento superficial (adimensional), expresso pela razão entre o volume de água que escoou e o volume precipitado. Foi considerado C = 0,83 para as canaletas e escadas hidráulicas, conforme critério da ELETRONUCLEAR;

i : intensidade de precipitação (mm/h);

A : área da bacia de contribuição (ha).

No dimensionamento das canaletas, foi considerada a seção plena do dispositivo, sem folga, conforme critério da ELETRONUCLEAR

O Anexo 11 apresenta o dimensionamento das canaletas do projeto de drenagem superficial da área de estudo através do programa Canal (2000) do GPRH da UFV, resultando em canaleta quadrada com 50cm de lado.

R3

### 9.2.2 Dimensionamento das Escadas Hidráulicas

Para o dimensionamento das escadarias hidráulicas foi utilizada a equação proposta pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR, 2006), dada por:

$$Q = 2,07 \times L^{0,9} \times H^{1,6}$$

Onde:

Q : vazão de escoamento (m<sup>3</sup>/s);

L : largura da escada (m);



H : altura do muro, contada a partir do bordo do degrau (m).

As escadas hidráulicas foram dimensionadas com 0,50m de largura e 0,40m de altura, resultando em uma capacidade de escoamento da escada igual a vazão de 0,26m<sup>3</sup>/s.

A vazão máxima calculada para as escadas hidráulicas é de 0,20m<sup>3</sup>/s e, portanto, a escada com 0,50 x 0,40m atende ao projeto.

O IPR recomenda que a altura da escada tenha uma folga de 20% considerando a altura crítica calculada através da seguinte equação:

$$Y_{CEH} = 0,467 \times \sqrt[3]{\frac{Q^2}{L}}$$

Portanto, tem-se que a altura crítica máxima calculada é de 0,20m, o que atende ao critério.

O Anexo 12 apresenta o dimensionamento das escadas hidráulicas do projeto de drenagem superficial da área de estudo através do programa Canal (2000) do GPRH da UFV.

R3

## 10 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As principais conclusões e recomendações deste relatório técnico são:

1. Antes das operações de desmonte deve ser realizado levantamento das edificações circunvizinhas e registrado na forma de Laudo Pericial;
2. Execução do desmonte a fogo cuidadoso do talude rochoso na área do Centro de Informações, adotando-se a técnica de pré-fraturamento para preservação da qualidade mecânica do maciço remanescente, conforme as especificações de projeto;
3. O ciclo de desmonte corresponde a 3 dias e as operações envolvidas atendem com conforto às recomendações da ABNT, normas NBR-9653 e NBR15928/2011, relativas à sobrepressão acústica (máxima de 134Db) e ao controle de vibrações (máxima de 15mm/s);
4. As medidas de segurança previstas correspondem ao bloqueio, evacuação da zona de influência do fogo e emissão de alarmes sonoros para aviso das atividades de detonação, as quais devem obrigatoriamente serem implementadas;
5. Para as operações de desmonte a fogo podem ser adotadas as estruturas de cobertura e proteção convencionais na base do talude, areia e camada de Blastmat, além do moderno sistema de atenuação de energia de impacto e proteção representado pelos painéis HEA 300  $\phi$  10 e chumbadores de crista e cabo de aço de topo para sustentação do conjunto de malhas;
6. O sistema de atenuação e proteção com painéis HEA 300  $\phi$  10 é capaz de atenuar a energia de impacto e ainda favorecer à queda controlada dos

R3

fragmentos resultantes da detonação até a base da escavação, evitando-se o ultra lançamento frontal e laterais e ainda reduzindo a área de depósito do material na base do talude;

7. O sistema de atenuação e proteção com painéis HEA 300  $\phi$  10 foi dimensionado em função das características do talude e do desmonte a fogo, fornecendo Fatores de segurança iguais a 3,93 para a malha do painel e 1,34 para o cabo de topo de fixação dos painéis, considerados adequados para a área da UAS;
8. Caso seja adotada a alternativa de proteção do desmonte com painéis HEA 300  $\phi$  10, os painéis e respectivas ancoragens de topo podem ser reaproveitados para revestimento permanente do talude remanescente, após o desmonte, caso apresentem boas condições de uso, sem comprometimento de desempenho;
9. As análises de estabilidade estáticas e pseudo estáticas do talude remanescente com as estruturas geológicas mapeadas em 2013 indicam que a ruptura potencial é do tipo em cunha com desprendimento de blocos;
10. A estabilização e proteção do talude remanescente é implementada com a instalação de painéis HEA 300  $\phi$ 10 e chumbadores sistemáticos com barra de aço de 32mm (550MPa) em furo de 75mm com comprimento mínimo de 4,0 e espaçamentos horizontal e vertical iguais a 2,25m e 2,00m, respectivamente;
11. O painel HEA para proteção do talude remanescente é associado ao revestimento com tela metálica simples de dupla torção, favorecendo a retenção de fragmentos e blocos de volumes reduzidos;
12. O sistema de HEA 300  $\phi$ 10 e chumbadores fornece um Fator de Segurança de 1,57 para a estabilização com chumbadores e de 8,91 para o revestimento do talude rochoso com malha metálica em estado limite último, sendo adequados e confortáveis para a área da UAS;
13. Caso constatada a necessidade de estabilização de blocos desconfiados de grandes dimensões, foram dimensionados contrafortes atirantados sob solicitações estáticas e pseudo dinâmicas com 0,1g de coeficiente sísmico;
14. Em relação à estabilização do talude, outras medidas de engenharia, tais como chumbadores localizados, poderão ser recomendadas pela fiscalização, com o objetivo de aumentar a segurança e estabilidade do local;
15. Os chumbadores localizados consistem em barra de aço de 32mm (550MPa) em furo de 75mm com comprimento mínimo de 4,0;
16. O sistema de drenagem superficial foi projetado com os parâmetros de precipitação pluviométrica fornecidos pela ELETRONUCLEAR, sendo composto por 4 canaletas quadradas com 50cm de lado e 3 escadas hidráulicas com 0,50 x 0,40 m;
17. O sistema de drenagem profunda é composto por uma linha horizontal de DHPs, Drenos Horizontais Profundos espaçados de 10,0m com 10,0 de comprimento, localizada a 1,0m da base dos taludes, com diâmetro de perfuração mínimo de 75 mm;
18. O plano de fogo, assim como o tratamento do talude serão avaliados no decorrer da obra podendo sofrer ajustes. Esta avaliação será realizada pela

R3

R3

R3

GEOPHI Engenharia LTDA, responsável pelo acompanhamento técnico da obra;

19. Sismografia nos locais correspondentes às edificações frontais ao talude, Centro de Informações, na Rodovia e na Usina Angra 2.

Recomenda-se a completa execução das obras de desmonte, estabilização, proteção e drenagem do talude rochoso na área da UAS conforme o projeto e o detalhamento apresentados nos desenhos para a garantia das condições técnicas e de segurança das obras.

## 11 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Os documentos consultados e referenciados nesta memória de cálculo são:

ABNT (1982) NBR 7497 Vibrações mecânicas e choques

ABNT (1983) NBR 8044 Projeto Geotécnico - Procedimento.

ABNT (2006) NBR 5629 Execução de Tirantes Ancorados no Terreno.

ABNT (2009) NBR 11682. Estabilidade de encostas.

ABNT (1999) NBR 9652 Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas – Procedimento.

ABNT (2005) NBR-9653 Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo Uso de Explosivos nas Minerações em Áreas Urbanas.

ABNT (2014) NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.

Bacci, D.C. (2000) Vibrações geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rochas: Avaliação dos parâmetros físicos do terreno e dos efeitos ambientais, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

Berta, G. (1985) L'esplosivo strumento di lavoro, ITALESPLOSIVI - Milano. 1ª ed., 488p.

Bieniaswki, Z T (1989) Engineering Rock Mass Classifications – A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering, John Wiley & Sons.

CNEN (1980) Segurança de Sistemas de Barragem de Rejeitos contendo Radionuclídeos, Norma CNEN NE 1.10, Resolução CNEN 07/1980.

CNEN (1990) Seleção e Escolha de Locais para Depósitos de rejeitos Radioativos, Norma CNEN NE 6.06, Resolução CNEN 014/89.

CNEN (2002) Critérios de aceitação para Deposição de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação, Norma CNEN NN 6.09, Resolução CNEN 012/02.

CPRM (2003) Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro, 1:1.000.000. Serviço Geológico do Brasil.

ENSREG (2015) Post Fukushima Accident – Peer review country report – France, European Nuclear Safety Regulations Group.

ETN - BP-U-6501-170005 - GEOPHI - Relatório Geológico-Geotécnico da Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado – UFC.

ETN - BP-U-6501-170002 - GEOPHI – Projeto de Execução e Análises de Trincheiras na Área da UAS, GPHI-PJ58-RT-415-03-000).

ETN - BP-U-6501-170003 - UFRRJ - Mapeamento Geológico-Geotécnico de Detalhe do Talude – UFC, Relatório Técnico.

ETN - BP-U-6501-170004 - TECNOSONDA – Investigações Geotécnicas, RE-366-12.

ETN - DS-U-6530-000001—Projeto Executivo das Atividades Preparatórias do Local de Implantação da Unidade de Armazenamento Complementar a Seco de Elementos Combustíveis Irrradiados – UAS.

Goodman, R.E. (1976), Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rocks, West.

Guidicini, G.; Nieble, C. M., (1983) Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. Editora Edgard Blucher. São Paulo. P. 107.

Hoek, E. & Bray, J.W. (1981), Rock Slope Engineering, Inst. of Min. and Metall., London.

IAEA (2004) Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants, Safety Guide No. NS-G-3.6.

IAEA (2016) Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No, NS-R-3 (Rev. 1).

IPR (2006) Manual de drenagem de Rodovias. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, IPR, Publ. 724, 2. ed., Rio de Janeiro, 333p.

ISRM (1981) Basic Geotechnical Description of Rock Masses. International Society for Rock Mechanics.

Programa Canal (2000) GPRH - Grupo de Pesquisa de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa.

Programa Plúvio 2.1 (2005) GPRH - Grupo de Pesquisa de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa.

Schillinger, R.R. (1994) Blasting vibrations and other environmental effects of blasting works. EXPLOSIVES 94 – Conf. Proc., University of Leeds, U.K., Institute of Explosives Engineers and Mineral Engineering, p. 15-26.

Scott, A. (1996) Open pit blast design, C.T.J. Napier Munn Editor, University of Queensland, Austrália, 339 p.

Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., Dowding, C.H. (1980) Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting. Report of Investigation 8507 USBM - United States Bureau of Mines, 74 p.

## 12 DESENHOS DE PROJETO

Este documento é acompanhado dos seguintes Desenhos Técnicos:

1. VH-U UZT-001000 – PLANTA DE LOCAÇÃO, VISTA FRONTAL E SEÇÃO TÍPICA;
2. VH-U UZT-001001 – LOCAÇÃO DA TERRAPLENAGEM;
3. VH-U UZT-001002 – SEÇÕES;
4. VH-U UZT-001003 – DETALHES – TIRANTES, DHP's E PAINEL DE PROTEÇÃO DO TALUDE;
5. VH-U UZT-001004 – DETALHES – PAINEL HEA;
6. VH-U UZT-001005 – FORMA E ARMADURA - DRENAGEM E CONTRAFORTES;
7. VH-U UZT-001006 – PLANO DE FOGO - BANCADA 31,0m - ESQUEMA GERAL;
8. VH-U UZT-001007 – PLANO DE FOGO - BANCADA 31,0m - 1ª E 2ª DETONAÇÃO;
9. VH-U UZT-001008 – PLANO DE FOGO - BANCADA 31,0m - 3ª E 4ª DETONAÇÃO;
10. VH-U UZT-001009 – SEQUÊNCIA EXECUTIVA.

R3

## **ANEXOS**

- ANEXO 1      DIMENSIONAMENTO DO PLANO DE FOGO**
- ANEXO 2      TABELAS DE PLANO DE FOGO**
- ANEXO 3      PERMISSÃO PARA AVANÇO DAS ESCAVAÇÕES - PAVE**
- ANEXO 4      DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO DE DESMONTE - HEA 300  $\phi$  10**
- ANEXO 5      ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS – HEA 300  $\phi$  10**
- ANEXO 6      PROCEDIMENTO EXECUTIVO DE CHUMBADOR**
- ANEXO 7      ANÁLISES DE ESTABILIDADE DE CUNHAS**
- ANEXO 8      DIMENSIONAMENTO DA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE HEA 300  $\phi$  10**
- ANEXO 9      DIMENSIONAMENTO DE CONTRAFORTE ATIRANTADO**
- ANEXO 10     PROCEDIMENTO EXECUTIVO DE TIRANTE**
- ANEXO 11     DIMENSIONAMENTO DAS CANALETAS**
- ANEXO 12     DIMENSIONAMENTO DAS ESCADAS HIDRÁULICAS**

R3

**ANEXO 1**

**DIMENSIONAMENTO DO PLANO DE FOGO**

## Anexo 1 Dimensionamento do Plano de Fogo

### A1.1. Plano de Fogo Teórico

O dimensionamento do plano de fogo considera 2 condições fundamentais: a velocidade de partícula máxima na edificação acima do corte a ser implantado e no primeiro arco frontal é igual a 15 mm/s e a sobrepressão acústica nos mesmos locais e no bloqueio mais próximo da rodovia é igual 134 Db.

