GERSON COELHO RIPARDO TEIXEIRA

CONSEQUÊNCIAS INDESEJÁVEIS DO DESMONTE SUBAQUÁTICO E AÇÕES PARA MINIMIZÁ-LAS

São Paulo
2011

GERSON COELHO RIPARDO TEIXEIRA

CONSEQUÊNCIAS INDESEJÁVEIS DO DESMONTE SUBAQUÁTICO E AÇÕES PARA MINIMIZÁ-LAS

Trabalho de Formatura em Engenharia de Minas do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Lineu A. Ayres da Silva

São Paulo
2011

TF-2011
T235c
2270662

M2011e

DEDALUS - Acervo - EPMI

31700009049

FICHA CATALOGRÁFICA

Teixeira, Gerson Coelho Ripardo
Consequências indesejáveis do desmonte subaquático e ações para minimizá-las / G.C.R. Teixeira. -- São Paulo, 2011.
54 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1. Mineração submarina 2. Explosivos em minas I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II. t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores que transmitiram seus conhecimentos e dedicaram muito tempo a mim e aos meus colegas para que fossem formados não apenas bons engenheiros, mas cidadãos capazes de melhorar o País. Seja na aplicação da técnica ou na adição de novos conhecimentos para a Ciência.

Ao meu professor, orientador e amigo, Dr. Lineu Azuaga Ayres da Silva, por todo o esforço dedicado à nossa turma em oferecer o conhecimento do mais alto nível científico e passar toda a experiência de sua vida. Não só no lado Acadêmico, mas nos planos Profissional e Pessoal.

Aos meus amigos, que estiveram presentes em toda minha jornada na Escola Politécnica. Para estes sempre serei grato por toda a paciência e companheirismo que obtive nessa caminhada. Acredito que essas relações moldadas na Escola serão eternas e estarão presentes em nossas vidas mesmo que sigamos por caminhos distintos. Um Politécnico sempre irá reconhecer em seus amigos a bravura e a persistência inerente àqueles que por esta Escola passaram.

À minha irmã e amiga Rachel, por estar ao meu lado partilhando todos os momentos de nossas vidas. Por me apoiar nas minhas decisões e por sempre me conscientizar do caminho correto e das atitudes ideais para uma vida boa para mim e para pessoas em minha volta.

Agradeço aos meus pais, Odete e Antônio, que me guiaram em toda minha jornada e não descansaram nem por um segundo na tarefa de me educar. Estiveram presentes em toda minha luta para que eu me tornasse um excelente profissional e usasse todo o conhecimento adquirido para o bem.

"Toda manhã em algum lugar da África,
uma gazela acorda e sabe que terá
que correr muito de um leão para
não morrer.

Toda manhã em algum lugar da África,
um leão acorda e sabe que terá que
correr muito atrás de uma gazela
para não morrer de fome.

Portanto, quando o sol surgir, não
importa se você é um leão ou uma
gazela, com certeza será melhor
começar a correr.

O único lugar em que o sucesso vem
antes do trabalho é no dicionário.
Não pare nunca, porque a vitória
sorri somente para aqueles que
não param no meio do caminho.

Sucesso é conseguir o que você quer,
felicidade é gostar do
que você conseguiu."

Autor Desconhecido

RESUMO

O desmonte subaquático é uma técnica utilizada pelos Engenheiros de Minas com o objetivo de fragmentar o material que deve ser removido do local. Isso ocorre nas expansões de canais de acesso de portos, na construção de fundações para obras civis, na instalação de redes de transmissão de gás, óleo, sinais elétricos e em outras atividades. Para que essa técnica seja aplicada de maneira eficaz e segura, faz-se necessário o uso de cuidados preventivos com relação aos possíveis danos que podem vir a ocorrer. Tais cuidados estão baseados nas mesmas teorias que explicam a ação dos explosivos no desmonte em bancadas e no desmonte em locais com apenas uma face livre plana e horizontal, como acontece nos leitos subaquáticos. No presente trabalho foram discutidos os efeitos indesejáveis do desmonte, como os danos causados pela vibração e pela pressão hidrodinâmica gerada pelas ondas de choque. Foram propostas ações que minimizam tais danos e que devem ser planejadas durante a fase de concepção do projeto de desmonte subaquático. Concluiu-se que a metodologia utilizada no estudo de caso ilustrado é uma referência no planejamento de tais ações de prevenção de efeitos adversos.

Palavras-chave: desmonte subaquático; vibrações; ondas de choque.

ABSTRACT

The underwater blasting is a technique used by Mining Engineers in order to break the rock material that needs to be removed for enlargement of harbor channels accesses, construction of foundations for civil works, installation of gas, oil, electrical transmission networks, and other civil works. For this technique to be applied effectively and safely, it is necessary to use preventive care actions to minimize potential damage that may occur. Such technical procedures are based on the same theories that explain the action of explosives on bench blasting and underwater blasting. In the present study were discussed the undesirable effects, such as damage caused by vibration and by the hydrodynamic pressure generated by shock waves. The procedures to minimize the damages should be planned during the design phase of the rock blasting. It was concluded that the methodology used in the present study case is a reference in underwater blasting planning.

Keywords: underwater blasting; land vibrations; underwater shockwave.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Furo de mina e zonas próximas 12

Figura 2 - Reflexão das ondas de choque 12

Figura 3 - Sequência de fraturamento 14

Figura 4 - Desmonte em bancada 15

Figura 5 - Relação entre afastamento e fragmentação 16

Figura 6 - Visão em corte da detonação 16

Figura 7 - Zonas de uma cratera 17

Figura 8 - Tipos de plataforma 19

Figura 9 - Diferença entre o carregamento Manual (a) e o Mecânico (b) 24

Figura 10 - Sequência de Carregamento dos Furos 24

Figura 11 - Sobrepressão da água em função da distância das cargas 26

Figura 12 - Distância de Segurança em função da carga de explosivo 26

Figura 13 - Cortina de Bolhas e sua ação 29

Tabela 1 - Relação entre CE, granulometria e tipo de draga 21

Tabela 2 - Diâmetro do furo x Altura da bancada 21

Tabela 3 - Modificações em função do Ângulo de Quebra 22

Tabela 4 - Dados estatísticos das áreas de derrocagem 33

Tabela 5 - Dados estatísticos das áreas de derrocagem 34

Tabela 6 - Valas para isolamento do cais das vibrações produzidas pelo derrocamento das pedras 35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **9**

2 OBJETIVOS **9**

3 MÉTODOS **10**
3.1 Procedimentos de coleta de dados 10
3.2 Procedimentos de análise de dados 10
3.3 Considerações éticas 10

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **11**
4.1 A Ação dos Explosivos 11
4.2 A Teoria do Crateramento 15
4.3 Desmonte Subaquático 17
4.3.1 Métodos de Execução 17
4.3.2 Desmonte por plataformas ou flutuadores 18
4.3.3 Cálculo de Carga e Espaçamento 19
4.3.4 Carregamento e Iniciadores 22
4.3.5 Tipos de Explosivos 23
4.3.6 Impactos Associados 24
4.3.6.1 Vibração do Solo 24
4.3.6.2 Onda de Choque Subaquática 24
4.3.6.3 Fatores de Segurança para pressões hidrodinâmicas 27

5 CASO ESTUDADO: PROJETO EXECUTIVO PARA DERROCAMENTO DAS ROCHAS DOS ACESSOS AQUAVIÁRIOS DO PORTO DE VITÓRIA **30**
5.1 Sistemas de proteção ao meio ambiente e edificações vizinhas 31
5.1.2 Vibrações do terreno 31
5.1.2 Pressão Hidrodinâmica 31

6 RESULTADOS **33**

7 DISCUSSÃO **36**

8 CONCLUSÕES **37**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **38**

ANEXOS **39**
A – Pressão Hidrodinâmica x Distância Segura 39
B – Cálculo dos Parâmetros do Plano de Fogo 40
C – Malhas por AD x Diâmetro de Brocas 41
D – Distância Segura x Valores de Carga 45
E – Posicionamento das Plataformas de Perfuração 47
F – Distância Escalada 48
G – Tipos de Desmonte e Cálculo das Valetas de Proteção 52

1 INTRODUÇÃO

O desmonte subaquático é uma atividade do Engenheiro de Minas usada nos projetos de expansão de portos e canais, escavação de trincheiras para a instalação de oleodutos e gasodutos, escavação para fundações de obras civis, exploração de depósitos consolidados, e outras mais (JIMENO ET AL, 1997). Essa técnica envolve tantas consequências e restrições que merece ser estudada de maneira especial. Para uma correta aplicação desse método de desmonte, devem ser realizadas várias ações para conter seu impacto e para obter um resultado satisfatório.

As consequências indesejáveis do desmonte subaquático são, principalmente, as vibrações do terreno e as ondas de choques subaquáticas. As vibrações do terreno são mais perigosas quando a carga explosiva encontra-se dentro de furos de mina perfurados na rocha, além do surgimento de componentes de baixa frequência de ondas de choque. As ondas subaquáticas causam danos às estruturas e equipamentos próximos, aos mergulhadores e à fauna submarina presente no local.

As principais ações a serem adotadas para minimizar os efeitos indesejáveis são: a correta utilização de cargas máximas de explosivos por espera em função da distância dos alvos a serem protegidos (distâncias seguras); o uso de bolhas para formar uma cortina em volta do local onde ocorrerá a detonação; a criação de valetas ou linhas de descontinuidades entre os alvos a proteger e o local do desmonte, utilizando a técnica do desmonte cuidadoso (LANGEFORS e KIHLSTRÖM, 1973) ou a utilização de argamassa expansiva; e alteração das características dos explosivos comerciais, como sua densidade ou capacidade de geração de frequências elevadas.

O trabalho do desmonte subaquático possui grandes riscos de danos materiais, pessoais e de meio ambiente. Esses motivos já são suficientes para que qualquer projeto seja minunciosamente elaborado, e sofra uma revisão criteriosa no que diz respeito à segurança. O estudo correto dessa atividade irá proporcionar uma eficiência maior do desmonte tanto na qualidade do serviço como nos custos dos projetos. Todos esses fatores são essenciais para os profissionais que trabalham com tal atividade e para aqueles que utilizarão os conceitos expostos para outras tarefas.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo a identificação das consequências do desmonte subaquático utilizado nas atividades de Engenharia e a correta aplicação de técnicas que visam minimizar os efeitos criados. Elas devem possibilitar uma atividade segura tanto para as pessoas que executam o trabalho quanto para pessoas, equipamentos, estruturas, fauna e flora presentes na região do desmonte.

Os objetivos específicos para isso foram: identificar as consequências do desmonte subaquático utilizado nas atividades; e identificar a correta aplicação de técnicas que visam minimizar os efeitos criados.