Foram estabelecidos os seguintes parâmetros para o dimensionamento do talude em gnaiss são a fraturado:

- i. Altura da Bancada: 8,20m;
- ii. Diâmetro de Perfuração: 76mm (3");
- iii. Ângulo de Inclinação dos Furos: 10°;
- iv. Explosivo Utilizado: Encartuchado, densidade  $\rho = 1,15 \text{ g/cm}^3$ . Presença de água. Note-se que não pode ser usado ANFO e emulsão bombeada;
- v. Diâmetro do explosivo: 2 ½ x 24" (64mmx610mm) com 2.083,0g;
- vi. Densidade da Rocha: 2,6 g/cm<sup>3</sup>.

### 1. Cálculo do Afastamento

$$A = 0,0123 [2 (pe/ pr) + 1,5] De$$

$$A = 0,0123 [(2 (1,15/2,6) + 1,5] 64$$

$$A = 1,87\text{m}$$

$$\text{Adotado } A = 1,90 \text{ m}$$

### 2. Cálculo do Espaçamento

$$E = 0,23 (Hb + 2A) = 0,23 (8,2 + 3,8)$$

$$E = 2,76 \text{ m}$$

$$\text{Adotado } E = 2,70 \text{ m}$$

Desta forma, a malha de perfuração corresponde a 1,90 x 2,70, com área de 5,13 m<sup>2</sup>.

### 3. Cálculo da SubFuração

$$S = 0,30 (\text{menor } A \text{ ou } S) = 0,30 \times 1,90$$

$$S = 0,57 \text{ m}$$

$$\text{Adotado } S = 0,60 \text{ m}$$



#### 4. Cálculo da Profundidade dos Furos

$$H_f = (H_b + S) / \cos \alpha = (8,20 + 0,60) / \cos 10 = 8,94 \text{ m}$$

$$\text{Adotado } H_f = 8,90 \text{ m}$$

#### 5. Cálculo do Tamponamento

$$T = 0,70 A = 0,70 \cdot 1,90 = 1,33 \text{ m}$$

Porém com carga reduzida para redução de ultralançamentos, o tampão adotado é igual a 1,53 m

$$\text{Tampão Vazio} = 0,80 T = 1,22 \text{ m}$$

$$\text{Adotado Tampão vazio} = 1,20 \text{ m}$$

$$\text{Tampão preenchido com bucha e areia} = 0,33 \text{ m}$$

Instala-se a bucha que funciona como *Air Deck* e preenche-se o restante com areia ou pó de pedra.

#### 6. Cálculo da Razão Linear de Carregamento

$$RI = \pi D_e^2 p_e / 4000 = 3,14 (64)^2 \cdot 1,15 / 4000$$

$$RI = 3,70 \text{ Kg/m}$$

#### 7. Cálculo da Carga de Explosivos (CE)

$$CE = RI (H_f - T) = 3,70 (8,90 - 1,53)$$

$$CE = 27,27 \text{ Kg}$$

#### 8. Cálculo do Volume de Rocha por Furo

$$V_f = (H_b / \cos 10) A E = (8,20 / \cos 10) 1,9 \cdot 2,7$$

$$V_f = 42,71 \text{ m}^3$$

#### 9. Cálculo da Razão de Carregamento (RC):

$$RC = CE / V_f = 28,0 / (42,71 \cdot 2,6) = 248,84 \text{ g/t} = 0,639 \text{ Kg/m}^3$$

## A1.2. Carga Máxima por Espera (CME)

É a maior carga, quantidade de explosivos, que será detonada no plano de fogo num mesmo instante.

A CME é uma das principais responsáveis pelas vibrações e emissão de barulho num plano de fogo. Assim, esta carga deverá ser limitada e condicionada à limites de segurança das edificações lindeiras.

### 1. Definição da Máxima Carga em Função da Velocidade de Partícula

A velocidade de partícula num ponto é função da relação entre a carga de explosivos num dado instante, coeficiente K do material a ser detonado e distância. A carga máxima é calculada para que a vibração nas edificações vizinhas ao talude rochoso seja de aproximadamente 15 mm/s. Este valor deve ser confirmado com as primeiras detonações.

A velocidade de partícula é determinada por:

$$V_p = k.Q.R^{3/2}$$

Onde:

V<sub>p</sub>: velocidade de partícula no ponto (mm/s);

Q: Carga máxima por espera (Kg);

R: Distância da estrutura alvo a ser analisada (m);

K: Constante da qualidade da rocha. Para gnaisses e granitos, utiliza-se K entre 400 e 600, sendo adotado para o dimensionamento o valor de 400.

Considerando que as edificações frontal e sobrejacente ao maciço apresentam distâncias similares em relação ao talude e adotando-se um valor igual a 90m, e que a velocidade de partícula é igual a 15 mm/s (valor muito inferior ao limite de 50mm/s da NBR 9653), a quantidade de explosivos é dada por:

$$V_p = k.Q.R^{3/2}$$

$$15 = 400.Q/90^{1,5}$$

$$Q = 32,01 \text{ Kg}$$

Como a carga de explosivo de cada furo é igual a 28,0 Kg, o plano de fogo a ser dimensionado deverá ser previsto sendo detonado furo a furo.

A partir dos resultados das primeiras detonações, e sendo considerados satisfatórios quanto à velocidade de partículas, poderá ser analisada a opção de detonação simultânea de 2 furos (2 furos no mesmo instante). A razão de carregamento 0,639 Kg/m<sup>3</sup> é adequada em termos de limites de

segurança, ressaltando que esta razão varia em função do número de fogos e da conformação do maciço.

As colunas do fogo correspondem ao Brinel de 9m de comprimento, amarração com Brinel de Ligação de 9 ou 12m e iniciação através do Brinel Iniciador, tipo *lead in line*, de 300-500m. Note-se que Brinel é marca registrada da Britanite-IBQ. Outros produtos semelhantes de mesma qualidade também podem ser escolhidos, tais como os fabricados por Orica e Maxxam, ou similar. O tempo do Brinel de Ligação é adotado igual a 17 ms.

As características de numeração e tempos de retardo são apresentadas na Figura A1.1 e Figura A1.2, respectivamente.

CARACTERÍSTICAS									
Numeração	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>05</b>	<b>06</b>	<b>07</b>	<b>08</b>	<b>09</b>
Tempo de retardo (ms)	25	50	75	100	125	150	175	200	225
Numeração	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>28</b>
Tempo de retardo (ms)	250	275	300	350	400	450	500	600	700
Numeração	<b>34</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>120</b>	<b>140</b>
Tempo de retardo (ms)	850	1000	1250	1500	1750	2000	2500	3000	3500
Numeração	<b>160</b>	<b>180</b>	<b>200</b>	<b>240</b>	<b>272</b>	<b>300</b>	<b>332</b>		
Tempo de retardo (ms)	4000	4500	5000	6000	6800	7500	8300		

Figura A1.1. Numeração dos tempos de retardo não elétricos.

CARACTERÍSTICAS					
Numeração	01	89	90	91	92
Cores	azul	branco	amarelo	branco	branco
Tempo de retardo (ms)	25	09	17	42	84
Tipo de espoleta	carga reduzida				
Tipo de conector	multiconector				
Metragem (m)	3,2 - 4,8 - 6	9		12	
Unidades por embalagem (pç)	100	150		100	
Dimensões da embalagem (CxLxA) (cm)	62 x 31 x 25	62 x 31 x 45			
Empilhamento máximo (cx)	8	4			
Tipo de embalagem	caixa de papelão				
Validade (anos)	2				
FISPQ	01.07				
ONU	0360 ou 0361				
Classe de risco	1.1B ou 1.4B (sob consulta)				

OBS.: Outras metragens podem ser adquiridas mediante consulta.

Figura A1.2. Tempos do Brinel de Ligação.

**ANEXO 2**

**TABELAS DE PLANO DE FOGO**

ANEXO 2 Tabela 1 de Plano de Fogo.

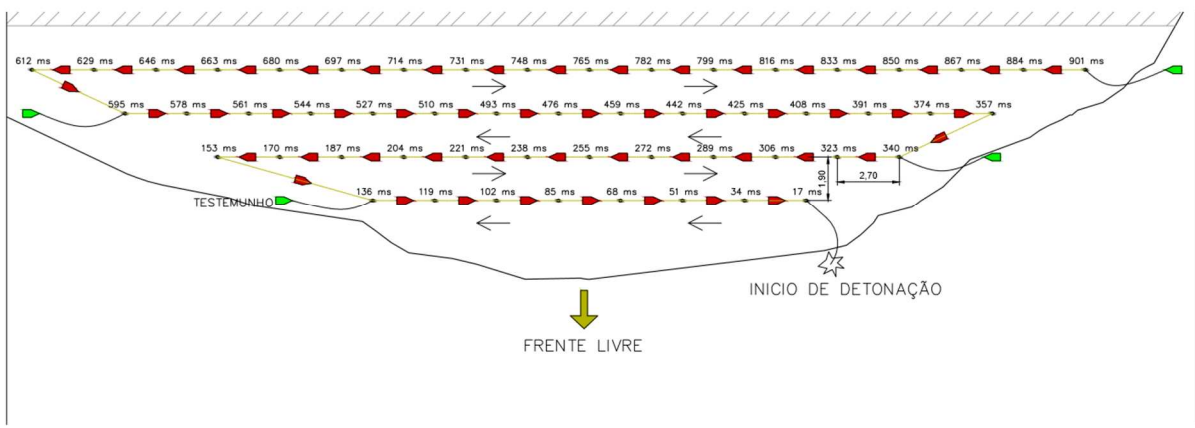
Cadastro de detonação tipo 1			
Local	Fogo n° 01		Data
	Horário		Folha n°
<b>Malha (ExA) <sup>1</sup> (mxm)</b>		<b>Previsto</b>	<b>Executado</b>
Altura da bancada		8,20	
Profundidade perfurada (m)		471,70	
Total de furos		53	
Profundidade média (m)		8,90	
Subfuração média (m)		0,60	
Diâmetro dos furos	cm	0,076	
	pol	3"	
inclinação dos furos		10°	
Volume teórico deslocado (m³)		2.523,14	

Explosivo	1	2	3	Observações
Nome	IBEGEL			
Tipo	Encartuchado			
Posição no Furo (cm)	0,061			
Dimensões (pol)	2 1/2"x24"			
Peso do Cartucho (Kg)	2,083			
Total utilizado (Kg)	1.435,19			

Total geral de explosivo (Kg):	1.435,19	Cordel detonante (m)	
Razão de carregamento (Kg/m³)	0,569	Espera da carga máxima:	17 ms
Carga máxima por espera (Kg)	27,079	Número de furos da carga máxima:	1
Retardos utilizados	Tempo	17 ms	
	Quantidade	53	

Método de iniciação: Lead in line com 300m de comprimento
Método de tamponamento: Sistema Air Deck, com bucha e complemento de areia, sendo T vazio = 1,20 m e T preenchido = 0,33m
Tipo de proteção: Cobertura com 1,5m de areia, mantas tipo blastmat e HEA
Tipo de material detonado
Fragmentação resultante
Condições meteorológicas
Observações
<sup>1</sup> : E = espaçamento; A = afastamento

ANEXO 2 Tabela 1 de Plano de Fogo (cont.).

<b>Cadastro de Detonação tipo 1 ( continuação)</b>	
<b>Croqui da ligação</b>	
	
<b>Croqui da localização</b>	
Espaço reservado para o croqui de localização	
<b>Observações</b>	
Espaço reservado para observações	

ANEXO 2 Tabela 2 de Plano de Fogo.