3 MÉTODOS

3.1 Procedimentos de coleta de dados

Para atingir os objetivos dessa pesquisa foi realizada uma extensa revisão bibliográfica das publicações sobre o tema, elaboradas por autores como Carlos Lopez Jimeno, Berg Kihlström, Ulf Langefors e William Hustrulid, referências nas áreas de Perfuração, Desmonte e Mecânica de Rochas.

O estudo de caso do Projeto Executivo para Derrocamento das Rochas dos Acessos Aquaviários do Porto de Vitória, no qual o autor deste Trabalho teve participação ativa como membro da equipe projetista, foi uma fonte muito importante de dados e um exemplo de aplicação dos conhecimentos e técnicas extraídas das fontes bibliográficas e adaptadas para o caso em questão. Nesse projeto foram criados novos métodos de abordagem que passaram a fazer parte das referências técnicas nos Projetos de Desmonte Subaquático no Brasil. Ressalta-se a grande importância atribuída no Projeto à minimização dos efeitos indesejáveis.

3.2 Procedimentos de análise de dados

Os conceitos estudados nas referências bibliográficas foram confrontados entre si e pelos conhecimentos adquiridos nas Disciplinas da Escola Politécnica relacionadas ao tema. Tais conceitos também foram alvos de discussão com o Orientador e com participantes do Projeto exposto no Estudo de Caso.

Foram extraídos dos Projetos Executivos de Desmonte Subaquático os procedimentos indicados para a realização destes trabalhos. Eles foram comparados com os conceitos anteriormente citados e também pela análise de aprovação para execução por parte dos responsáveis pela obra. Atualmente, o Projeto Executivo para Derrocamento do Porto de Vitória, está aprovado para execução pelo Tribunal de Contas da União e pela empresa contratante, Companhia Docas do Espírito Santo.

3.3 Considerações éticas

Os projetos utilizados nessa pesquisa e seus respectivos dados de campo foram devidamente autorizados por seus autores.

Os procedimentos dessa pesquisa respeitaram o Código de Ética Profissional da Engenharia, da Arquitetura, da Agronomia, da Geologia, da Geografia e da Meteorologia (CREA-SP, 2010).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a melhor compreensão da sistemática adotada no desenvolvimento do trabalho, onde o desmonte subaquático ocorre como consequência da ação dos explosivos, é imprescindível que esta ação seja entendida sob a ótica de duas teorias que lhe dão suporte:

O desmonte do maciço rochoso contra uma face livre vertical ou sub-vertical (Bench Blasting) e o desmonte contra uma superfície horizontal única e plana (Crater Theory).

Em consequência serão expostos sinteticamente os fundamentos das duas teorias.

4.1 A Ação dos Explosivos

A detonação de uma carga explosiva num maciço rochoso apresenta duas fases distintas. Ambas têm o mesmo instante de início e são extremamente rápidas (desenvolvem-se em frações de tempo cuja unidade é o milissegundo), contudo uma é dez vezes mais rápida que a outra. Por isso, e por uma questão principalmente de didática, uma é dita a Fase Dinâmica, correspondente à ação das ondas de choque no maciço rochoso, e a outra é dita uma Fase Quasi-Estática e é aquela devido ao trabalho mecânico realizado pelos gases provenientes da reação química de decomposição do explosivo (AYRES da SILVA, 2005).

A Fase Dinâmica inicia-se com a detonação do explosivo ao longo da extensão do furo com ele carregado (furo de mina) e a propagação da onda de choque concentricamente, atuando com pulsos de compressão até atingir a face livre da bancada, sendo então refletida e retornando ao maciço aplicando esforços de tração. A sequência dos eventos é a seguinte: surgimento de fraturas radiais, seguido pela reflexão das ondas de choque na face livre (retornam tracionando o maciço) e aparecimento de fraturas tangenciais, já que o maciço é pouco resistente à tração. Essa sequência é verificada em quatro zonas distintas ao redor do furo, conforme mostra a figura 1, desde a borda do furo de mina:

Zona Hidrodinâmica - Em consequência das altas temperaturas e enorme pressão resultante da explosão, a rocha nesta região comporta-se como um fluido.

Zona Plástica - Ocorre uma pulverização da rocha que, em virtude das altas tensões, atua no regime plástico.

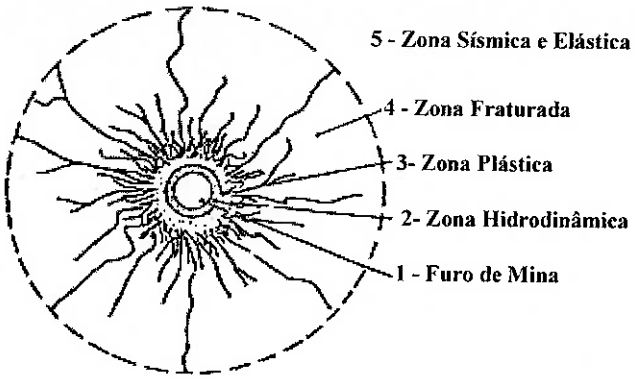


Figura 1 - Furo de mina e zonas próximas (AYRES da SILVA, 2005).

Zona Fraturada - A onda de choque, que se propaga por pulsos de compressão na superfície e no interior do maciço, produz em cada frente que se sucede tensões tangenciais de tração. Como a rocha tem baixa resistência à tração, estas tensões tangenciais de tração produzirão planos de trincas radiais que se estenderão desde a borda do furo de mina até ao ponto em que, pela dissipação da energia da onda de choque, as tensões de tração tornar-se-ão menores do que a resistência da rocha. O lugar geométrico desses limites de extensão das gretas (trincas) produzidas será necessariamente uma superfície aproximadamente circular que, em profundidade, corresponderá a um cilindro.

Zona Elástica - É a região além desse cilindro. É a região onde as tensões tangenciais das ondas de choque não mais ultrapassam a resistência à tração do maciço, não ocorrendo, portanto, fraturas radiais (gretas). Entretanto, as frentes da onda de choque, compressivas, possuem suficiente energia para atingir as superfícies (ou bordas) livres das bancadas (ou descontinuidades) e nelas se refletirem.

Esta reflexão das frentes de onda, as quais nesta distância dos furos de mina já terão raios iguais à distância entre o furo de mina e a face livre da bancada, se dará agora como frentes de onda de tração.

A Fase Dinâmica termina com o aparecimento gradativo das fraturas tangenciais a partir das faces livres, conforme esquema abaixo.

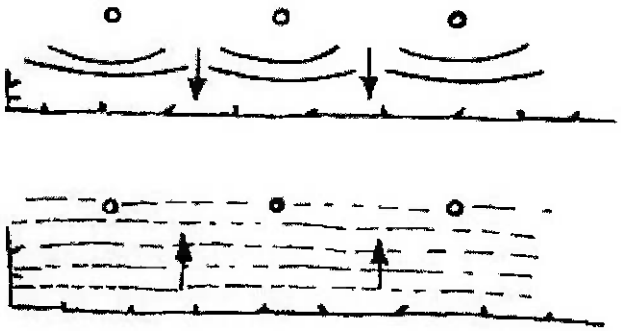


Figura 2 - Reflexão das ondas de choque (AYRES da SILVA, 2005).

Apresenta-se abaixo o modelo proposto pelo Prof. Fernando Mello Mendes que explica o fenômeno da reflexão das ondas de choque e o aparecimento de fraturas tangenciais (AYRES da SILVA, 2005).

Admitindo

$$p_e = \frac{\rho_e \times U^2}{4}$$

Onde p_e é a pressão exercida pela frente da onda de detonação.

E ρ_e é a massa específica do explosivo.

U é a velocidade de detonação do explosivo.

Pode-se calcular a tensão de compressão atuante na rocha que rodeia o explosivo:

$$\sigma i_0 = \frac{2}{1+m} * |p_e|$$

Onde m é a impedância da superfície de separação entre o explosivo a rocha. Ela caracteriza as condições de propagação da energia da onda de choque para a rocha, e vale a seguinte relação:

$$m = \frac{\gamma_e \bullet C_e}{\gamma_R \bullet C_R}$$

Onde γ_e e γ_R são os pesos específicos do explosivo e da rocha, respectivamente.

Onde C_e e C_R são as velocidade das ondas de choque no explosivo e na rocha, respectivamente.

Mas como a rocha não é um corpo elástico perfeito, a tensão de compressão σi_0 sofre atenuações, e a uma distância r do centro da carga de raio r_0, tem-se:

$$\sigma i = \left(\frac{r}{r_0}\right)^x \bullet \sigma i_0$$

Onde x varia de -1,5 e -2,5.

Usando o mesmo raciocínio para a interface rocha-ar, define-se uma impedância n:

$$n = \frac{\gamma_R \bullet C_R}{\gamma_A \bullet C_A}$$

Onde γ_A e γ_R são os pesos específicos do ar e da rocha.

C_A e C_R são as velocidades de propagação da onda longitudinal no ar e na rocha

Esta impedância n rege a distribuição da tensão de compressão σi em duas outras: σ_R (tensão de onda refletida, de tração) e σ_P (tensão de onda transmitida para o ar na forma de ruído), segundo as seguintes relações:

$$\sigma_R = \left(\frac{1-n}{1+n}\right) \cdot \sigma i$$

$$\sigma_P = \left(\frac{2}{1+n}\right) \cdot \sigma i$$

Como n é muito elevada, praticamente toda a energia da onda de choque incidente (compressiva) transfere-se para a onda refletida (de tração), que é o resultado das equações acimas quando $n \rightarrow \infty$ resultando, como simplificação.

$$\sigma_R = - \sigma i$$

$$\sigma_P = 0$$

A ocorrência de fraturas tangenciais, fenômeno que encerra a fase dinâmica, obedece à sequência apresentada no esquema abaixo (em seção transversal, no sentido de propagação da onda):

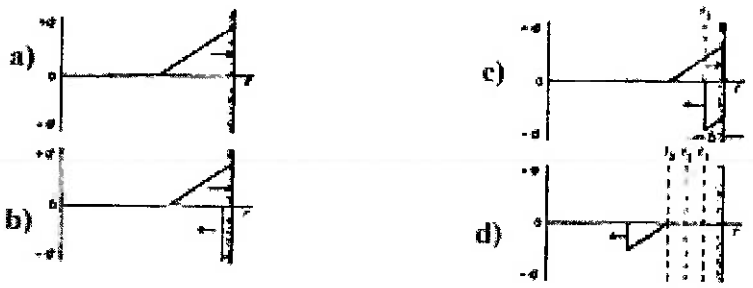


Figura 3 - Sequência de fraturamento (AYRES da SILVA, 2005).