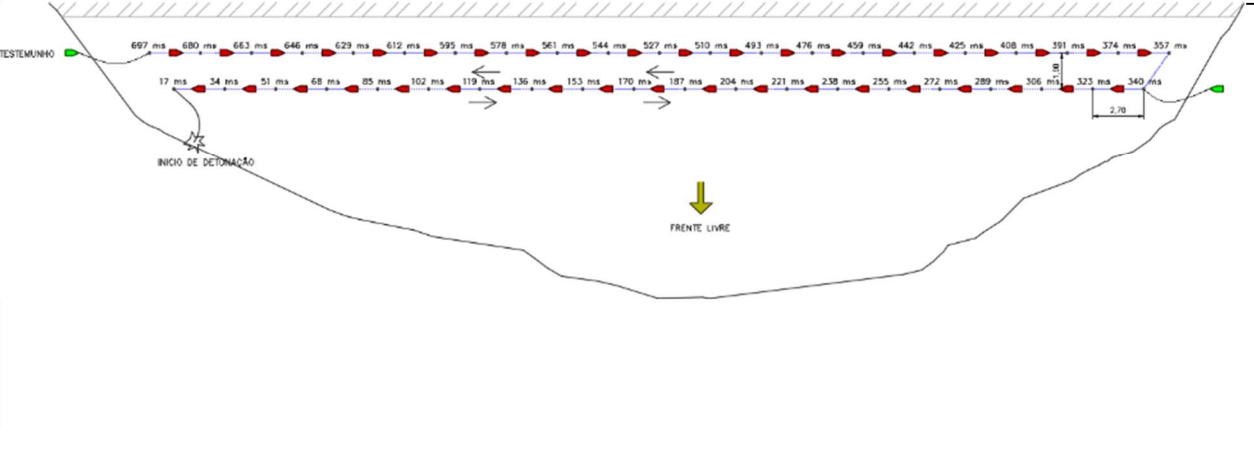
Cadastro de detonação tipo 1			
Local	Fogo n° 02		Data
	Horário		Folha n°
<b>Malha (ExA) <sup>1</sup> (mxm)</b>		<b>Previsto</b>	<b>Executado</b>
Altura da bancada		8,20	
Profundidade perfurada (m)		364,90	
Total de furos		41	
Profundidade média (m)		8,90	
Subfuração média (m)		0,60	
Diâmetro dos furos	cm	0,076	
	pol	3"	
inclinação dos furos		10°	
Volume teórico deslocado (m³)		1.775,63	

Explosivo	1	2	3	Observações
Nome	IBEGEL			
Tipo	Encartuchado			
Posição no Furo (cm)	0,061			
Dimensões (pol)	2 1/2"x24"			
Peso do Cartucho (Kg)	2,083			
Total utilizado (Kg)	1.110,24			

Total geral de explosivo (Kg):	1.110,24	Cordel detonante (m)	
Razão de carregamento (Kg/m³)	0,625	Espera da carga máxima: 17 ms	
Carga máxima por espera (Kg)	27,079	Número de furos da carga máxima: 1	
Retardos utilizados	Tempo	17 ms	
	Quantidade	43	

Método de iniciação: Lead in line com 300m de comprimento
Método de tamponamento: Sistema Air Deck, com bucha e complemento de areia, sendo T vazio = 1,20 m e T preenchido = 0,33m
Tipo de proteção: Cobertura com 1,5m de areia, mantas tipo blastmat e HEA
Tipo de material detonado
Fragmentação resultante
Condições meteorológicas
Observações
<sup>1</sup> : E = espaçamento; A = afastamento

ANEXO 2 Tabela 2 de Plano de Fogo (cont.).

<b>Cadastro de Detonação tipo 1 ( continuação)</b>
<p><b>Croqui da ligação</b></p>  <p>TESTEMUNHO</p> <p>INICIO DE DETONAÇÃO</p> <p>FRENTE LIVRE</p> <p>2.70</p>
<p><b>Croqui da localização</b></p>
<p><b>Observações</b></p>



ANEXO 2 Tabela 3 de Plano de Fogo.

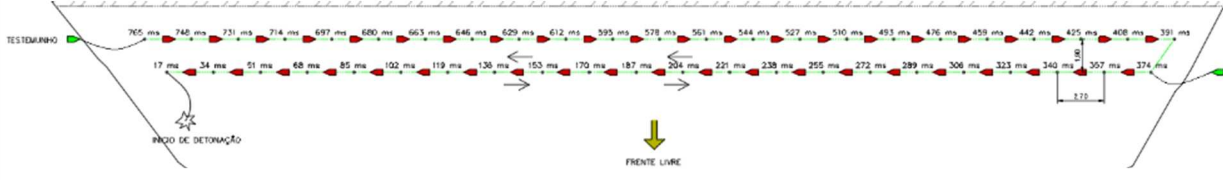
Cadastro de detonação tipo 1			
Local	Fogo n° 03		Data
	Horário		Folha n°
<b>Malha (ExA) <sup>1</sup> (mxm)</b>		<b>Previsto</b>	<b>Executado</b>
Altura da bancada		8,20	
Profundidade perfurada (m)		400,50	
Total de furos		45	
Profundidade média (m)		8,90	
Subfuração média (m)		0,60	
Diâmetro dos furos	cm	0,076	
	pol	3"	
inclinação dos furos		10°	
Volume teórico deslocado (m³)		1.938,73	

Explosivo	1	2	3	Observações
Nome	IBEGEL			
Tipo	Encartuchado			
Posição no Furo (cm)	0,061			
Dimensões (pol)	2 1/2"x24"			
Peso do Cartucho (Kg)	2,083			
Total utilizado (Kg)	1.218,56			

Total geral de explosivo (Kg):	1.218,56	Cordel detonante (m)	
Razão de carregamento (Kg/m³)	0,629	Espera da carga máxima: 17 ms	
Carga máxima por espera (Kg)	27,079	Número de furos da carga máxima: 1	
Retardos utilizados	Tempo	17 ms	
	Quantidade	47	

Método de iniciação: Lead in line com 300m de comprimento
Método de tamponamento: Sistema Air Deck, com bucha e complemento de areia, sendo T vazio = 1,20 m e T preenchido = 0,33m
Tipo de proteção: Cobertura com 1,5m de areia, mantas tipo blastmat e HEA
Tipo de material detonado
Fragmentação resultante
Condições meteorológicas
Observações
<sup>1</sup> : E = espaçamento; A = afastamento

ANEXO 2 Tabela 3 de Plano de Fogo (cont.).

<b>Cadastro de Detonação tipo 1 ( continuação)</b>	
<b>Croqui da ligação</b>	
	
<b>Croqui da localização</b>	
Espaço reservado para o croqui de localização	
<b>Observações</b>	
Espaço reservado para observações	

ANEXO 2 Tabela 4 de Plano de Fogo.

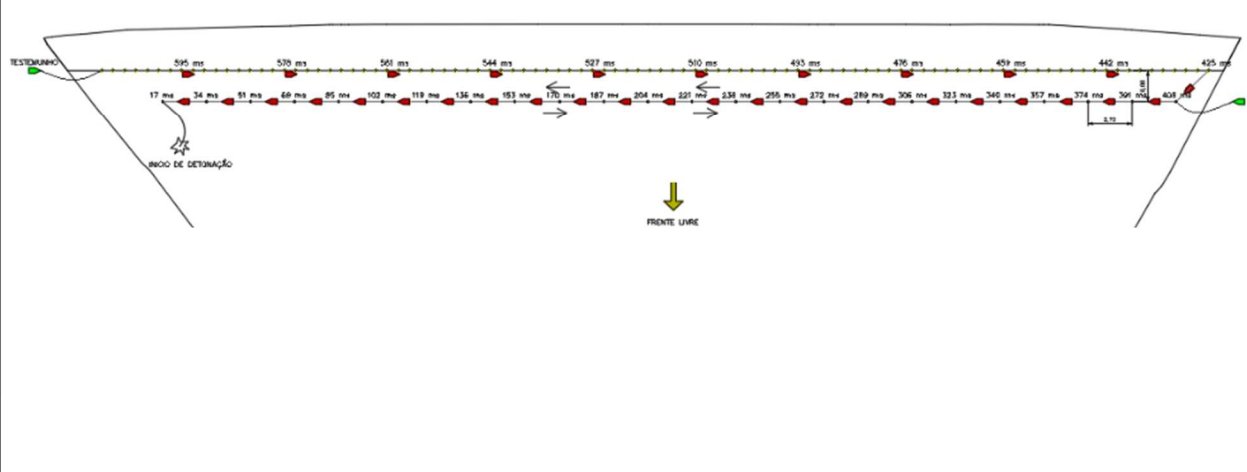
Cadastro de detonação tipo 1			
Local	Fogo n° 04		Data
	Horário		Folha n°
<b>Malha (ExA) <sup>1</sup> (mxm)</b>			
Altura da bancada		Previsto	Executado
		8,20	
Profundidade perfurada (m)		1017,20	
Total de furos		122,00	
Profundidade média (m)		8,90	
Subfuração média (m)		0,60	
Diâmetro dos furos	cm	0,076	
	pol	3"	
inclinação dos furos		10°	
Volume teórico deslocado (m³)		2.099,53	

Explosivo	1	2	3	Observações
Nome	IBEGEL	IBEGEL		
Tipo	Encartuchado	Encartuchado		
Posição no Furo (cm)	0,061	0,061		
Dimensões (pol)	2 1/2"x24"	1 1/4"x16"		
Peso do Cartucho (Kg)	2,083	0,532		
Total utilizado (Kg)	649,90	52,14		

Total geral de explosivo (Kg):	749,07	Cordel detonante (m)	803,6
Razão de carregamento (Kg/m³)	0,357	Espera da carga máxima:	17 ms
Carga máxima por espera (Kg)	27,079	Número de furos da carga máxima:	1
Retardos utilizados	Tempo	17 ms	
	Quantidade	122	

Método de iniciação: Lead in line com 300m de comprimento
Método de tamponamento: Sistema Air Deck, com bucha e complemento de areia, sendo T vazio = 1,20 m e T preenchido = 0,33m
Tipo de proteção: Cobertura com 1,5m de areia, mantas tipo blastmat e HEA
Tipo de material detonado
Fragmentação resultante
Condições meteorológicas
Observações
<sup>1</sup> : E = espaçamento; A = afastamento

ANEXO 2 Tabela 4 de Plano de Fogo (cont.).

<b>Cadastro de Detonação tipo 1 ( continuação)</b>	
<b>Croqui da ligação</b>	
	
<b>Croqui da localização</b>	
Espaço reservado para o croqui de localização	
<b>Observações</b>	
Espaço reservado para observações	

**ANEXO 3**

**PERMISSÃO PARA AVANÇO DAS ESCAVAÇÕES - PAVE**

**ANEXO 3 Permissão para Avanço das Escavações - PAVE**

		PERMISSÃO DE AVANÇO DE ESCAVAÇÃO			Cód.	
		ESCAVAÇÃO EM ROCHA COM DETONAÇÃO			Rev.:	
<b>Legenda</b>						
S = SIM	FRENTE:	PLANO DE FOGO Nº:				
N = NÃO						
NA = NÃO APLICAVEL	DATA: ____/____/____					
PROCESSOS	Nº.	ITEMS VERIFICADOS	SITUAÇÃO PARA AVANÇO			ASSINATURAS
			S	N	NA	
ESCAVAÇÃO EM ROCHA COM DETONAÇÃO	ATO	1 O maciço está estável para dar continuidade a escavação?				_____ ATO
		2 As leituras da instrumentação indicam condições que permitam o avanço?				
	SEGURANÇA DO TRABALHO	3 Foi abordado durante o TDT os procedimentos de segurança para cada uma das atividades previstas para o turno?				_____ Tec. Segurança Turno
		4 Os EPIs estão disponíveis a todos operários?				
		5 Os EPCs são adequados para o tipo de atividade?				
		6 As estruturas de apoio estão em condições seguras (andaimes, plataformas, escadas, etc.)?				
		7 A equipe de apoio (Medicina, Trânsito e Comunicação) estão preparadas para atuarem?				
		8 Há sinalização e isolamento adequado na área de risco?				
		9 Foram retirados pessoas, veículos, máquinas e equipamentos, e demais materiais passíveis de danos na área de risco?				
	PRODUÇÃO	10 A área a ser detonada está limpa de materiais rochosos soltos?				_____ Encarregado Geral
		10 A área de risco foi delimitada de acordo com o Plano de Fogo?				
		11 Cobertura de proteção do carregamento foi executada corretamente e foi verificada				
		12 Todos os itens do Plano de Fogo foram atendidos?				
		13 Todos os materiais de contingência estão disponíveis?				
	QUALIDADE	14 Foram aplicados todos os tratamentos necessários para liberação do avanço? Caso da Bancada Final				_____ Tec. Qualidade Turno
15 Os requisito para realização dos controles tecnológicos necessários estão disponíveis?						
Com base nas informações fornecidas, foram verificadas as condições da frente sobre minha responsabilidade e as mesmas são satisfatórias para o avanço das escavações. Fogo Autorizado?			SIM			
			NÃO	_____ Eng. Responsável da Frente		
VERIFICAÇÃO PÓS DETONAÇÃO						
BLASTER	16 O primeiro acesso à área de risco foi feito pelo Blaster?				_____ Blaster	
	17 Foi encontrado algum fogo falho?					
	18 Se sim, foram recolhidos os resíduos de detonação?					
	19 A área está liberada para o acesso dos colaboradores?					
Observações ou providências tomadas:						

**ANEXO 4**

**DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO DE DESMONTE - HEA**

Anexo 4 Memória de cálculo do sistema de proteção para desmonte do talude rochoso com painel HEA 300  $\phi$ 10

**MACRO Studio · MACRO 2 Revestimento Simples**

Rock and Soil Slope Protection Design Software

**MACCAFERRI**

www.maccferri.com

Cliente **ELETRONUCLEAR / PJ 77**

pag. 1 of 2

● **Informações de Projeto**

**Título** PROTEÇÃO HEA PARA DESMONTE - TALUDE UAS **Description:** Proteção com painel HEA para desmonte a fogo do talude na área da UAS  
**Numero** PJ 77  
**Cliente** ELETRONUCLEAR  
**Autor/projetista** GEOPHI Engenharia