No desenho (a) está representada a onda de choque incidente ao atingir a face livre. Em (b) já começam a atuar as tensões de tração refletidas da onda incidente. No desenho (c) a tensão de tração atinge o valor da resistência da rocha à tração, surgindo uma primeira fratura tangencial. Esta superfície passa a atuar como uma nova face livre e a parte remanescente da onda incidente passa a refletir nesta superfície, repetindo o fenômeno e dando origem a novas superfícies de ruptura. A partir de (d) as tensões de tração já não são suficientes para romper a

rocha, e não surgem novas fraturas tangenciais, terminando esta fase do processo de detonação.

A Fase Quasi-Estática recebe este nome por se tratar de um processo relativamente lento, cerca de 50 ms, contra os 5 ms da fase anterior.

É nesta fase que ocorre o desmonte propriamente dito, em função da influência da pressão dos gases do explosivo, que penetram nas gretas radiais, e depois nas tangenciais, separando os blocos e lançando toda a massa rochosa para frente.

Quando o volume frontal se move, ocorre um alívio de pressão, aumentando a tensão nas gretas primárias, que se inclinam. Se o afastamento (distância entre o plano dos furos e a superfície livre) não é muito grande, as gretas se estendem até a superfície livre, e ocorre o desprendimento total do bloco rochoso. Neste caso, é alcançado o maior efeito por furo e quantidade de carga explosiva. Por esta razão, o estudo da malha de perfuração e o cálculo da carga explosiva tornam-se vitais.

A figura 4 ilustra o efeito de arqueamento que ocorre na porção desmontada do maciço, o que contribui para aumentar a fragmentação do material rochoso por flexão.

Somam-se aí os efeitos dos gases que penetram e escapam pelas fendas verticais de tração e pelas fendas horizontais produzidas nessa fase.

Figura 4 - Desmonte em bancada (OLOFSSON, 1990).

4.2 A Teoria do Crateramento

A Teoria do Crateramento é uma das teorias básicas que permitem o desenvolvimento de muitos métodos de desmonte e fragmentação de rochas. Dentre eles está o desmonte subaquático (LIVINGSTON, 1956).

A Teoria define uma profundidade ou afastamento ideal da carga de explosivo à superfície livre, capaz de promover uma boa fragmentação sem que ocorra ultra lançamentos de rochas. Cargas esféricas ou cúbicas e, com boas aproximações, cargas cilíndricas curtas, podem ser detonadas no interior do maciço rochoso a ser desmontado, gerando crateras.

Na Figura abaixo, é mostrada as consequências da detonação de uma carga de 40 lb. de ANFO em função do afastamento da face livre.

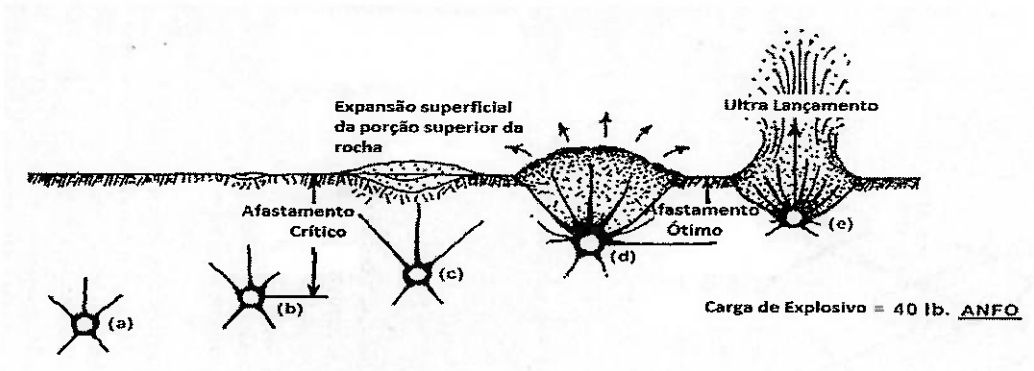


Figura 5 - Relação entre afastamento e fragmentação (LIVINGSTON, 1956).

A profundidade e a quantidade do explosivo são os parâmetros que irão definir a qualidade do desmonte.

Em (a), somente ocorrem fraturas no maciço próximo a carga. Em (b), começa o surgimento das primeiras rupturas na superfície, porém o maciço não é fragmentado. Na situação de (c) acontece o inicio da fragmentação do material, com fraturas que alcançam a superfície e o surgimento de expansão na superfície livre. Em (d), é obtida uma cratera característica, com o material acima da carga completamente fragmentado. Finalmente, em (e), também ocorre o crateramento, porém com um volume menor e maior fragmentação. Nesse caso, acontecem ultra lançamentos, ruído e uma cratera em forma de semiesfera.

Em distâncias próximas à superfície, conforme ilustra a Figura 6, a carga irá transmitir a maior parte da energia para a atmosfera, através de ultra lançamentos e, quando ela é posicionada em maiores profundidade, mais energia é transmitida à rocha, fragmentando-a e produzindo intensa vibração. A situação intermediária será a que irá criar a maior cratera.

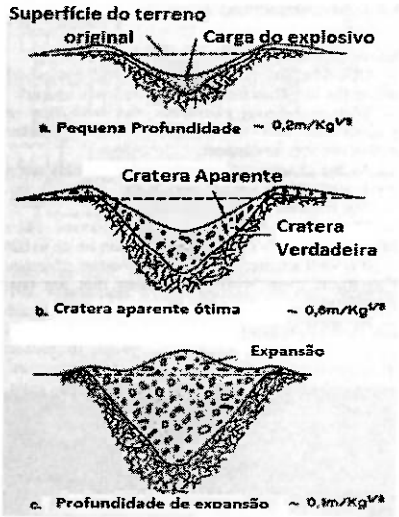


Figure 6 - Visão em corte da detonação (LIVINGSTON, 1956)

Nas cavidades criadas, três zonas concêntricas podem ser encontradas: a cratera aparente, a cratera real e a pilha de rocha fragmentada (Figura 7). Essa pilha esta dividida em uma zona de completa fragmentação e outra de extrema fragmentação.

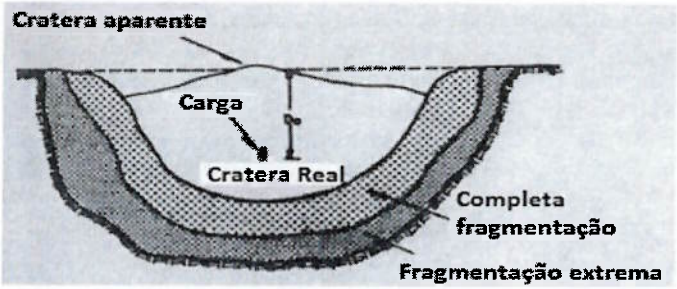


Figure 7 - Zonas de uma cratera (LIVINGSTON, 1956).

Os parâmetros para a detonação de crateras devem seguir uma Relação Comprimento/Diâmetro da carga que não deve ser maior que 6 para 1, para que sejam consideradas cargas esféricas.

A partir desse modelo foram propostas várias expressões que fogem ao escopo deste trabalho. Serão apresentadas no capítulo 4.3.3 Cálculo de Carga e Espaçamento, as equações propostas por Langefors e aperfeiçoadas por Hustrulid para o dimensionamento do desmonte subaquático.

4.3 Desmonte Subaquático

Todas as operações envolvidas no desmonte subaquático necessitam um maior grau de especialização e experiência do que o requerido para trabalhos em superfície. Assim, para resultados satisfatórios, devem-se considerar certos aspectos específicos para tal técnica:

- A perfuração e carregamento são usualmente feitos da superfície com equipamentos especiais.
- Razão de Carregamento Volumétrico são de 3 a 6 vezes maiores que os utilizados em bancadas e desmontes na superfície (a seco), em virtude da pressão adicional exercida pela coluna d'água que corresponde à profundidade do canal a ser derrocado.
- Cada desmonte deve ser bem feito, pois o desmonte secundário é extremamente complicado e caro.
- Explosivos e iniciadores devem possuir propriedades especiais para utilização subaquática e sob alta pressão hidrostática.
- Os efeitos do impacto ambiental em desmontes subaquáticos são mais visíveis, pois as vibrações no terreno são acompanhadas por componentes de baixa frequência, através dos quais as ondas de choque hidráulicas possuem um raio maior de ação.

4.3.1 Métodos de Execução

O desmonte por explosivos pode ser feito de duas maneiras, com ou sem perfuração. No primeiro caso, as maiores inconveniências são:

- Falta de precisão topográfica e informações sobre o maciço.
- Dificuldade de manter o furo aberto por um longo período de tempo.
- Dificuldade do controle de furação e desvio do furo.

- Planejamento e controle da operação são complexos.
- Risco de detonação por simpatia entre furos.
- Desmonte secundário e mecânico são caros.

Assim, nesse grupo, os principais métodos de operação são:

- Perfuração e desmonte com aterramento.
- Perfuração e desmonte com mergulhadores.
- Para locais rasos (até 4 m), o aterramento do local para posterior desmonte em superfície é vantajoso.
- Perfuração e desmonte a partir da superfície da água por navios, flutuadores, barcaças ou plataformas auto-elevatórias (acima do nível da água).

4.3.2 Desmonte por plataformas ou flutuadores

Esse último desmonte de superfície não possui um design especifico, pois essas estruturas são montadas e desmontadas de acordo com as características do projeto, o que pode elevar muito o custo de sua construção. A escolha também é influenciada pelas características do local, como ondas e marés. Perfuração por plataformas auto-elevadoras reduz as interrupções por agentes externos, tais como os efeitos de ondas, marés e etc.

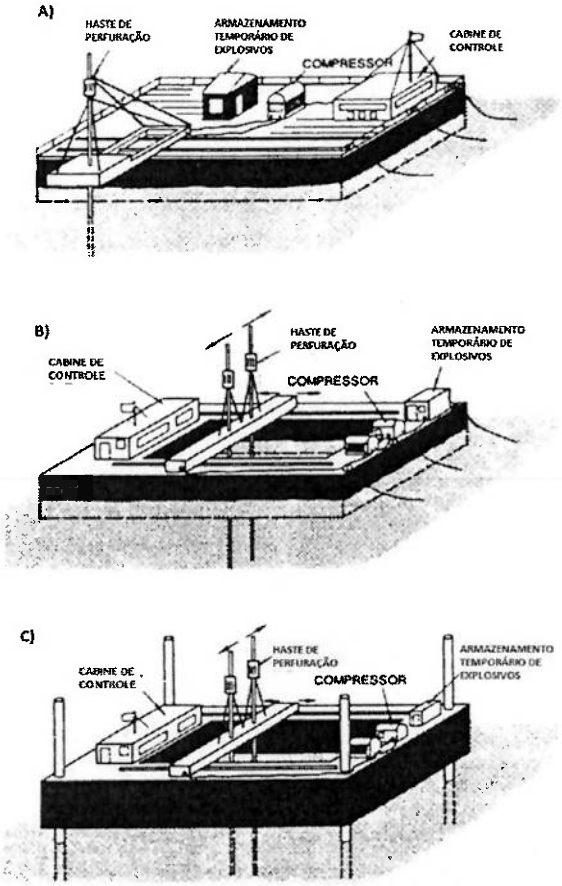


Figure 8 - Tipos de plataforma (JIMENO ET AL, 1995)

A área de trabalho da perfuração é dimensionada de acordo com o volume de escavação que, por sua vez, condiciona a quantidade de equipamentos essenciais e auxiliares necessários, tais como as perfuratrizes, compressores de ar e aquecedores, assim como geradores, cabos de ancoragem, cabrestantes, paiol, Casa de Máquinas, Centro de Operações, etc. Na figura acima (Figura 8), dois tipos de plataformas são mostrados, com a perfuratriz lateral (a) e central (b), assim com uma plataforma alto-elevatória (c). Tais equipamentos podem ser movidos tanto a ar comprimido como por eletricidade, e cuidados especiais devem ser tomados de forma a evitar a ignição dos explosivos por qualquer tipo de eletricidade estática ou de fuga.