● **Dados de Entrada**

**Talude Rochoso**

Inclinação do talude	B	70
Altura total do talude [m]	Hs	33.00
Altura do acúmulo de detritos [m]	Hd	1.50
Largura do acúmulo de detritos [m]	Td	1.50
Ângulo dos detritos acumulados	Bd	34.95
Ângulo de atrito dos detritos		20.00
Peso unitário dos detritos [kN/m³]		26.00
Ângulo de atrito entre a malha e o talude		18.00

**Neve**

Peso unitário da neve [kN/m³]	4
Espessura de neve [m]	0

**Malha**

Tipo de malha	<b>HEA 300 Ø 10</b>
Resistência à tração da malha [kN/m]	290.00
Peso unitário da malha [Kg/m²]	2.95

**Cabo de suporte + Ancoragens**

**Layout da instalação das ancoragens**

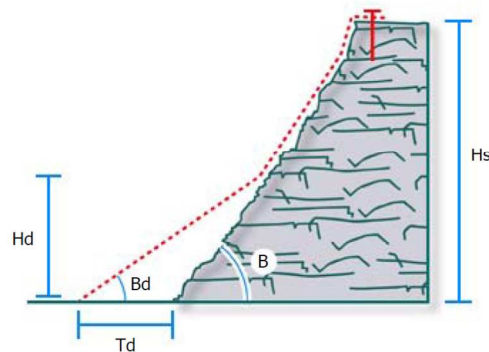
Espaço Horizontal entre ancoragens [m]	2.25
Espaço Vertical entre ancoragens [m]	0.00

**Especificação do cabo de suporte**

Diâmetro do cabo [mm]	<b>22</b>
Tensão de escoamento do aço [MPa]	1770
Alma do cabo	Steel
Resistência à tração do cabo [kN]	305

**Especificação da Ancoragem**

Tipo de Barra	<b>Barra de Aço CA-50</b>
Diâmetro interno [mm]	0
Diâmetro externo [mm]	32
Espessura de corrosão [mm]	0
Tensão de escoamento do aço [MPa]	500
Tensão de adesão nata-rocha [MPa]	0.50



**Coefficiente de segurança**

**Talude Rochoso**

Coefficiente de segurança para cargas variáveis	1.50
Coefficiente de segurança para cargas permanentes	1.30

**Malha**

Coefficiente de redução da resistência da malha	2.00
-------------------------------------------------	------

**Geometria do cabo longitudinal de topo**

Coefficiente de redução na distância X	1.10
Coefficiente de redução na distância Y	1.05

**Cabo**

Coefficiente de redução da resistência do cabo	2.00
------------------------------------------------	------

**Tipo de Ancoragem**


Coefficiente da resistência do aço	1.16
Coefficiente de redução para a adesão nata-rocha	2.00



Anexo 4 Memória de cálculo do sistema de proteção para desmonte do talude rochoso com painel HEA 300  $\phi$ 10

## MACRO Studio · MACRO 2 Revestimento Simples

Rock and Soil Slope Protection Design Software



www.maccafferri.com

---

Cliente **ELETRONUCLEAR / PJ 77**
pag. 2 of 2

**• Resultados / Verificações**

---

*Verificação da Malha*

<b>3.93</b>	Satisfatório
-------------	--------------

*Verificação do Cabo de Topo*

<b>1.34</b>	Satisfatório
-------------	--------------

*Ancoragem Intermediária*

<b>3.23</b>	Satisfatório
-------------	--------------

*Ancoragem Lateral*

<b>1.76</b>	Satisfatório
-------------	--------------

**Dimensionamento da malha**

Tensão total calculada [kN/m]	36.86
Resistência à tração admissível [kN/m]	145.00
Relação Resistência-Tensão	3.93
Carga total dos detritos [kN/m]	23.84
Carga total da neve [kN/m]	0.00
Carga total da malha [kN/m]	0.84
Tensão resultante no sistema [kN/m]	24.68
Peso máximo dos detritos na malha [kN/m]	105.04

**Dimensionamento do cabo**

Tensão máxima no cabo [kN]	113.88
Carga de trabalho do cabo (Nominal) [kN]	152.50
Relação Carga-Força do cabo	1.34
Força máxima nas ancoragens intermediárias [kN]	61.89
Força máxima nas ancoragens laterais [kN]	113.88
Distância máxima admitida entre ancoragens [m]	2.48
Comprimento do cabo entre ancoragens [m]	2.51
Deformação máxima entre ancoragens adjacentes [m]	0.17
Peso máximo dos detritos no cabo [kN/m]	35.20

**Dimensionamento das ancoragens superiores**

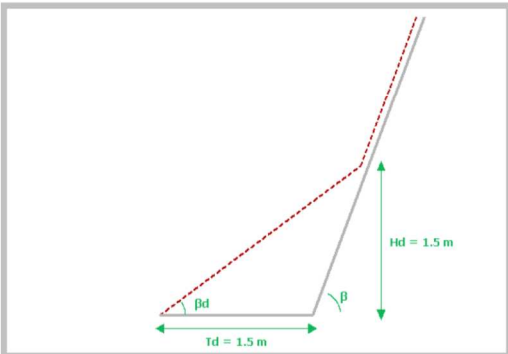
**Ancoragens intermediárias**

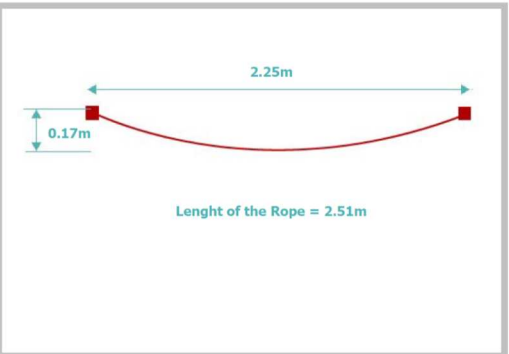
Força máxima nas ancoragens intermediárias [kN]	61.89
Resistência de cisalhamento de trabalho [kN]	200.14
Relação Carga-Força na ancoragem	3.23
<b>Ancoragens laterais</b>	
Força máxima nas ancoragens laterais [kN]	113.88
Resistência de cisalhamento de trabalho [kN]	200.14
Relação Carga-Força na ancoragem	1.76
Seção útil do aço [mm <sup>2</sup> ]	804.25
Resistência à tração de trabalho das ancoragens [kN]	346.66
Resistência à tração mínima requerida das ancoragens [kN]	113.88
Diâmetro mínimo de perfuração [mm]	75.00
Comprimento mínimo total da barra [m]	2.43
Peso máximo de detritos nas ancoragens [kN/m]	46.46

**Carga máxima admissível dos detritos**

Carga máxima admissível dos detritos [kN/m]	35.20
Volume máximo admissível dos detritos [m <sup>3</sup> ]	1.35


**Geometria**





---

MACRO Studio | Copyright© Maccaferri 2012-2016 | 2.5.04 | 2016 | Notice: Maccaferri is not responsible for the drawings and the calculations transmitted, since they should be intended as general design outlines and advice, aiming only to the best use of the products.

 **Eletronuclear**

Liberado eletronicamente por:  
DEC.T - ROQUE DE MELLO FERREIRA  
26/06/2018

**ANEXO 5**

**ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS – HEA 300  $\phi$ 10**

RELATÓRIO

PROJETO EXECUTIVO PARA O DESMONTE DO TALUDE ROCHOSO ATRÁS DO CENTRO DE INFORMAÇÕES DE ITAORNA

Anexo 5 Especificações Técnicas - HEA 300  $\phi$ 10

**SISTEMA MAC.RO. - HEA PANEL**  
SISTEMA DE ALTA RESISTÊNCIA CONTRA QUEDA DE ROCHAS

**HEA Panel (High Energy Absorption)** é formado por uma malha romboidal confeccionada em cabos de aço de alta resistência, com intersecções unidas pelo patenteado nó duplo, obtida por um par de fios de aço revestidos 3.00 mm Galfan, com liga de zinco/alumínio 5%.



HEA PANEL Aplicação

Dimensões Padrão dos Painéis			
Abertura da malha (mm)	Diâmetro do cabo de aço (mm)	Altura Painel H (m)	Comprimento Painel L (m)
300x300	10	até 5	até 10
400x400			

Tamanho do painel externo é nominal (tolerância  $\pm$  5%)  
Malhagem nominal (tolerância  $\pm$  10%)  
\* As outras dimensões do painel estão disponíveis mediante solicitação.



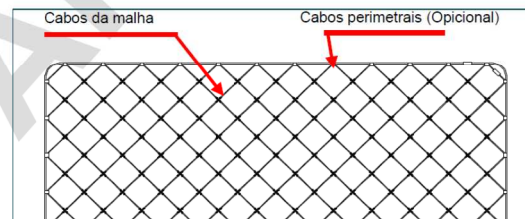
Detalhe do Nó

Nó	
Dois Pares de Fios	
Aço com Revestimento Galfan	EN 10244-2, Class A
Diâmetro (mm)	$\phi = 3$ (UNI EN 10218)
Carga de Ruptura do Cabo (N/mm <sup>2</sup> )	380 - 500

Nó - Resistência ao Rasgo	
Máxima Carga de Ruptura (kN)	<b>24.4</b>

Cabos de Aço	
Cabos de Aço da Malha	
Tipo de Cabo (diâmetro e construção) (EN 12385-2, EN 12385-4)	Diâmetro $\phi$ (mm)
	<b>10</b>
	6x19+WSC
Classe do Cabo (EN 12385-2)	1770 N/mm <sup>2</sup>

Revestimento do (acondicionamento e perimetral) cabo	
Norma	Plus
Revestimento de Zinco	Revestimento de Galfan (Zn-Al5%)
Classe B (EN 10264-2)	Classe A (EN 10264-2)



Detalhe da Estrutura do HEA Panel

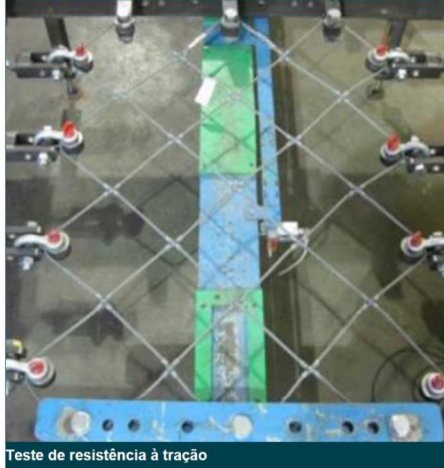
**Solicitação de Orçamento**

É necessário especificar:

- Tamanho do Painel (m);
- Abertura da Malha (mm);
- Diâmetro do Cabo Perimetral (mm);
- Revestimento Zinco nos cabos (Classe A ou B);

Exemplo 1:  
30 HEA Panels; 6X3m; 300X300mm; Diâmetro do Cabo 8mm; Diâmetro do Cabo Perimetral 12mm; Camada de Zinco Classe B.

Exemplo 2:  
60 HEA Panels; 5X4m; 400X400mm; Diâmetro do Cabo 10mm; Sem Cabo Perimetral; Camada de Zinco Classe A.



Teste de resistência à tração

Resistência à tração (UNI 11437)		
Malha nominal (mm)	Diametro do cabo de enrolamento (mm)	Resistência à tração nominal (kN/m)
300x300	10	290
400x400	10	220



Teste de resistência à punção

Resistência de Puncionamento (UNI 11437)			
Malha nominal (mm)	Diametro do cabo de enrolamento (mm)	Carga final de Puncionamento (kN)	Deslocamento final de Puncionamento (mm)
300x300	10	456	310
400x400	10	344	310

AVISO: Instale o produto de acordo com exigências de segurança nacional! Se o trabalho for feito com suspensão ou cabos de segurança, equipamento de proteção pessoal contra o risco de queda deve ser conectado com pontos de ancoragem de acordo com a norma EN 795.

**ANEXO 6**

**PROCEDIMENTO EXECUTIVO DE CHUMBADOR**

## Anexo 6 Procedimento Executivo de Chumbador

Os chumbadores ou ancoragens dimensionados neste projeto deverão ser executados conforme as recomendações descritas neste Anexo:

1. Os chumbadores são compostos por barra de aço nervurada tipo GEWY, com tensão de escoamento de 550MPa, diâmetro nominal de 32mm, comprimento de 4,0m e com tratamento anticorrosivo (duas demãos de pintura anticorrosiva).
2. Cada chumbador deverá apresentar, no mínimo, 2 espaçadores distribuídos uniformemente ao longo da barra, do tipo carambola ou similar e 1 mangueira de re-injeção com válvulas de injeção (manchete) a cada 0,50m. A mangueira de re-injeção deve ser executada com tubo de polietileno de 0,010m de diâmetro e 1mm de espessura, fixada ao longo da barra de aço. As válvulas manchete são executadas por meio de um pequeno corte, com alicate, na mangueira, e vedação com fita crepe, dando-se apenas uma volta no diâmetro. Com a pressão da re-injeção estas fitas são rompidas, permitindo a passagem da nata de cimento. Observa-se que a mangueira de injeção é um tubo perdido.
3. Os chumbadores serão instalados em furo de diâmetro mínimo de 75mm com comprimento igual a 5,0m para área com tela, inclinados de 10º com a horizontal e executados com perfuratriz rotativa hidráulica por via seca.
4. Após a perfuração, executa-se a limpeza do furo com ar e imediatamente antes da introdução da barra, deve-se proceder à limpeza com água (hidratação do furo).
5. Após a introdução da barra de aço, realiza-se a primeira injeção (bainha). O método de injeção (bainha) é ascendente, correspondendo à injeção de fluido realizada do fundo do furo para cima, por meio de tubulação acessória cuja extremidade é posicionada na parte inferior da perfuração. O bombeamento da nata é realizado até a drenagem pela boca do furo. A mangueira de injeção é removida após o procedimento de injeção (bainha).
6. A re-injeção é realizada pelo tubo de polietileno com a mesma nata de cimento, após 3 horas da primeira injeção.
7. As operações de injeção (bainha) e re-injeção do chumbador são realizadas com nata de cimento cujo Fator Água/Cimento (em peso) é igual a 0,5, sob pressão de aproximadamente 10kgf/cm<sup>2</sup>.

**ANEXO 7**  
**ANÁLISES DE ESTABILIDADE DE CUNHAS**

Anexo 7 Análises de Estabilidade de Cunhas

Tabela A7.1. Resultados das análises de estabilidade de cunhas do talude rochoso.

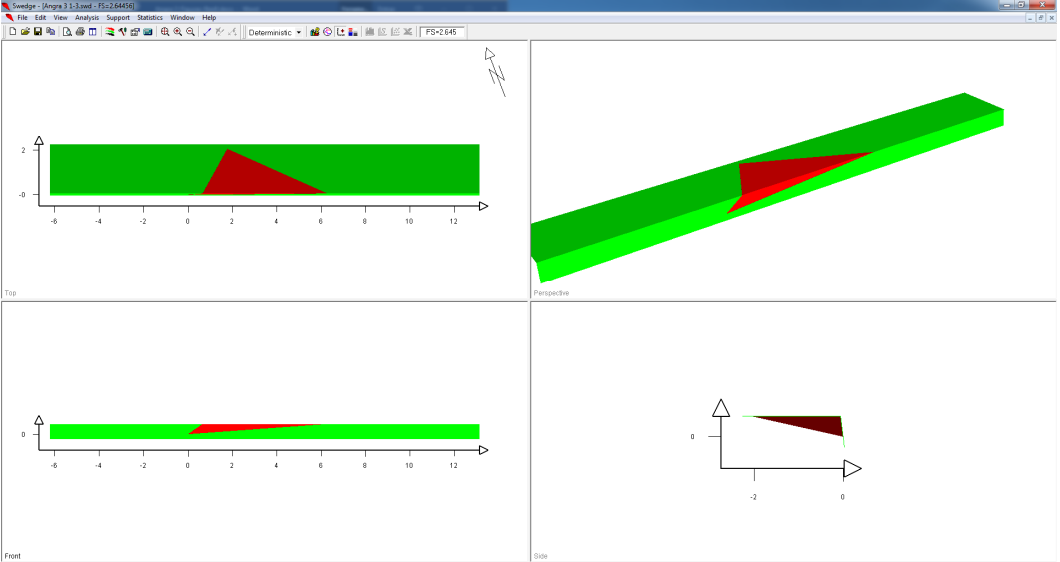
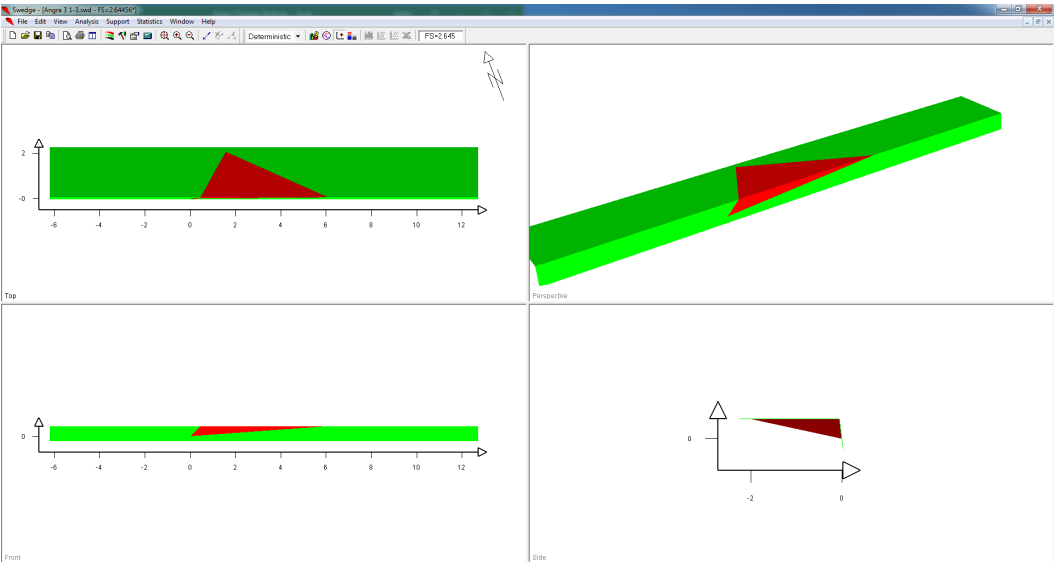
Juntas	Cunha	Peso da Cunha (t)	Água	FS sem chumbador	FS com 1 chumbador
1-2	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
1-3	S	2,22	seco	2,64	-
			50%	2,55	-
			100%	1,87	-
1-4	S	2,15	seco	2,64	-
			50%	2,56	-
1-5	S	3,41	seco	2,64	-
			50%	2,52	-
			100%	1,70	-
1-6	S	3,26	seco	2,64	-
			50%	2,53	-
			100%	1,81	-
1-7	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
1-8	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
2-3	S	5,38	seco	1,28	Estável
			50%	1,21	Estável
			100%	0,76	Estável
2-4	S	4,98	seco	1,28	Estável
			50%	1,22	Estável
			100%	0,83	Estável
2-5	S	8,84	seco	1,28	Estável
			50%	1,15	Estável
			100%	0,63	Estável
2-6	S	7,9	seco	1,28	Estável
			50%	1,21	Estável
			100%	0,74	Estável
2-7	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-

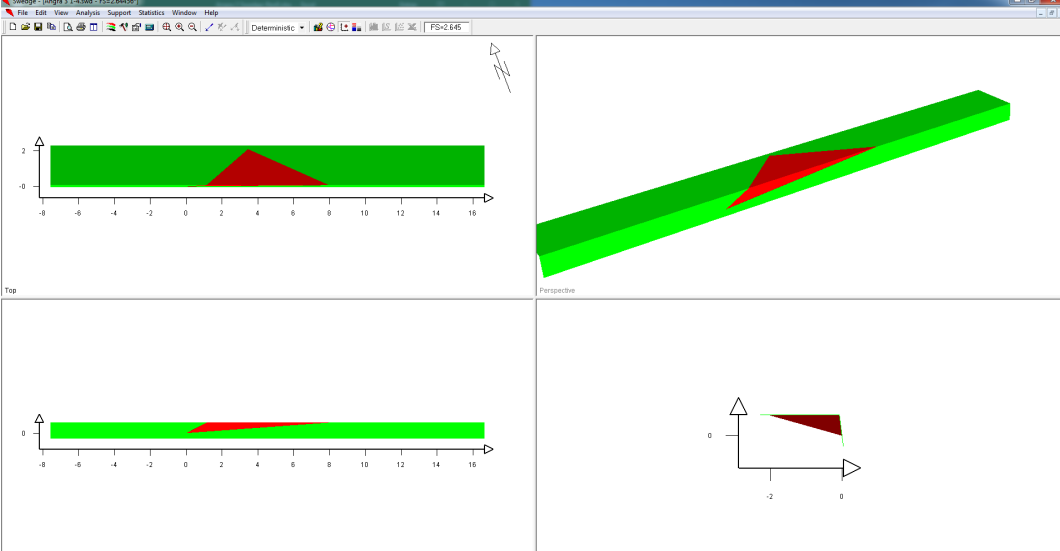
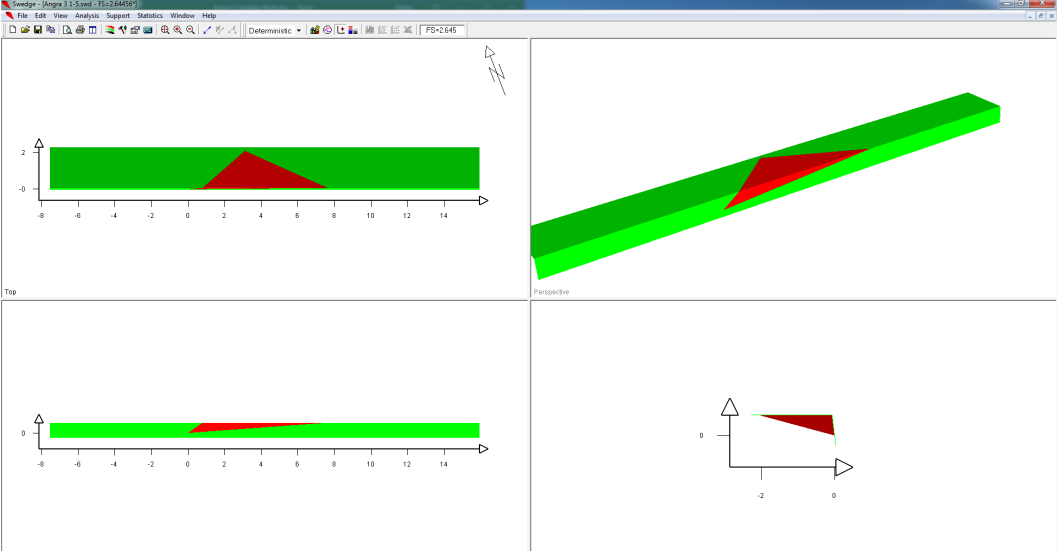


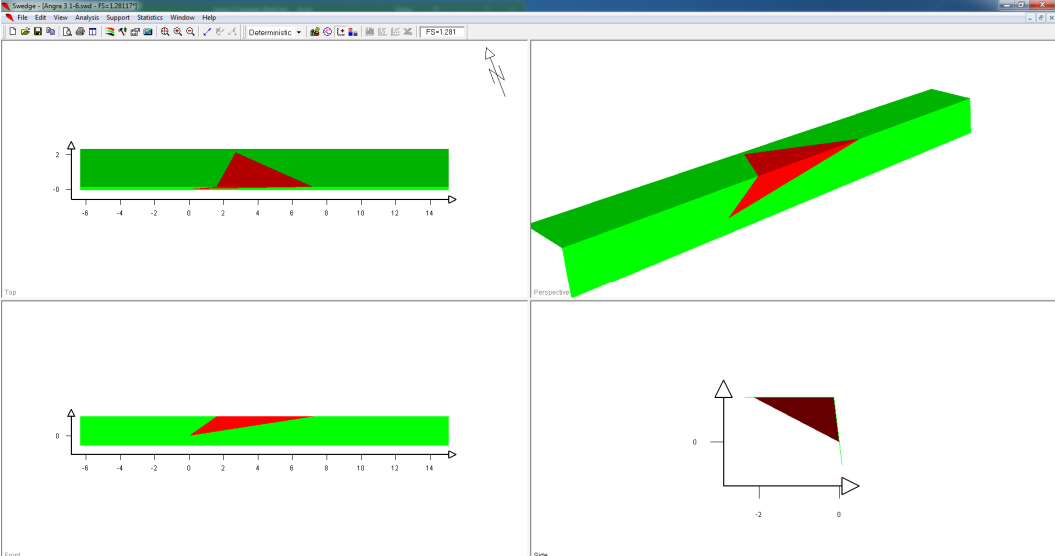
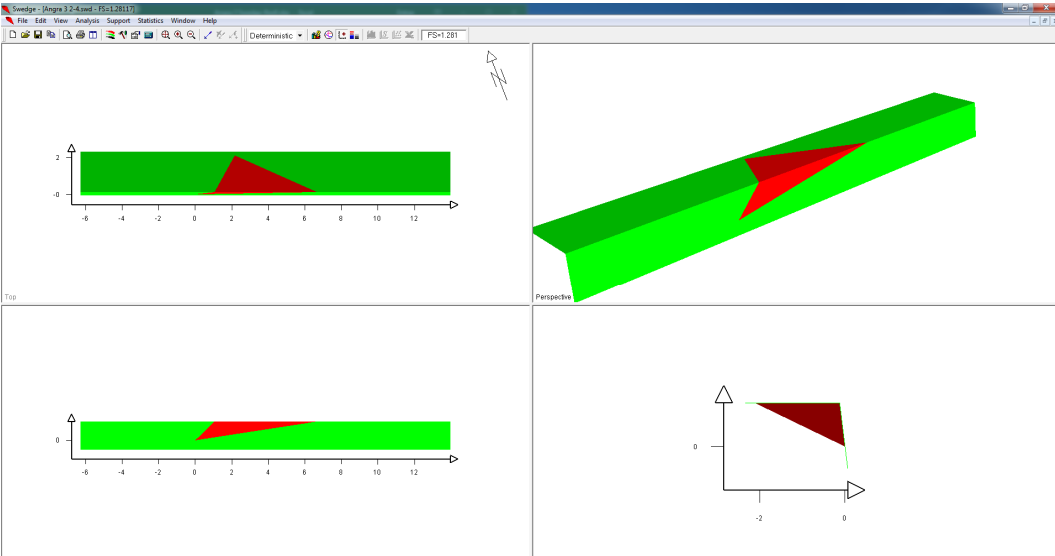
Juntas	Cunha	Peso da Cunha (t)	Água	FS sem chumbador	FS com 1 chumbador
2-8	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
3-4	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
3-5	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
3-6	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
3-7	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
3-8	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
4-5	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
4-6	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
4-7	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
4-8	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
5-6	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
5-7	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
5-8	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-