Os objetivos de tais plataformas são maximizar o número de operações e furos, independentemente das condições do ambiente. Além disso, os equipamentos de perfuração são instalados em torres altas ou mastros que reduzem a necessidade da emenda de hastes.

Simultaneamente, as perfuratrizes podem ser montadas em pontes rolantes ou estruturas móveis que permitem que a plataforma flutuante fique parada enquanto operações de perfuração e carregamento são efetuadas, reduzindo ciclos de trabalho.

O ancoramento é feito de várias maneiras, o que inclui a fixação de vários pontos para evitar movimentos laterais. Para movimentos verticais, existem equipamentos especiais acoplados às perfuratrizes que mantém constante a pressão nas brocas. A maioria das operações é feita por ar comprimido, como brocas, içadores, etc. Porém, precauções devem ser tomadas quando se utiliza eletricidade como fonte de energia, para evitar a iniciação acidental dos explosivos.

As maiores vantagens desses métodos são:

- Perfuração e Carregamento em condições mais favoráveis.
- A visibilidade não influencia nas operações.
- Menor custo graças a menos horas de mergulhadores.

Por outro lado, o custo inicial para o aluguel ou construção dessas plataformas pode ser muito elevado.

Muitas vezes, no processo de perfuração, é utilizado o método OD ou ODEX de perfuração. O primeiro consiste em um tubo de revestimento com ponta de vídea que, assim que a camada de rocha é alcançada, penetra de 10 a 30 cm. Posteriormente, a perfuração é feita pela broca interna.

No sistema ODEX usado para rochas fracas ou muito fraturadas, a camisa de revestimento acompanha o furo em toda a sua extensão para escorar o material em perfuração.

4.3.3 Cálculo de Carga e Espaçamento

Lista-se a seguir os parâmetros, símbolos e unidades considerados no plano de fogo (HUSTRULID, 1999).

H_A = altura da lâmina d'água	(m)
H_R = altura da coluna de rocha	(m)
H_{MR} = altura do capeamento da rocha	(m)
Φ = diâmetro do furo de mina	(mm)
RC = CE = razão de carregamento volumétrico do explosivo	(kg/m^3)
q_L = razão de carregamento linear	(kg/m)
S = espaçamento	(m)
B = afastamento	(m)
VR/furo = volume de rocha desmontado por furo	(m^3)
VR/m de furo = volume de rocha desmontado por metro de furo	(m^3)
Q_B = quantidade de carga por furo de mina	(kg)
T = tampão	(m)
ρ_A = densidade da água	(g/cm^3)
ρ_R = densidade da rocha	(g/cm^3)
ρ_{MR} = densidade do overburden	(g/cm^3)
ρ_E = densidade do explosivo	(g/cm^3)

A diferença básica entre desmonte em bancadas e o subaquático é o fato do último ter apenas uma face livre horizontal. Além disso, o capeamento e a peso da lâmina d'água exercem pressão sobre o maciço rochoso e erros de furação podem causar uma má fragmentação e o risco de detonação por simpatia entre os furos. Ocorrerão, portanto, erros de cálculo se não forem considerados esses fatores. As fases para o cálculo dos padrões de perfuração e carregamento são as seguintes:

- Razão de Carregamento Volumétrico, CE (kg/m^3):

$$CE = 0{,}5\ (kg/m^3) + 0{,}1\ (kg/m^3) \times H_E \times 1\ (m^{-1})$$

Onde H_E é a altura teórica de rocha equivalente à coluna de água e de capeamento. Tal altura pode ser calculada da seguinte maneira:

$$He = \frac{\rho a}{\rho r} \times H_A + \frac{\rho mr}{\rho r} \times H_{MR} + H_R$$

Sendo que ρ_A, ρ_R, e ρ_{MR} são as densidades da água, rocha e capeamento. Os valores H_A, H_R, e H_{MR} são as alturas da água, rocha e capeamento.

Os valores de CE variam normalmente entre 0,5 e 3 kg/m^3, mas existe outro fator importante e determinante nos cálculos desses valores: a granulometria e tipo de dragagem relacionado. Na tabela 1, temos essa relação.

Tabela 1 – Relação entre CE, granulometria e tipo de draga (JIMENO ET AL, 1995).

Tipo de Draga	Top Size (cm)	CE (kg/m^3)
Caçamba	60	0,5 - 3
Cabeça Cortante	30	1
Crab / Grab	30	1
Retro-Escavadora	80	0,5 - 2,5

- Diâmetro dos furos, D (m):

Na tabela 2, os padrões recomendados são relacionados com as diferentes alturas de bancadas:

Tabela 2 – Diâmetro do furo x Altura da bancada (JIMENO ET Al, 1995)

Diâmetro do furo (mm)	Altura Bancada (m)
30	0-3
40	2-5
51	3-8
70	5-15
100	6-20

- Concentração de carga linear, q_L (kg/m):

$$q_L = \frac{\pi \times (\frac{D^2}{4}) \times \rho e}{1000}$$

- Área efetiva, Aa (m^2):

$$Aa = \frac{ql}{CE}$$

- Padrão da malha de perfuração, B, afastamento e S, espaçamento (m):

$$S = B, \text{ assim, } B = (Aa)^{1/2}$$

- Subfuração, J (m):

Para padrões quadrados J = B. Se o padrão for alternado ou a rocha apresentar fratura na extremidade inferior, então deverão ser feitas as modificações mostradas na tabela 3.

Tabela 3 – Modificações em função do Ângulo de Quebra (JIMENO ET AL, 1995).

Padrão	Ângulo de Quebra		
	90°	80°	70°
Quadrado	0,70 B	0,88 B	B
Alternado	0,56 B	0,70 B	0,90 B

- Volume desmontado, VR (m):

Esse é o volume nominal mais o valor da subfuração, desmontado na forma de um cone.

$$VR = Aa \times (H + J/3)$$

- Carga por furo, Q_B (kg):

$$Q_B = CE \times VR$$

- Altura da carga, l (m):

$$l = Q_B / q_L$$

- Comprimento do Tampão, T (m):

$$T = L - l$$

Usualmente, o tampão tem extensão de 15 D, com um valor mínimo de 50 cm, mas, se não há limitações, os furos de mina podem ser carregados completamente, já que a água servirá como tampão, confinando os gases da detonação.

4.3.4 Carregamento e Iniciadores

Feito a mão ou por dispositivos movidos a ar comprimido ou pressão d'água. Tais dispositivos possuem muitas vantagens, porém a mais importante é a densidade de carga alcançada. Como consequência, a malha de furos pode ser mais espaçada, reduzindo custos de perfuração e o perigo de detonação por simpatia, que é, em muitas ocasiões, devido à falta de alinhamento dos furos.

Com tais dispositivos de carregamento, a concentração de carga cresce entre 15 e 40% a mais do que os feitos a mão.

O método sugerido é a introdução de uma mangueira no furo que deverá abaixar a pressão para 300 kPa, dando impulso para que os cartuchos sejam depositados na câmara, que possui uma válvula de segurança e fechamento automático. A produtividade pode atingir 300 kg/hora por trabalhador com cartuchos de 25 mm. Para uma profundidade maior do que 20 m, é sugerido a utilização da pressão de água para permitir essa impulsão, reduzindo a pressão inversa.

Se esse sistema não for utilizado, podem-se usar explosivos de cargas pré-fabricadas, envoltos por tubos plásticos e com o cartucho por dentro.

Os iniciadores são lançados junto da carga, e recuperados por uma espécie de anel (Figura 9). Após, é feita a retirada do tubo de perfuração. Conectores, para assegurar o isolamento, são colocados acima do nível da água em flutuadores ou boias.

Caso os detonadores elétricos ou TTOC (Transmissor Tubular de Ondas de Choque) sejam utilizados, especialmente em detonações muito profundas, é recomendado o uso de dois detonadores por furo, e estes devem ser colocados, por segurança, por último dentro do furo. Além disso, tais detonadores devem possuir características e *design* apropriado para o uso em detonação subaquática.

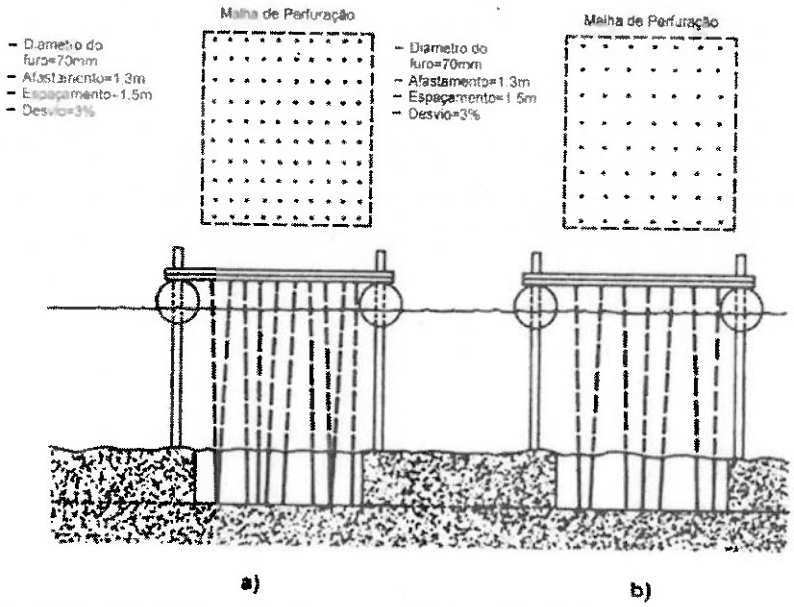


Figura 9 – Diferença entre o carregamento Manual (a) e o Mecânico (b) (JIMENO ET AL, 1995).