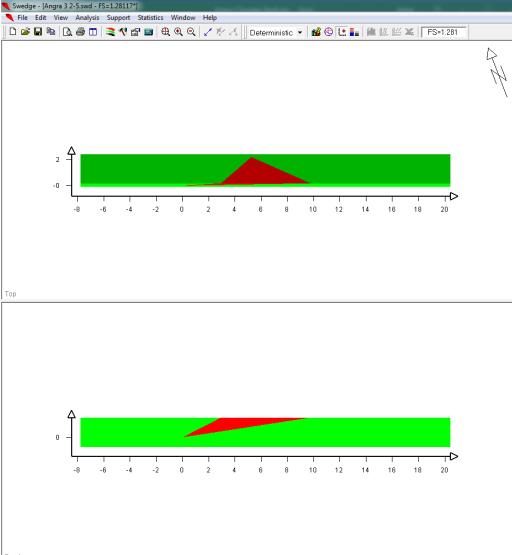
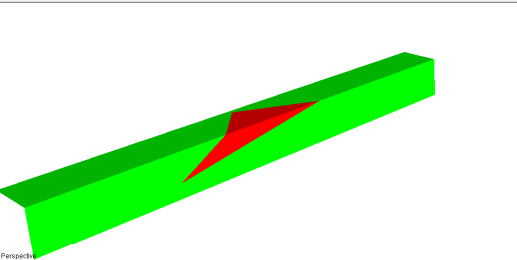
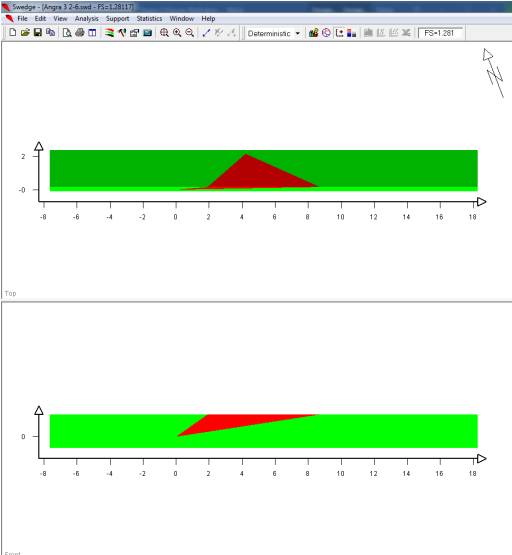
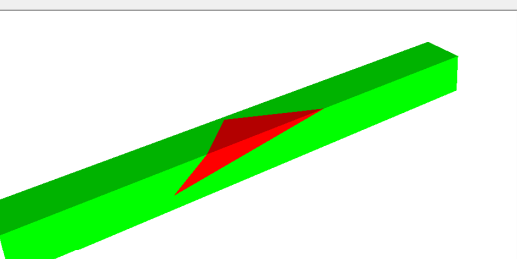
Juntas	Cunha	Peso da Cunha (t)	Água	FS sem chumbador	FS com 1 chumbador
6-7	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
6-8	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-
7-8	N	-	seco	-	-
			50%	-	-
			100%	-	-

Tabela A7.2. Resultados das análises de estabilidade de cunhas – Programa SWEDGE.

Juntas	Talude Rochoso UAS
1-2	N
1-3	
1-4	

Juntas	Talude Rochoso UAS
1-5	
1-6	
1-7	N
1-8	N

Juntas	Talude Rochoso UAS
2-3	
2-4	

Juntas	Talude Rochoso UAS	
2-5		
2-6		
2-7		N
2-8		N
3-4		N
3-5		N
3-6		N
3-7		N
3-8		N
4-5		N
4-6		N
4-7		N
4-8		N

Juntas	Talude Rochoso UAS
5-6	N
5-7	N
5-8	N
6-7	N
6-8	N
7-8	N

**ANEXO 8**

**DIMENSIONAMENTO DA ESTABILIZAÇÃO – HEA 300  $\phi$  10**



- Anexo 8 Dimensionamento da Estabilização – HEA 300  $\phi$  10
- A8.1. Memória de cálculo da estabilização com painéis HEA 300  $\phi$  10 e ancoragens – Talude UAS.

**MACRO Studio · MACRO 1 Revestimento Cortical**

Rock and Soil Slope Protection Design Software

**MACCAFERRI**

www.maccaferri.com

Cliente **ELETRONUCLEAR / PJ 77**

pag. 1 of 2

● **Informações de Projeto**

Titulo	Descrição
TALUDE UAS - TRATAMENTO	Estabilização e proteção do Talude Rochoso na área da UAS
Numero	PJ 77
Cliente	ELETRONUCLEAR
Autor/projetista	GEOPHI Engenharia

● **Dados de Entrada**

**Talude Rochoso**

Inclinação do talude [°]	83
Espessura da instabilidade [m]	1.50
Densidade da rocha [kN/m³]	26.80
Espessura de Transição do maciço [m]	0.50

**Descontinuidade crítica**

Inclinação	40
Resistência à compressão JCS [MPa]	26.50
Rugosidade JRC	5.00

**Aceleração sísmica**

Coefficiente sísmico horizontal	0.10
---------------------------------	------

**Malha**

Tipo de Malha	HEA 300 Ø 10
Resistência à tração [kN/m]	290.00
Deslocamento máximo aceitável [m]	0.22

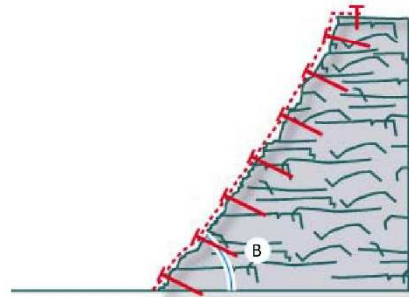
**Barra de Ancoragem**

**Geometria**

Distância horizontal entre ancoragens [m]	2.25
Distância vertical entre ancoragens [m]	2.00
Inclinação da barra com a horizontal	10

**Tipo de Ancoragem**

Tipo de barra	Barra de Aço CA-50
Diâmetro interno [mm]	0
Diâmetro externo [mm]	32
Espessura de corrosão [mm]	0
Tensão de escoamento do aço [MPa]	500.00
Tensão de adesão nata-rocha [MPa]	0.50



**Coefficientes de Segurança**

Incerteza sobre a espessura da camada instável	1.20
Incerteza sobre a densidade da rocha	1.01
Incerteza sobre a agressividade do meio-ambiente	1.01
<b>Resultante da redução das forças estabilizantes</b>	1.22
Morfologia do talude	1.05
Cargas externas	1.02
<b>Resultante do aumento das forças solicitantes</b>	1.07
<b>Coefficiente de segurança global</b>	1.31
Coefficiente de redução da resistência da malha	2.00
Coefficiente de redução para o deslocamento máximo	1.10
Coefficiente de redução para a resistência do aço	1.16
Coefficiente de redução para a adesão nata-rocha	1.50

MACRO Studio | Copyright© Maccaferri 2012-2016 | 2.5.04 | 2016 | Notice: Maccaferri is not responsible for the drawings and the calculations transmitted, since they should be intended as general design outlines and advice, aiming only to the best use of the products.

A8.1(cont.). Memória de cálculo da estabilização com painéis HEA 300 φ 10 e ancoragens –Talude UAS.

**MACRO Studio · MACRO 1 Revestimento Cortical**

Rock and Soil Slope Protection Design Software

**MACCAFERRI**

www.maccaferri.com

Cliente **ELETRONUCLEAR / PJ 77**

pag. 2 of 2

● **Resultados / Verificações**

Verificação de Ancoragem

**1.57** Satisfatório

Verificação de Malha (ELU)

**8.91** Satisfatório

Verificação de Malha (ELS)

**1.67** Satisfatório

**Dimensionamento das ancoragens**

Forças estabilizantes [kN]	305.83
Forças solicitantes [kN]	194.48
Relação entre forças estabilizantes/solicitantes	1.57
Ângulo entre a perpendicular do talude e a barra	-3.00
Resistência mínima aceitável do aço [MPa]	431.03
Seção efetiva da barra [mm <sup>2</sup> ]	804.25
Forças estabilizantes no plano de deslizamento - Por ancoragem [kN]	173.38
Diâmetro mínimo de perfuração (Nominal) [mm]	75.00
Força de arrancamento da ancoragem devido à carga na malha [kN]	20.55
Força de arrancamento da ancoragem devido à instabilidade global [kN]	3.25
Força de arrancamento máxima (total) [kN]	20.55
Comprimento mínimo da barra na rocha sã [m]	0.30
Comprimento mínimo da barra na camada instável [m]	1.70
Comprimento mínimo total da barra [m]	2.50

**Dimensionamento da malha**

Resistência à tração admissível da malha [kN/m]	145.00
Resistência à tração máxima solicitando a malha [kN/m]	16.27
Relação Força-Resistência	8.91
Volume instável potencial na falha - Caso A [m <sup>3</sup> /m]	0.00
Volume instável potencial na falha - Caso B [m <sup>3</sup> /m]	0.59
Volume instável potencial na falha - Caso C [m <sup>3</sup> /m]	1.21
Volume máximo de rocha que pode deslizar entre as ancoragens [m <sup>3</sup> /m]	1.79
Peso máximo de rocha que pode deslizar entre as ancoragens [kN/m]	48.07
Soma das forças solicitantes atuantes no plano de deslizamento [kN/m]	37.00
Soma das forças estabilizantes atuantes no plano de deslizamento [kN/m]	22.79
Forças de punção atuantes na malha [kN]	21.80
Ângulo médio entre o plano de deformação da malha com a horizontal	6.45

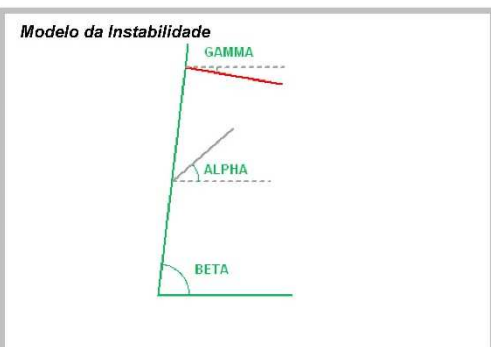
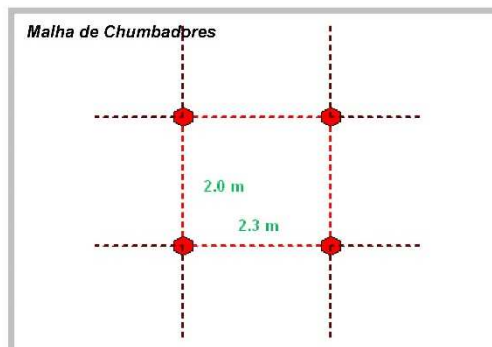
**Estado de serviço**

Deslocamento máximo aceitável [m]	0.20
Deslocamento da malha calculado [m]	0.12
Relação do deslocamento	1.67

**Características da instabilidade**

Pressão média na superfície de deslizamento [MPa]	0.03
Dilatação inicial da junta descontinuidade crítica	3.38
Volume total instável controlado por cada ancoragem [m <sup>3</sup> ]	6.75
Peso total instável controlado por cada ancoragem [kN]	180.90

**Geometria**



MACRO Studio | Copyright© Maccaferri 2012-2016 | 2.5.04 | 2016 | Notice: Maccaferri is not responsible for the drawings and the calculations transmitted, since they should be intended as general design outlines and advice, aiming only to the best use of the products.

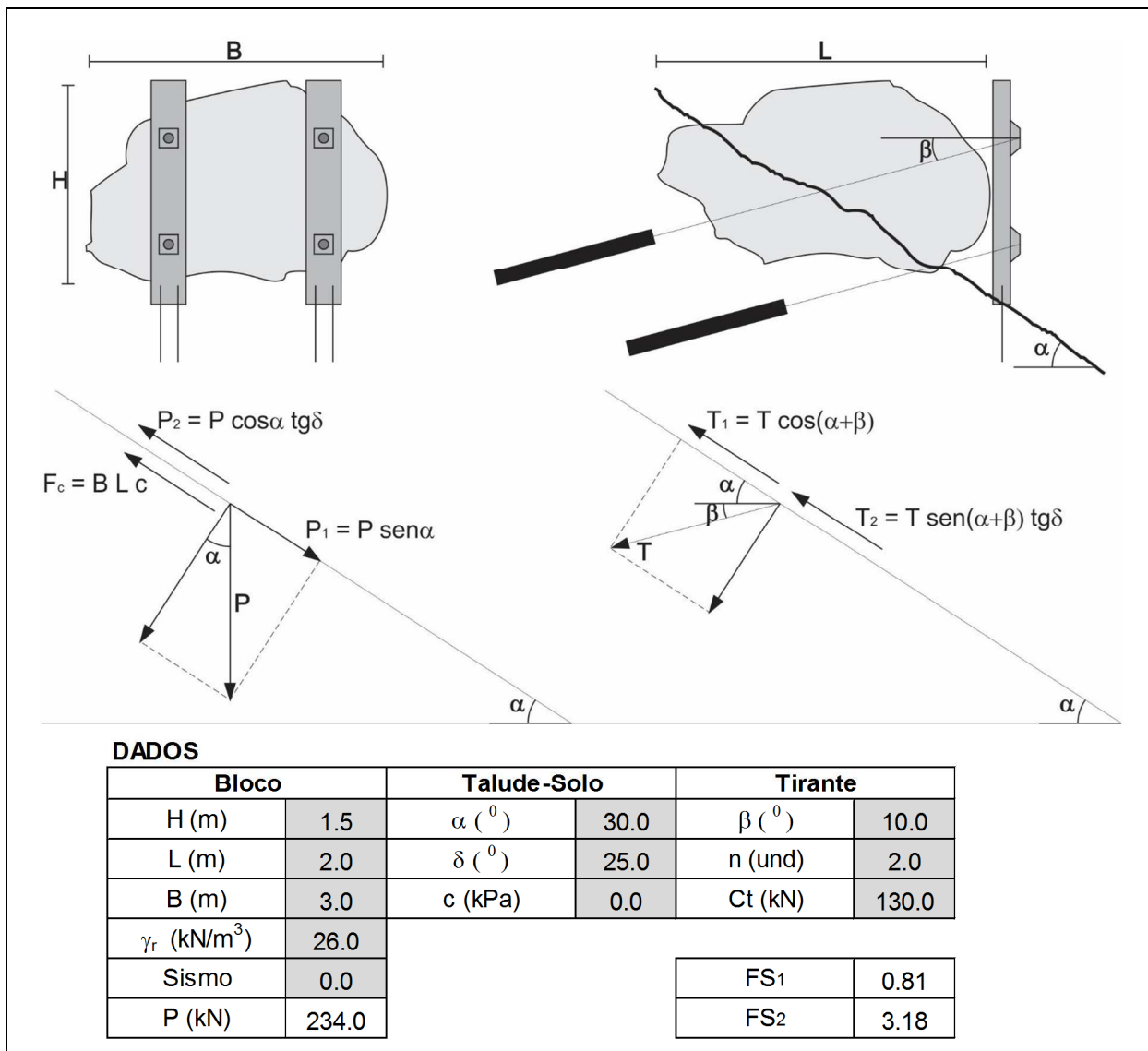
**ANEXO 9**

**DIMENSIONAMENTO DE CONTRAFORTE ATIRANTADO**

**Anexo 9 Dimensionamento de Contraforte Atirantado**

Os contrafortes atirantados foram dimensionados considerando um bloco 3,0m de largura, 1,5m de altura e 2,0m de espessura em rocha de boa qualidade. Foram adotadas análises estáticas e pseudo-estáticas com coeficiente sísmico igual a 0,1g.

**A9.1 Dimensionamento em condições estáticas**



Onde:

H - Altura do bloco;  
L - Largura do bloco;  
B - Base do bloco;  
 $\gamma_r$  - Peso específico do material do bloco;  
P - Peso do bloco;  
 $\alpha$  - Inclinação do talude;  
 $\delta$  - Ângulo de atrito entre o bloco e o solo ou rocha;  
c - Coesão entre o bloco e o solo ou rocha;  
 $\beta$  - Inclinação do tirante;  
n - Número de tirantes;  
Ct - Carga de trabalho dos tirantes;  
T - Força necessária para estabilização do bloco (FS=1,0);  
FS<sub>1</sub> - Fator de Segurança sem tirante.  
FS<sub>2</sub> - Fator de Segurança com tirante.

-->Forças do bloco

$$P_1 = P \sin \alpha = 117.0 \text{ kN}$$
$$P_2 = P \cos \alpha \tan \delta = 94.5 \text{ kN}$$
$$F_c = B L C = 0.0 \text{ kN}$$

-->Forças do Tirante

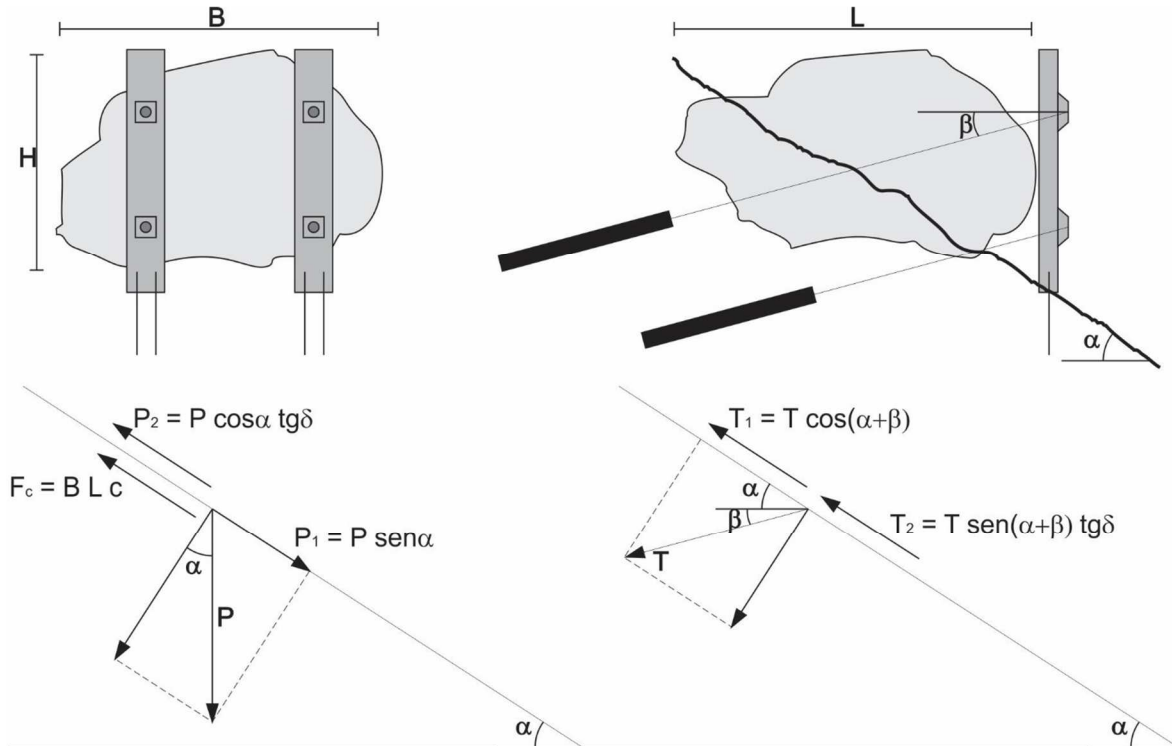
$$T_1 = T \cos(\alpha + \beta) = 199.2 \text{ kN}$$
$$T_2 = T \sin(\alpha + \beta) \tan \delta = 77.9 \text{ kN}$$

-->No equilíbrio temos:

$$P_1 - P_2 - F_c = T_1 + T_2$$

$$\text{Logo } \rightarrow T = 21.1 \text{ kN}$$

A9.2 Dimensionamento em condições pseudo-estáticas com coeficiente sísmico de 0,1g



**DADOS**

Bloco		Talude-Solo		Tirante	
H (m)	1.5	$\alpha$ (°)	30.0	$\beta$ (°)	10.0
L (m)	2.0	$\delta$ (°)	25.0	n (und)	2.0
B (m)	3.0	c (kPa)	0.0	Ct (kN)	130.0
$\gamma_r$ (kN/m <sup>3</sup> )	26.0				
Sismo	0.1			FS1	0.81
P (kN)	257.4			FS2	2.96

Onde:

H - Altura do bloco;  
L - Largura do bloco;  
B - Base do bloco;  
 $\gamma_r$  - Peso específico do material do bloco;  
P - Peso do bloco;  
 $\alpha$  - Inclinação do talude;  
 $\delta$  - Ângulo de atrito entre o bloco e o solo ou rocha;  
c - Coesão entre o bloco e o solo ou rocha;  
 $\beta$  - Inclinação do tirante;  
n - Número de tirantes;  
Ct - Carga de trabalho dos tirantes;  
T - Força necessária para estabilização do bloco (FS=1,0);  
FS<sub>1</sub> - Fator de Segurança sem tirante.  
FS<sub>2</sub> - Fator de Segurança com tirante.

-->Forças do bloco

$$P_1 = P \sin \alpha = 128.7 \text{ kN}$$
$$P_2 = P \cos \alpha \tan \delta = 103.9 \text{ kN}$$
$$F_c = B L C = 0.0 \text{ kN}$$

-->Forças do Tirante

$$T_1 = T \cos(\alpha + \beta) = 199.2 \text{ kN}$$
$$T_2 = T \sin(\alpha + \beta) \tan \delta = 77.9 \text{ kN}$$

-->No equilíbrio temos:

$$P_1 - P_2 - F_c = T_1 + T_2$$

$$\text{Logo } \rightarrow T = 23.2 \text{ kN}$$

O comprimento de ancoragem ( $L_a$ ) dos tirantes para contenção de blocos de rocha foi determinado conforme preconiza o Manual da GeoRio (2000):

$$L_a = \frac{Q_{ensaio}}{D \times \pi \times q_s}$$

Onde:

$Q_{ensaio}$  : carga de ensaio do chumbador;

D : diâmetro do furo do chumbador;

$q_s$  : resistência do contato nata de cimento-solo (considerada 500 kPa).

Desta forma, tem-se:



$$L_a = \frac{130 \times 1,75}{0,075 \times \pi \times 500} = 1,93 \text{ m} \rightarrow \text{Adotado } 2,0 \text{ m}$$

O comprimento total (L) mínimo dos tirantes é expresso por:

$$L = L_a + L_{\text{bloco}} + L_{\text{instável}} + L_{\text{transição}} = 6,0 \text{ m}$$

**ANEXO 10**

**PROCEDIMENTO EXECUTIVO DE TIRANTE**

## Anexo 10 Procedimento Executivo de Tirantes – Injeção e Proteção

Os tirantes dimensionados neste projeto deverão ser executados conforme as recomendações descritas neste Anexo e preconizadas pela norma NBR 5629/2006:

1. Os tirantes são compostos por barra de aço nervurada tipo GEWY ou similar, com tensão de escoamento de 550MPa, diâmetro nominal de 32mm, comprimento de 6,0m e com tratamento anticorrosivo, sendo 2,0m de trecho ancorado e 4,0m de trecho livre.
2. Cada tirante deverá apresentar, no mínimo, 4 espaçadores distribuídos uniformemente ao longo da barra, do tipo carambola ou similar e 1 mangueira de re-injeção com válvulas de injeção (manchete) a cada 0,50m. A mangueira de re-injeção deve ser executada com tubo de polietileno de 0,010m de diâmetro e 1mm de espessura, fixada ao longo da barra de aço. As válvulas manchete são executadas por meio de um pequeno corte, com alicate, na mangueira, e vedação com fita crepe, dando-se apenas uma volta no diâmetro. Com a pressão da re-injeção estas fitas são rompidas, permitindo a passagem da nata de cimento. Observa-se que a mangueira de injeção é um tubo perdido.
3. Os tirantes serão instalados em furo de diâmetro mínimo de 75mm com comprimento igual a 6,0m, inclinados de 10º com a horizontal e executados com perfuratriz rotativa hidráulica por via seca.
4. Após a perfuração, executa-se a limpeza do furo com ar e imediatamente antes da introdução da barra, deve-se proceder à limpeza com água (hidratação do furo).
5. Após a introdução da barra de aço, realiza-se a primeira injeção (bainha). O método de injeção (bainha) é ascendente, correspondendo à injeção de fluido realizada do fundo do furo para cima, por meio de tubulação acessória cuja extremidade é posicionada na parte inferior da perfuração. O bombeamento da nata é realizado até a drenagem pela boca do furo. A mangueira de injeção é removida após o procedimento de injeção (bainha).
6. A re-injeção é realizada pelo tubo de polietileno com a mesma nata de cimento, após 3 horas da primeira injeção.
7. As operações de injeção (bainha) e re-injeção do tirante são realizadas com nata de cimento cujo Fator Água/Cimento (em peso) é igual a 0,5, sob pressão de aproximadamente 50 a 100kPa.