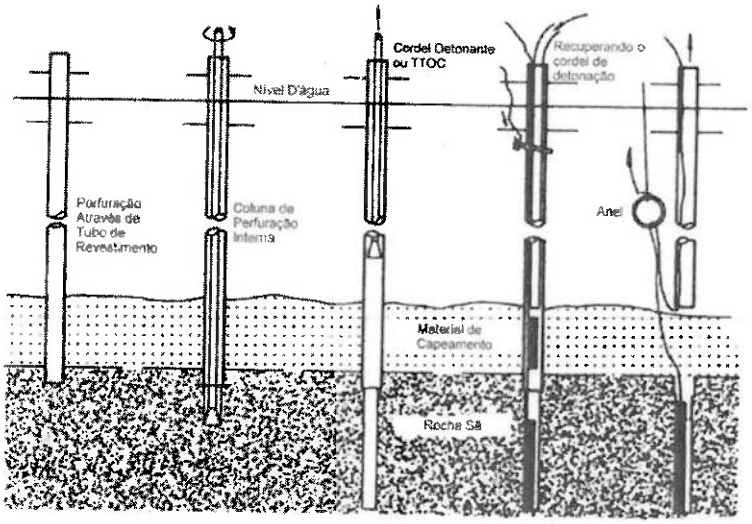


Figura 10 – Sequência de Carregamento dos Furos (JIMENO ET AL, 1995).

4.3.5 Tipos de Explosivos

Os explosivos usados para esse tipo de trabalho devem possuir uma composição química tal que sua sensibilidade não seja alterada pelo contato com a água. Isso pode ser alcançado com uma alta concentração de nitroglicerina, que, por outro lado, pode fazer com que aumente o perigo de ocorrer *flash-over* entre furos. De acordo com Langefors, a fórmula da distância segura de detonação por simpatia (DS) em função do carregamento linear, é como segue:

$$q_L \text{ (kg/m)} \geq 0{,}75 \text{ DS2 (m)}$$

Atualmente, o desenvolvimento de lamas explosivas e emulsões trouxeram grande segurança e produtividade às detonações, assim como a redução de vibrações graças à menor chance de ocorrerem tais iniciações por simpatia, além da redução do perigo nas operações de dragagem se algum explosivo falhar.

4.3.6 Impactos Associados

4.3.6.1 Vibração do Solo

As vibrações no solo são mais importantes quando o explosivo está em furos de mina. Além disso, as ondas de choque são acompanhadas por componentes de baixas frequências. Este aspecto do problema está sendo considerado detalhadamente no ANEXO F (DISTÂNCIA ESCALADA).

O projeto apresentado no Estudo de Caso teve como objetivo proteger as estruturas do cais do porto das detonações que serão realizadas em diversos pontos do canal, nas operações de derrocamento e dragagem, portanto o sistema de controle de vibração será a utilização do controle da quantidade de carga que será detonada por furo.

As razões de carregamento linear (quantidade de explosivo por comprimento unitário da coluna), bem como a razão de carregamento volumétrico (quantidade de explosivo por volume de rocha desmontado) foram fixadas de acordo com a teoria exposta no item 4.3.3. Os limites de vibração adotados são aqueles definidos pela norma brasileira correspondente, conforme ANEXO F (DISTÂNCIA ESCALADA).

No Projeto foi ressaltado que previamente à execução dos trabalhos deve-se assegurar, com a participação e aprovação da fiscalização, **que os testes sismográficos**, sejam realizados de forma a definir-se a velocidade máxima da partícula material em função das vibrações, bem como sua frequência, em função da quantidade de explosivos por espera e da distancia dos pontos de detonação, para o ajuste do plano de fogo (e consequentes quantidades de explosivos por espera) para as condições especificas dos locais a serem protegidos.

4.3.6.2 Onda de Choque Subaquática

A consequência das ondas de choque no meio aquoso, normalmente designadas por ondas hidrodinâmicas é o eventual dano a estruturas e embarcações próximas, mergulhadores e fauna existente. Na água, a energia da explosão é transmitida com grande eficiência, dada a baixa compressibilidade do líquido, o que significa que essa onda possui alto poder destrutivo, mesmo a longas distancias, assim como a velocidade de propagação da mesma, que decresce assim que a distância do ponto de detonação aumenta, até que atinge a velocidade sônica (VH) de 1435 m/s.

Nos gráficos a seguir são ilustradas as consequências relativas à segurança observadas pela propagação das ondas de choque hidrodinâmicas sobre estruturas e seres vivos. No gráfico da figura 11 observa-se a relação entre a distância escalada e a sobrepressão (MPa) na água como consequência da onda de choque tanto para carga suspensa quanto para carga em furo de mina.

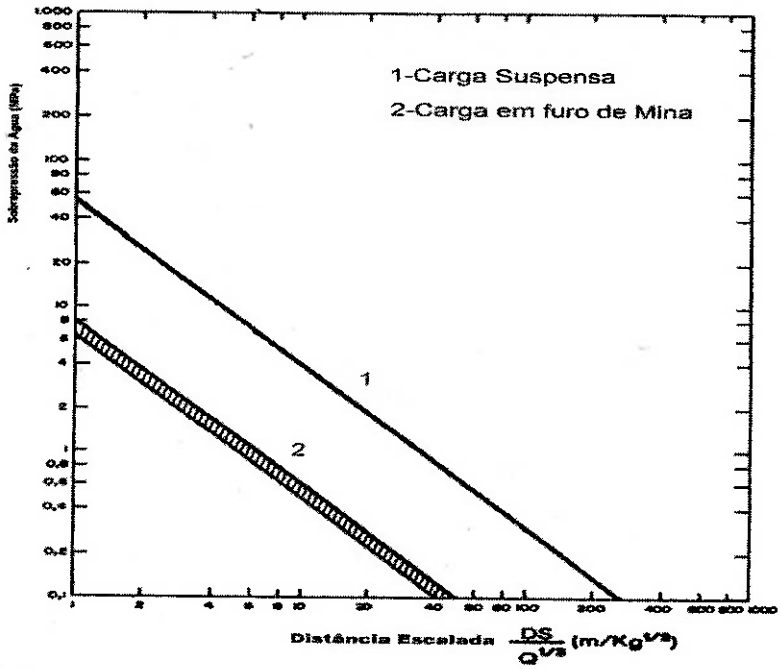


Figura 11 – Sobrepressão da água em função da distância das cargas (JIMENO ET Al, 1995).

O gráfico da figura 12 apresenta as faixas de distâncias distribuídas em função de sua letalidade sobre seres humanos em função da quantidade de explosivos em furos de mina por espera.

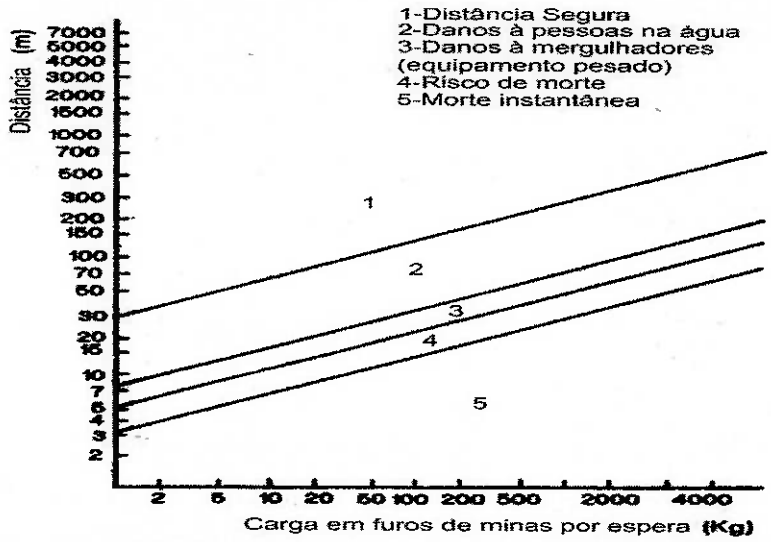


Figura 12 – Distância de Segurança em função da carga de explosivo (JIMENO ET AL, 1955).

No Projeto executado, utilizando-se as equações apresentadas abaixo, foram calculadas as distâncias mínimas de segurança para que a onda de choque hidrodinâmica, gerada pela detonação, não afetasse os objetos submersos na vizinhança. Foram admitidas três condições, em função da densidade do explosivo utilizado (0,8-1,0-1,2g/cm³).

O plano de fogo correto requer, portanto, conhecimento básico das leis de pressão, impulsão e duração das ondas subaquáticas. Na prática, as equações mais usualmente utilizadas são aquelas dadas por Cole (JIMENO ET AL, 1997). Para cargas 'livres' de TNT (PTNT = 1,52 g/cm³), as equações de pressão e impulsão estão dadas abaixo:

PRESSÃO

$$P_h(\mathrm{MPa}) = 55{,}5 \times \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{DS}\right)^{1-1{,}3}$$

IMPULSÃO

$$I_h(\mathrm{Pa.s}) = 5760\,\sqrt[3]{Q} \times \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{DS}\right)^{0{,}89}$$

Quando o explosivo utilizado não for o TNT existe a necessidade da utilização de um fator de correção uma vez que as expressões foram obtidas para o TNT. O fator de correção é dado pela expressão a seguir

$$C^* = \frac{VD^2 \times \rho_e}{VD^2_{TNT} \times \rho_{TNT}}$$

O pico primário de pressão das cargas que detonam dentro das furações em rocha é 10 ou 15% menor que aquele correspondente a cargas suspensas.

O raio encontrado pelos cálculos (Rb) foi multiplicado por fatores convenientes de segurança (R4, R8, R12) que variam de acordo com o tipo de objeto submerso, desde estruturas até embarcações e flutuadores. Esses fatores de segurança foram retirados da literatura e são valores admitidos válidos internacionalmente e expostas no item de fatores de segurança para pressões hidrodinâmicas.

Também pelas equações acima foram calculadas tanto a pressão gerada pela detonação para as distâncias escaladas (DS) mínima e máxima, para diferentes carregamentos (Qb).

4.3.6.3 Fatores de Segurança para pressões hidrodinâmicas

A pressão máxima alcançada na carga é de 10^7 kPa, e a partir deste valor decresce até 10^4 kPa a uma grande distância. No entanto, o impulso dura um curto período de tempo, tão curto que é medido em centenas de microssegundos.

Raadt (RAADT, 1976) introduziu um novo método empírico baseado no conceito de Fronteira de Bolhas do qual se estima a distancia e quantidades máximas de cargas suspensas permitidas de modo a não danificar objetos submersos nas proximidades. O calculo de tal parâmetro é retirado da equação:

$$R_b(m) = 1{,}5 \times Q^{\frac{1}{3}}(kg)$$

Q = Carga de Explosivos

Como o dano pode ocorrer dentro daquela distancia, a seguinte condição deve ser satisfeita:

$$R_0(m) = FS \times R_b$$

FS é o fator de segurança definido em função do tipo de estrutura ou objeto que deverá ser protegido e a sua profundidade subaquática. Os valores indicados acima deverão ser aumentados quando os objetos estiverem a maiores profundidades que os definidos, assim como quando as cargas suspensas forem maiores.

Para construções hidráulicas, pilares de pontes, construções metálicas ou similares, para uma profundidade submersa e profundidade de carga até:

6 m	FS = 2-3
15 m	FS = 3-4

Para embarcações, incluindo dragas, flutuadores ou similares, para uma profundidade de carga de até 15 m e um calado de até:

1 m	FS = 4-5
2 m	FS = 5-8
4 m	FS = 8-12
10 m	FS = 12-18

Em outro contexto, as ondas de impacto subaquáticas podem ferir mergulhadores, se eles estiverem próximos o suficiente das detonações. H. Wolff, em 1976, com suas experiências na marinha americana estabeleceu uma formula empírica para calcular as distancias de segurança quando utilizando cargas suspensas livres:

$$DS = 225 \sqrt[3]{\frac{Q}{\rho_e}}$$

Q = Massa do Explosivo (kg)

ρ_E = Densidade do explosivo

A máxima pressão que um mergulhador pode suportar, sem proteção especial, varia entre 0,172 MPa e 0,34 MPa, e o limiar de provável morte está em 2,06 MPa (WOLFF, 1976).

Um dos procedimentos mais comuns para combater a pressão de uma onda de choque é circundar a zona de detonação com uma cortina de bolhas de ar para isolá-la do restante das vizinhanças. Foi demonstrado que um fluxo de ar de 1,0 l/m.min a sobrepressão é reduzida em dez vezes, assim como ao dobrar o fluxo, ela é reduzida em 70 vezes. Isso é lógico, não apenas pelo maior volume de ar, mas pelas bolhas menores terem proporcionalmente maior área significativa que as bolhas maiores, para a mesma quantidade de ar.

A cortina de bolhas de ar é produzida colocando-se um ou dois tubos de aço paralelos no fundo pelos quais o ar comprimido é bombeado. O ar escapa por pequenas perfurações nos tubos, formando bolhas que flutuam para a superfície.

Abaixo, as dimensões dessas instalações são definidas:

Diâmetro dos tubos	50 mm
Separação das perfurações	100 mm
Diâmetro das perfurações	1,5-3 mm
Pressão do Ar	686 kPa ou 7 kg/cm²
Fluxo de ar por metro	0,13 l/m.s

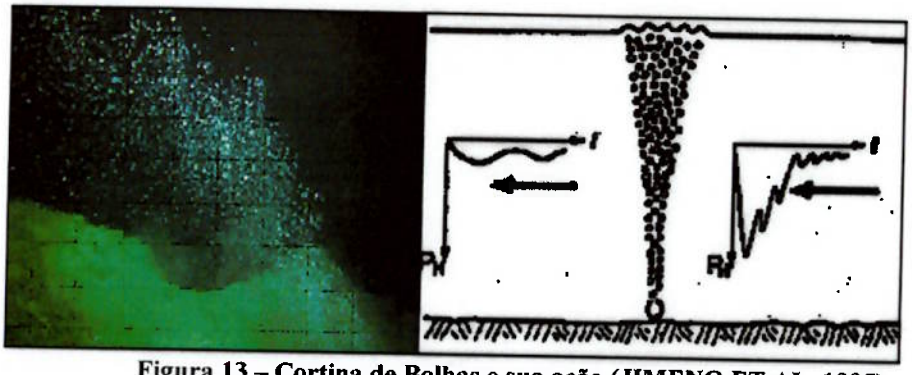


Figura 13 – Cortina de Bolhas e sua ação (JIMENO ET AL, 1995)

5 CASO ESTUDADO: PROJETO EXECUTIVO PARA DERROCAMENTO DAS ROCHAS DOS ACESSOS AQUAVIÁRIOS DO PORTO DE VITÓRIA

A expansão do Porto de Vitória visa à adequação da profundidade do canal de acesso de acordo com os critérios mínimos recomendados pela NBR 13246, Item 3.13 (ABNT, 1995). Essa profundidade deve permitir a passagem do Navio de Projeto estabelecido pela CODESA. São considerados para o cálculo da profundidade de projeto os seguintes itens:

- Calado do Navio de Projeto.
- Movimentos verticais devido à influência das ondas.
- Folga de acordo com a Natureza do Fundo.
- Tolerância da Dragagem.

A partir dos critérios de projeto foi definido que seria necessário o derrocamento das regiões do canal de acesso que não atendessem à Profundidade Mínima para a passagem do Navio de Projeto, definida em 14 metros.

Através de análises batimétricas do leito do canal, foi concluído que seria necessário o derrocamento de 28 regiões do canal de acesso do Porto de Vitória. Com o escopo do Projeto definido, a equipe responsável pelo projeto definiu a metodologia a ser utilizada e os procedimentos a serem seguidos. Foi criado um Plano de Execução dos Trabalhos e elaboradas as Propostas de Ações para minimizar os efeitos do desmonte subaquático. A metodologia a seguir descrita, o será apenas para a operação e utilização de um conjunto de perfuração e desmonte, isto é, a descrição dos procedimentos adotados em uma plataforma de perfuração embora, durante a execução do derrocamento sejam utilizadas 3 plataformas.

- Posicionar, estabilizar e ancorar as plataformas ou flutuadores (balsas) para os serviços de perfuração e carregamento dos furos com explosivos, conforme definido no plano de execução ANEXO E (Posicionamento de Plataformas de Perfuração)
- Executar os furos nos pontos indicados em projeto, dentro dos limites previstos de desvio de emboque e alinhamento.
- Verificação da posição dos furos, bem como os desvios, para correção do carregamento com os explosivos aprovados para a operação, garantindo sua correta aplicação tanto em volume quanto em comprimento de carga. Levar em conta as eventuais correções necessárias em consequência de desvios na furação.
- Deslocamento do flutuador para uma distancia segura, instalar os sistemas de proteção indicados na região de desmonte e, dadas as condições favoráveis, executar a detonação.
- Reiniciar o ciclo reposicionando o flutuador na posição seguinte prevista no plano de execução.
- Após um período conveniente de desmonte, as operações serão paralisadas para executar a remoção e transporte para bota-fora do material derrocado, quando necessário. A definição desses períodos ocorrerá em função do local em desmonte e do volume do material acumulado.

5.1 Sistemas de proteção ao meio ambiente e edificações vizinhas

Os maiores problemas ambientais relacionados ao desmonte por explosivos conforme já discutido na Revisão Bibliográfica (Capítulo 4) podem ser resumidos em uma simples frase: são manifestações decorrentes da energia em excesso, que ultrapassa a quantidade necessária ao trabalho único de desmonte da rocha.

Assim, no caso do desmonte subaquático, as manifestações principais desses excessos de energia como visto anteriormente ocorrem sob duas formas:

5.1.2 Vibrações do terreno

O controle das vibrações do terreno foi projetado para dar-se por três caminhos. Execução de linhas de descontinuidade, nas profundidades e posições que constam nas tabelas apresentadas no ANEXO G (Tipos de Desmonte e Cálculo das Valetas). Tais linhas, que poderão ser valas escavadas com a utilização de argamassa expansiva, tem a finalidade de isolar, das vibrações, as áreas que eventualmente necessitem de proteção, pela reflexão das ondas de choque em suas paredes.

O segundo meio de controle das vibrações é através das quantidades de explosivos que serão detonados em cada espera, conforme o plano de fogo, e que está apresentado no ANEXO B (Cálculo dos Parâmetros dos Planos de Fogo). A partir dessas informações foram calculadas linhas de corte para reflexão das ondas de choque utilizando espoletas eletrônicas, sendo esse o terceiro método.

Os cálculos das distâncias seguras que definiram as áreas de derrocamento que precisarão de linhas de descontinuidades, ou não, estão resumidos nas tabelas do (ANEXO F – Distância Escalada).

Foram calculadas, com o uso das equações pertinentes já apresentadas, as razões de carregamento linear, q_L, bem como a razão de carregamento volumétrico, CE. Os limites de vibração adotados são aqueles definidos pela norma brasileira correspondente (ANEXO F – Distância Escalada).

Conforme indicado no item 4.3.6.1 Vibração do Solo, foi imposto como condição de boa técnica que a empresa contratada para a execução dos trabalhos assegure, **que os testes sismográficos iniciais**, sejam realizados de forma a definir a velocidade máxima da partícula material em função das vibrações, bem como sua frequência, em função da quantidade de explosivos por espera e da distancia dos pontos de detonação, para a definição da equação local da distância escalada.

5.1.2 Pressão Hidrodinâmica

O controle da pressão hidrodinâmica, gerada também pelas detonações dos explosivos, foi verificado por dois caminhos: o primeiro, através da quantidade de explosivos por espera,

conforme detalhado no Capítulo 4 e ilustrado nas tabelas do ANEXO D (Distância Segura x Valores de Carga), e que está sendo combinado com o controle de vibrações para determinação das cargas por espera.

Outra forma de controlar a pressão hidrodinâmica é através da cortina de bolhas. Trata-se de envolver a zona de detonação com uma cortina de bolhas, isolando-a, conforme exposto no item 4.3.6.3 "Fatores de Segurança para pressões hidrodinâmicas".