8. Por ocasião da protensão, o espaço atrás da cabeça da ancoragem deve ser protegido e mantido livre de pessoas. As cargas devem ser aplicadas através do conjunto manômetro-macaco-bomba hidráulico. As forças de tração devem ser coincidentes com a direção do eixo do tirante.

9. O tirante, após ser analisado e aprovado, deve receber uma injeção especial no trecho livre e na região da cabeça. A injeção deve ser feita de tal modo que haja um preenchimento total dos espaços vazios, de modo que não haja possibilidade de quaisquer infiltrações que possam atingir o elemento resistente à tração com pressão de aproximadamente 50 a 100KPa.

10. A parte do tirante que foi utilizada para verificação deve ser cortada com uma serra (jamais com maçarico) para não enfraquecer a estrutura do aço. Posteriormente, deve ser feito o revestimento por concreto ou argamassa conforme especificado no projeto.

**ANEXO 11**  
**DIMENSIONAMENTO DAS CANALETAS**

Anexo 11 Dimensionamento das Canaletas



**IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO**

**Nome:** Canaleta 1  
**Técnico:** GeoPhi  
**Estado:** Rio de Janeiro

**Empresa:** Eletronuclear  
**Local:** Angra dos Reis  
**Data:** 25/08/2017

**DADOS DE ENTRADA**

**INCÓGNITA DO PROBLEMA:** Profundidade Normal

**Vazão:** 0,07 m<sup>3</sup>/s  
**Declividade:** 0,0003 m/m  
**Folga:** 0,00 m  
**Largura da Base:** 0,50

**Profundidade Normal:** 0,373 m  
**Coefficiente de Rugosidade:** 0,0130  
**Comprimento do Canal:** 74,2 m

**RESULTADOS**

**Área:** 0,1864 m<sup>2</sup>  
**Largura da Superfície:** 0,500 m  
**Número de Froude:** 0,196  
**Velocidade:** 0,376 m/s  
**Movimentação de Terra:** 13,831 m<sup>3</sup>

**Perímetro Molhado:** 1,246 m  
**Profundidade Crítica:** 0,126 m  
**Regime de Escoamento:** Subcrítico  
**Energia Específica:** 0,380 m

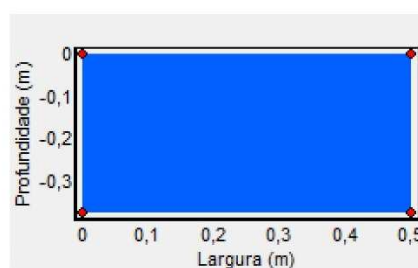


Figura A11.1. Dimensionamento da Canaleta 1.



---

**RELATÓRIO**  
**Dimensionamento de Canais Retangulares**

---

**IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO**

**Nome:** Canaleta 2

**Empresa:** Eletronuclear

**Técnico:** GeoPhi

**Local:** Angra dos Reis

**Estado:** Rio de Janeiro

**Data:** 25/08/2017

**DADOS DE ENTRADA**

**INCÓGNITA DO PROBLEMA:** Profundidade Normal

**Vazão:** 0,06 m<sup>3</sup>/s

**Profundidade Normal:** 0,330 m

**Declividade:** 0,0003 m/m

**Coefficiente de Rugosidade:** 0,0130

**Folga:** 0,00 m

**Comprimento do Canal:** 91,9 m

**Largura da Base:** 0,50

**RESULTADOS**

**Área:** 0,1652 m<sup>2</sup>

**Perímetro Molhado:** 1,161 m

**Largura da Superfície:** 0,500 m

**Profundidade Crítica:** 0,114 m

**Número de Froude:** 0,202

**Regime de Escoamento:** Subcrítico

**Velocidade:** 0,363 m/s

**Energia Específica:** 0,337 m

**Movimentação de Terra:** 15,184 m<sup>3</sup>

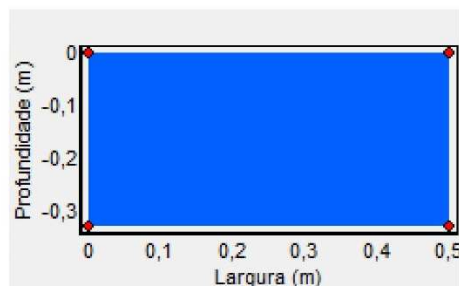


Figura A11.2. Dimensionamento da Canaleta 2.



**RELATÓRIO**

**Dimensionamento de Canais Retangulares**

**IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO**

**Nome:** Canaleta 3

**Empresa:** Eletronuclear

**Técnico:** GeoPhi

**Local:** Angra dos Reis

**Estado:** Rio de Janeiro

**Data:** 25/08/2017

**DADOS DE ENTRADA**

**INCÓGNITA DO PROBLEMA:** Profundidade Normal

**Vazão:** 0,08 m<sup>3</sup>/s

**Profundidade Normal:** 0,415 m

**Declividade:** 0,0003 m/m

**Coefficiente de Rugosidade:** 0,0130

**Folga:** 0,00 m

**Comprimento do Canal:** 110,5 m

**Largura da Base:** 0,50

**RESULTADOS**

**Área:** 0,2073 m<sup>2</sup>

**Perímetro Molhado:** 1,329 m

**Largura da Superfície:** 0,500 m

**Profundidade Crítica:** 0,138 m

**Número de Froude:** 0,191

**Regime de Escoamento:** Subcrítico

**Velocidade:** 0,386 m/s

**Energia Específica:** 0,422 m

**Movimentação de Terra:** 22,902 m<sup>3</sup>

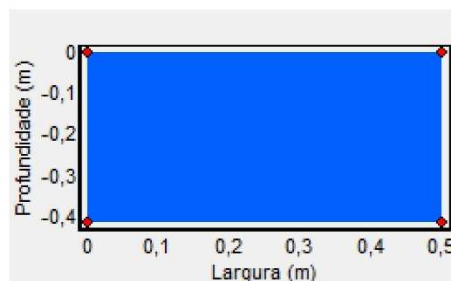


Figura A11.3. Dimensionamento da Canaleta 3.





---

**RELATÓRIO**  
**Dimensionamento de Canais Retangulares**

---

**IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO**

**Nome:** Canaleta 4

**Empresa:** Eletronuclear

**Técnico:** GeoPhi

**Local:** Angra dos Reis

**Estado:** Rio de Janeiro

**Data:** 25/08/2017

**DADOS DE ENTRADA**

**INCÓGNITA DO PROBLEMA:** Profundidade Normal

**Vazão:** 0,09 m<sup>3</sup>/s

**Profundidade Normal:** 0,456 m

**Declividade:** 0,0003 m/m

**Coefficiente de Rugosidade:** 0,0130

**Folga:** 0,00 m

**Comprimento do Canal:** 128,7 m

**Largura da Base:** 0,50

**RESULTADOS**

**Área:** 0,2278 m<sup>2</sup>

**Perímetro Molhado:** 1,411 m

**Largura da Superfície:** 0,500 m

**Profundidade Crítica:** 0,149 m

**Número de Froude:** 0,187

**Regime de escoamento:** Subcrítico

**Velocidade:** 0,395 m/s

**Energia Específica:** 0,464 m

**Movimentação de Terra:** 29,323 m<sup>3</sup>

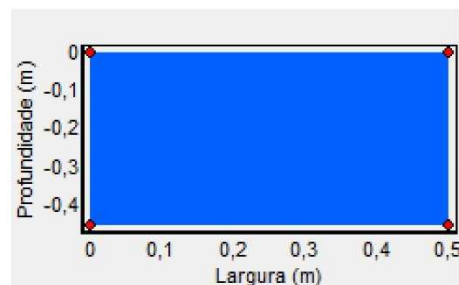


Figura A11.4. Dimensionamento da Canaleta 4.

**ANEXO 12**

**DIMENSIONAMENTO DAS ESCADAS HIDRÁULICAS**



---

**RELATÓRIO**

**Dimensionamento de Canais Retangulares**

---

**IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO**

**Nome:** Escada 1

**Empresa:** Eletronuclear

**Técnico:** GeoPhi

**Local:** Angra dos Reis

**Estado:** Rio de Janeiro

**Data:** 25/08/2017

**DADOS DE ENTRADA**

**INCÓGNITA DO PROBLEMA:** Profundidade Normal

**Vazão:** 0,07 m<sup>3</sup>/s

**Profundidade Normal:** 0,158 m

**Declividade:** 0,0030 m/m

**Coefficiente de Rugosidade:** 0,0130

**Folga:** 0,10 m

**Comprimento do Canal:** 18,5 m

**Largura da Base:** 0,50

**RESULTADOS**

**Área:** 0,0789 m<sup>2</sup>

**Perímetro Molhado:** 0,815 m

**Largura da Superfície:** 0,500 m

**Profundidade Crítica:** 0,126 m

**Número de Froude:** 0,714

**Regime de Escoamento:** Subcrítico

**Velocidade:** 0,888 m/s

**Energia Específica:** 0,198 m

**Movimentação de Terra:** 2,384 m<sup>3</sup>

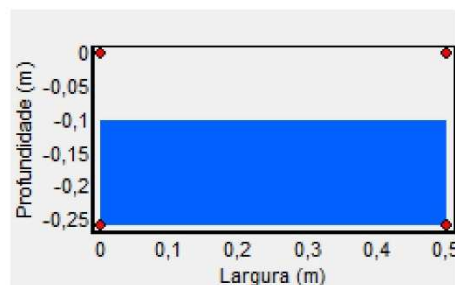


Figura A12.1. Dimensionamento da Escada 1.



---

**RELATÓRIO**  
**Dimensionamento de Canais Retangulares**

---

**IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO**

**Nome:** Escada 2

**Empresa:** Eletronuclear

**Técnico:** GeoPhi

**Local:** Angra dos Reis

**Estado:** Rio de Janeiro

**Data:** 25/08/2017

**DADOS DE ENTRADA**

**INCÓGNITA DO PROBLEMA:** Profundidade Normal

**Vazão:** 0,13 m<sup>3</sup>/s

**Profundidade Normal:** 0,248 m

**Declividade:** 0,0030 m/m

**Coefficiente de Rugosidade:** 0,0130

**Folga:** 0,10 m

**Comprimento do Canal:** 14,5 m

**Largura da Base:** 0,50

**RESULTADOS**

**Área:** 0,1238 m<sup>2</sup>

**Perímetro Molhado:** 0,995 m

**Largura da Superfície:** 0,500 m

**Profundidade Crítica:** 0,190 m

**Número de Froude:** 0,674

**Regime de Escoamento:** Subcrítico

**Velocidade:** 1,050 m/s

**Energia Específica:** 0,304 m

**Movimentação de Terra:** 2,520 m<sup>3</sup>

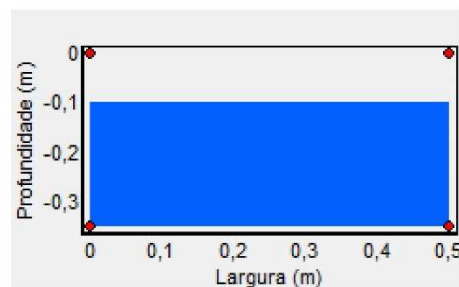


Figura A12.2. Dimensionamento da Escada 2.

RELATÓRIO

PROJETO EXECUTIVO PARA O DESMONTE DO TALUDE ROCHOSO ATRÁS  
DO CENTRO DE INFORMAÇÕES DE ITAORNA



RELATÓRIO

Dimensionamento de Canais Retangulares

IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

**Nome:** Escada 3

**Empresa:** Eletronuclear

**Técnico:** GeoPhi

**Local:** Angra dos Reis

**Estado:** Rio de Janeiro

**Data:** 25/08/2017

DADOS DE ENTRADA

**INCÓGNITA DO PROBLEMA:** Profundidade Normal

**Vazão:** 0,20 m<sup>3</sup>/s

**Profundidade Normal:** 0,344 m

**Declividade:** 0,0030 m/m

**Coefficiente de Rugosidade:** 0,0130

**Folga:** 0,10 m

**Comprimento do Canal:** 10,9 m

**Largura da Base:** 0,50

RESULTADOS

**Área:** 0,1721 m<sup>2</sup>

**Perímetro Molhado:** 1,189 m

**Largura da Superfície:** 0,500 m

**Profundidade Crítica:** 0,254 m

**Número de Froude:** 0,632

**Regime de Escoamento:** Subcrítico

**Velocidade:** 1,162 m/s

**Energia Específica:** 0,413 m

**Movimentação de Terra:** 2,421 m<sup>3</sup>

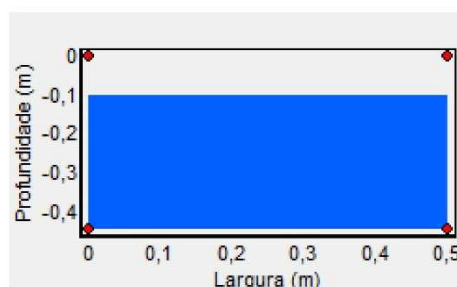


Figura A12.3. Dimensionamento da Escada 3.