6 RESULTADOS

Os dados de interesse para as áreas de derrocamento do Porto de Vitória através da perfuração e desmonte por explosivos podem ser resumidos nas tabelas 4 a 6, apresentados nas folhas seguintes:

Tabela 4 – Dados estatísticos das áreas de derrocagem

		AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	AD6	AD7	AD8	AD9	AD10
	No. Furos	218	752	942	1444	1580	944	2928	575	968	144
	Comprimento Médio (m)	2,35	4,74	3,13	2,61	5,68	4,29	5,82	8,86	3,76	4,89
	Comprimento Máximo (m)	3,12	7,44	4,79	3,89	11,30	12,39	14,01	13,97	13,53	5,76
	Comprimento Mínimo (m)	2,05	1,96	2,03	2,04	2,00	2,04	2,00	1,93	1,96	4,16
	Desvio Padrão	0,19	1,59	0,61	0,39	2,75	2,68	3,61	3,63	1,36	0,38
Comprimentos Agrupados	entre 0 e 1,0m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	entre 1,0 e 2,0m	0	10	0	0	2	0	9	12	12	0
	entre 2,0 e 3,0m	215	136	392	1166	325	441	829	53	348	0
	entre 3,0 e 4,0m	3	111	473	278	201	124	425	23	186	0
	entre 4,0 e 5,0m	0	135	77	0	199	101	304	17	243	92
	entre 5,0 e 6,0m	0	143	0	0	180	77	197	22	139	52
	entre 6,0 e 7,0m	0	189	0	0	181	49	174	20	29	0
	maior que 7,0m	0	28	0	0	492	152	990	428	11	0
	Extensão de Furação (m)	513	3563	2952	3764	8967	4046	17036	5095	3643	703
	Extensão total das colunas de Explosivos (m)	366	2995	2328	2777	7670	3313	13984	4444	2807	608
	Qb - Carga Total de Explosivos (kg)	896	7338	5706	6807	18803	8121	34280	10894	6882	1491
	Volume Médio por Furo (m^3)	3,58	7,22	5,03	4,08	8,08	6,50	4,65	11,77	5,69	4,50
	Volume de Subfuração (m3)	166	438	680	1086	891	614	1587	248	564	97
	Volume de Rocha Desmontado (m^3)	781	5432	4741	5897	12768	6131	21605	6769	5511	648
	Volume a ser Transportado (m^3)	1017	8078	6634	7916	19182	8950	32345	10484	8029	901

OBS: (1) Volume de Rocha a ser desmontado considera o volume de subfuração

(2) Volume a ser transportado considera empolamento de 60% mais 20% da subfuração

Tabela 5 – Dados estatísticos das áreas de derrocagem

		AD21	AD22	AD23	AD24	AD25	AD26	AD27	AD28	Total
No. Furos		813	407	244	249	130	37	185	548	19507
Comprimento Médio (m)		2,76	2,77	3,30	2,80	2,33	2,34	2,33	3,97	4,63
Comprimento Máximo (m)		4,00	4,43	3,87	3,60	2,58	2,58	2,69	4,86	14,01
Comprimento Mínimo (m)		2,05	2,11	2,83	2,13	2,09	2,09	2,07	3,25	1,93
Desvio Padrão		0,51	0,41	0,15	0,37	0,14	0,16	0,17	0,37	2,51
Comprimentos Agrupados	entre 0 e 1,0m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	entre 1,0 e 2,0m	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	entre 2,0 e 3,0m	530	311	2	170	130	37	185	0	6245
	entre 3,0 e 4,0m	283	96	242	79	0	0	0	308	3186
	entre 4,0 e 5,0m	0	4	0	0	0	0	0	240	2847
	entre 5,0 e 6,0m	0	0	0	0	0	0	0	0	2922
	entre 6,0 e 7,0m	0	0	0	0	0	0	0	0	1706
	maior que 7,0m	0	0	0	0	0	0	0	0	2560
Extensão de Furação (m)		2245	1137	806	697	303	87	432	2175	90413
Extensão total das colunas de Explosivos (m)		1699	844	628	514	205	58	289	1753	75085
Qb - Carga Total de Explosivos (kg)		4165	2070	1540	1260	501	142	709	4296	184058
Volume Médio por Furo (m^3)		4,51	3,82	4,83	3,88	3,23	2,74	3,19	2,76	5,32
Volume de Subfuração (m3)		624	366	207	219	110	31	151	387	12687
Volume de Rocha Desmontado (m^3)		3670	1568	1178	965	419	101	590	1511	111776
Volume a ser Retirado (m^3)		4998	1997	1595	1237	517	118	733	1875	161081

OBS: (1) Volume de Rocha a ser desmontado considera o volume de subfuração

(2) Volume a ser transportado considera empolamento de 60% mais 20% da subfuração

Tabela 6 – Valas para isolamento do cais das vibrações produzidas pelo derrocamento das pedras

Áreas de Derrocagem com presença de vala	Utilização de Argamassa Expansiva		Utilização de Espoleta Eletrônica
	No. Furos Vazios	No. Furos Preenchidos com argamassa	No. Furos
	51 mm	35 mm	51 mm
AD5	-	-	58
AD7	870	1740	-
AD8 E AD9	-	-	517
AD10	-	-	71
AD11	-	-	284
AD14	-	-	203
AD16	306	613	-
AD17	132	265	-
AD18	203	405	-
AD19	-	-	48
AD20	-	-	135
AD22	-	-	219
AD23	-	-	31
AD24	-	-	55
AD25	-	-	131
AD26	-	-	21
AD27	-	-	130
AD28	-	-	207
TOTAL	1511	3022	2110

7 DISCUSSÃO

O trabalho apresenta em detalhe vários aspectos e dados relativos ao caso tomado como base de estudo: o Projeto Executivo de Derrocamento das Rochas dos Acessos Aquaviários do Porto de Vitória.

À primeira vista poder-se-ia imaginar que tais preocupações fossem dispensáveis. O autor, porém quis demonstrar que inúmeros detalhes, tal como a interação entre o cuidado com a distância segura das vibrações resultantes das detonações e os cuidados com as distâncias das ondas de choque hidrodinâmicas, inserem-se no mesmo contexto e não podem ser examinadas divorciadamente. Ambas fazem parte das consequências indesejáveis do desmonte subaquático e devem ser igualmente minimizadas ou, pelo menos, controladas.

Os mecanismos de seu controle estão implícitos no entendimento de como ocorrem os fenômenos decorrentes da ação dos explosivos, daí o detalhamento de sua apresentação.

Por isso o Trabalho apresentado pretendeu demonstrar um amplo enfoque das possíveis formas de exercer este controle, como foi executado no Projeto ilustrativo.

8 CONCLUSÕES

Conclui-se que é possível minimizar os efeitos indesejáveis do desmonte subaquático, desde que sejam tomados os cuidados pertinentes quando de sua execução.

Demonstra-se que, como normalmente ocorre nos casos de aplicação tecnológica, é imprescindível o melhor conhecimento possível dos fenômenos envolvidos nos processos que geram impactos de quaisquer natureza, em seu entorno físico, para que seja possível controla-los ou, ou pelo menos, pretender fazê-lo.

O estudo de caso apresentado pelo autor, que decorre de um projeto no qual participou ativamente, representa uma oportunidade ímpar para a melhor visualização das técnicas possíveis de utilização para objetivos pretendidos.

Pode-se afirmar, com certeza, como atestado pela Secretaria Especial de Portos, da Presidência da República, que a metodologia desenvolvida para o dimensionamento dos planos de fogo e os cuidados com a sistemática de controle das consequências indesejáveis do Desmonte Subaquático, estão sendo utilizados como referência para avaliação da qualidade de projetos similares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas.** (NBR 9653). Associação Brasileira de Normas e Técnicas, 2005.

ABNT. **Planejamento portuário – Aspectos náuticos – Procedimentos.** (NBR 13246). Associação Brasileira de Normas e Técnicas, 1995.

AYRES da SILVA, L. A. **A influência dos desmontes por explosivos na estabilidade dos taludes.** In **Geomecánica aplicada a la pequeña minería.** Proyecto Cyted XIII.3. Argentina, 2005.

CREA-SP. **O Código de Ética Profissional da Engenharia, da Arquitetura, da Agronomia, da Geologia, da Geografia e da Meteorologia.** Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de São Paulo. Edição 2010.

HUSTRULID, W. **Blasting Principles for Open Pit Mining Vol 2 – Theoretical Foundations.** A.A.BALKEMA/ROTTERDAM/BROOKFIELD, 1999.

JIMENO, C.L, JIMENO, E. L e CARCEDO, F. J. A. **Drilling and blasting of rocks.** Geomining Technological Institute of Spain, 1997.

LANGEFORS, V. e KIHLSTRÖM, B. **The Modern Technique of Rock Blasting.** Gebers Förlag AB, Estocolmo, 1973.

LIVINGSTON, C. W. **Fundamentals of Rock Failure.** Colorado School of Mines, 1956.

OLOFSSON, S. O. **Applied Explosives Technology for Construction and Mining.** Nora Boktryckeri AB, 1991.

RAADT, B. **Shockwave – Critical charge distances to objects in water.** S.E.E., 1976.

ROSENTHAL, M. F; MORLOCK, G. L. **Blasting guidance manual.** US Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, Washington – DC, 1987.

WOLFF, H. **Die Marine Rohstottgewmunung Unter Einsatz der Bohrund-Sprengtechnik.** Erzmetall, 1976.

ANEXOS

A – Pressão Hidrodinâmica x Distância Segura

SECRETARIA DE PORTOS

PRESSÃO HIDRODINAMICA X DISTÂNCIA SEGURA
Limites seguros para fatores de segurança de 1 a 12
Cota de derrocagem = 14m
Densidade do explosivo = 0,8 g/cm³

DS Max 73.14
DS Min 39.25

FS	H_{agua} (m)	H_{rocha} (m)	Φ (mm)	Q_b (kg)	R_b (m)	R_4 (m)	R_8 (m)	R_{12} (m)	Explosivo: TNT – Fator de Segurança 1 – Carga Livre – Pressao(MPa) Min	Max	C	Explosivo: Emulsão – Carga Livre – Pressao (MPa) Min	Max	Carga em Furo de – Pressao (MPa) Min	Max
4	0	14	32	9.10	3.13	12.53	25.05	37.58	1.00	2.02	0.28	0.28	0.56	0.25	0.50
8	1	13		8.45	3.06	12.22	24.45	36.67	0.97	1.96		0.27	0.54	0.24	0.49
12	2	12		7.81	2.98	11.91	23.81	35.72	0.94	1.90		0.26	0.53	0.23	0.47
	3	11		7.17	2.89	11.57	23.14	34.71	0.91	1.84		0.25	0.51	0.23	0.46
	4	10		6.53	2.80	11.21	22.43	33.64	0.88	1.78		0.24	0.49	0.22	0.44
	5	9		5.89	2.71	10.83	21.67	32.50	0.85	1.71		0.23	0.47	0.21	0.43
	6	8		5.25	2.61	10.43	20.85	31.28	0.81	1.64		0.22	0.45	0.20	0.41
	7	7		4.61	2.50	9.98	19.96	29.95	0.77	1.56		0.21	0.43	0.19	0.39
	8	6		3.96	2.37	9.50	18.99	28.49	0.73	1.47		0.20	0.41	0.18	0.37
	9	5		3.32	2.24	8.95	17.91	26.86	0.68	1.38		0.19	0.38	0.17	0.34
	10	4		2.68	2.08	8.34	16.67	25.01	0.63	1.27		0.17	0.35	0.16	0.32
	11	3		2.04	1.90	7.61	15.22	22.83	0.57	1.15		0.16	0.32	0.14	0.29
	12	2		1.40	1.68	6.71	13.43	20.14	0.49	1.00		0.14	0.28	0.12	0.25
	13	1		0.76	1.37	5.48	10.95	16.43	0.39	0.79		0.11	0.22	0.10	0.20
	13.5	0.5		1.08	1.54	6.16	12.33	18.49	0.45	0.90		0.12	0.25	0.11	0.22
	0	14	41	14.97	3.70	14.79	29.58	44.37	1.20	2.43		0.33	0.67	0.30	0.60
	1	13		13.92	3.61	14.43	28.87	43.30	1.17	2.37		0.32	0.65	0.29	0.59
	2	12		12.87	3.52	14.06	28.12	42.18	1.14	2.30		0.31	0.63	0.28	0.57
	3	11		11.82	3.42	13.67	27.33	41.00	1.10	2.22		0.30	0.61	0.27	0.55
	4	10		10.76	3.31	13.25	26.49	39.74	1.06	2.15		0.29	0.59	0.26	0.53
	5	9		9.71	3.20	12.80	25.60	38.40	1.02	2.07		0.28	0.57	0.25	0.51
	6	8		8.66	3.08	12.32	24.64	36.96	0.98	1.98		0.27	0.55	0.24	0.49
	7	7		7.61	2.95	11.80	23.60	35.40	0.93	1.88		0.26	0.52	0.23	0.47
	8	6		6.55	2.81	11.23	22.46	33.69	0.88	1.78		0.24	0.49	0.22	0.44
	9	5		5.50	2.65	10.59	21.19	31.78	0.83	1.67		0.23	0.46	0.21	0.41
	10	4		4.45	2.47	9.87	19.74	29.61	0.76	1.54		0.21	0.43	0.19	0.38
	11	3		3.40	2.26	9.02	18.05	27.07	0.69	1.39		0.19	0.38	0.17	0.35
	12	2		2.35	1.99	7.98	15.96	23.94	0.60	1.21		0.17	0.33	0.15	0.30
	13	1		1.30	1.64	6.55	13.11	19.66	0.48	0.97		0.13	0.27	0.12	0.24
	13.5	0.5		1.83	1.84	7.34	14.69	22.03	0.55	1.10		0.15	0.30	0.14	0.27

SECRETARIA DE PORTOS

PRESSÃO HIDRODINAMICA X DISTÂNCIA SEGURA
Limites seguros para fatores de segurança de 1 a 12
Cota de derrocagem = 14m
Densidade do explosivo = 1,0 g/cm³

DS Max 73.14
DS Min 39.25

FS	H_{agua} (m)	H_{rocha} (m)	Φ (mm)	Q_b (kg)	R_b (m)	R_4 (m)	R_8 (m)	R_{12} (m)	Explosivo: TNT – Fator de Segurança 1 – Carga Livre – Pressao(MPa) Min	Max	C	Explosivo: Emulsão – Carga Livre – Pressao (MPa) Min	Max	Carga em Furo de – Pressao (MPa) Min	Max
4	0	14	32	11.38	3.37	13.50	26.99	40.49	1.09	2.19	0.35	0.38	0.76	0.34	0.68
8	1	13		10.58	3.29	13.17	26.35	39.52	1.06	2.13		0.36	0.74	0.33	0.66
12	2	12		9.78	3.21	12.83	25.66	38.49	1.03	2.07		0.35	0.72	0.32	0.64
	3	11		8.98	3.12	12.47	24.94	37.41	0.99	2.01		0.34	0.69	0.31	0.62
	4	10		8.18	3.02	12.09	24.17	36.26	0.96	1.94		0.33	0.67	0.30	0.60
	5	9		7.37	2.92	11.68	23.36	35.04	0.92	1.86		0.32	0.64	0.29	0.58
	6	8		6.57	2.81	11.24	22.48	33.72	0.88	1.78		0.30	0.62	0.27	0.55
	7	7		5.77	2.69	10.76	21.52	32.29	0.84	1.70		0.29	0.59	0.26	0.53
	8	6		4.97	2.56	10.24	20.48	30.72	0.79	1.61		0.27	0.55	0.25	0.50
	9	5		4.17	2.41	9.66	19.31	28.97	0.74	1.50		0.26	0.52	0.23	0.47
	10	4		3.37	2.25	8.99	17.99	26.98	0.69	1.39		0.24	0.48	0.21	0.43
	11	3		2.57	2.05	8.22	16.43	24.65	0.62	1.25		0.21	0.43	0.19	0.39
	12	2		1.77	1.81	7.25	14.51	21.76	0.54	1.09		0.19	0.38	0.17	0.34
	13	1		0.97	1.48	5.94	11.87	17.81	0.43	0.87		0.15	0.30	0.13	0.27
	13.5	0.5		1.37	1.67	6.67	13.34	20.00	0.49	0.99		0.17	0.34	0.15	0.31
	0	14	41	18.75	3.98	15.94	31.88	47.82	1.31	2.65		0.45	0.91	0.41	0.82
	1	13		17.43	3.89	15.56	31.11	46.67	1.27	2.58		0.44	0.89	0.40	0.80
	2	12		16.11	3.79	15.15	30.31	45.46	1.24	2.50		0.43	0.86	0.38	0.78
	3	11		14.80	3.68	14.73	29.46	44.19	1.20	2.42		0.41	0.84	0.37	0.75
	4	10		13.48	3.57	14.28	28.56	42.84	1.16	2.34		0.40	0.81	0.36	0.73
	5	9		12.17	3.45	13.80	27.60	41.40	1.11	2.25		0.38	0.78	0.35	0.70
	6	8		10.85	3.32	13.28	26.57	39.85	1.07	2.15		0.37	0.74	0.33	0.67
	7	7		9.54	3.18	12.73	25.45	38.18	1.02	2.05		0.35	0.71	0.32	0.64
	8	6		8.23	3.03	12.11	24.22	36.34	0.96	1.94		0.33	0.67	0.30	0.60
	9	5		6.91	2.86	11.43	22.86	34.29	0.90	1.82		0.31	0.63	0.28	0.57
	10	4		5.60	2.66	10.65	21.31	31.96	0.83	1.68		0.29	0.58	0.26	0.52
	11	3		4.29	2.44	9.75	19.49	29.24	0.75	1.52		0.26	0.52	0.23	0.47
	12	2		2.98	2.16	8.63	17.26	25.89	0.65	1.32		0.23	0.46	0.20	0.41
	13	1		1.66	1.78	7.11	14.22	21.33	0.53	1.06		0.18	0.37	0.16	0.33
	13.5	0.5		2.33	1.99	7.95	15.91	23.86	0.60	1.21		0.21	0.42	0.19	0.38

B – Cálculo dos Parâmetros do Plano de Fogo

SECRETARIA DE PORTOS

Cálculo dos Parâmetros do Plano de Fogo
Cota de derrocagem = 14 m
Densidade do explosivo = 1,2 g/cm³

ρ_a =	1	Densidade da água	ρ_e =	1.2	Densidade do Explosivo (g/cm³)
ρ_r =	2.6	Dens. Rocha	Padrão	0,71.0	Subfuração
ρ_{ov} =	1.9	Dens. Overburden	Plat. Equiv.:	14.2	m de lado

$H_{Água}$ (m)	H_{Rocha} (m)	Φ (mm)	RC (kg/m³)	ql (kg/m)	S (m)	B (m)	J (m)	VR (m³) / furo	VR/m furo	Q_b (kg)	T (m)
0	14	32	1.90	0.97	0.71	0.71	0.51	7.20	0.51	13.68	0.34
1	13		1.84	0.97	0.72	0.72	0.52	6.91	0.53	12.71	0.34
2	12		1.78	0.97	0.74	0.74	0.53	6.61	0.55	11.75	0.35
3	11		1.72	0.97	0.75	0.75	0.54	6.29	0.57	10.79	0.36
4	10		1.65	0.97	0.76	0.76	0.55	5.94	0.59	9.83	0.36
5	9		1.59	0.97	0.78	0.78	0.56	5.57	0.62	8.86	0.37
6	8		1.53	0.97	0.79	0.79	0.57	5.16	0.65	7.90	0.38
7	7		1.47	0.97	0.81	0.81	0.58	4.72	0.67	6.94	0.39
8	6		1.41	0.97	0.83	0.83	0.59	4.25	0.71	5.98	0.39
9	5		1.35	0.97	0.85	0.85	0.60	3.73	0.75	5.02	0.40
10	4		1.28	0.97	0.87	0.87	0.62	3.16	0.79	4.06	0.41
11	3		1.22	0.97	0.89	0.89	0.63	2.53	0.84	3.10	0.42
12	2		1.16	0.97	0.91	0.91	0.65	1.84	0.92	2.14	0.43
13	1		1.10	0.97	0.94	0.94	0.67	1.07	1.07	1.18	0.45
13.5	0.5		1.07	0.97	0.95	0.95	0.68	1.56	1.04	1.67	0.45

Q_b - Carga Por Espera (kg)						Nº Furos	
nº de furos na mesma espera							
1	2	3	4	8	10	Linha	Total
13.68	27.35	41.03	54.70	109.40	136.75	20	400
12.71	25.43	38.14	50.85	101.70	127.13	20	400
11.75	23.50	35.25	47.00	94.00	117.50	19	361
10.79	21.58	32.37	43.15	86.31	107.88	19	361
9.83	19.65	29.48	39.31	78.61	98.26	19	361
8.86	17.73	26.59	35.46	70.92	88.65	18	324
7.90	15.81	23.71	31.61	63.23	79.03	18	324
6.94	13.88	20.83	27.77	55.53	69.42	18	324
5.98	11.96	17.94	23.92	47.85	59.81	17	289
5.02	10.04	15.06	20.08	40.16	50.20	17	289
4.06	8.12	12.18	16.24	32.48	40.59	16	256
3.10	6.20	9.30	12.40	24.79	30.99	16	256
2.14	4.28	6.42	8.56	17.12	21.40	16	256
1.18	2.36	3.54	4.72	9.44	11.80	15	225
1.67	3.33	5.00	6.66	13.33	16.66	15	225

SECRETARIA DE PORTOS

Cálculo dos Parâmetros do Plano de Fogo
Cota de derrocagem = 14 m
Densidade do explosivo = 1,2 g/cm³

$H_{Água}$ (m)	H_{Rocha} (m)	Φ (mm)	RC (kg/m³)	ql (kg/m)	S (m)	B (m)	J (m)	VR (m³) / furo	VR/m furo	Q_b (kg)	T (m)
0	14	41	1.90	1.58	0.91	0.91	0.65	11.86	0.85	22.52	0.43
1	13		1.84	1.58	0.93	0.93	0.66	11.39	0.88	20.95	0.44
2	12		1.78	1.58	0.94	0.94	0.67	10.90	0.91	19.37	0.45
3	11		1.72	1.58	0.96	0.96	0.69	10.37	0.94	17.79	0.46
4	10		1.65	1.58	0.98	0.98	0.70	9.80	0.98	16.21	0.47
5	9		1.59	1.58	1.00	1.00	0.71	9.19	1.02	14.63	0.47
6	8		1.53	1.58	1.02	1.02	0.73	8.53	1.07	13.06	0.48
7	7		1.47	1.58	1.04	1.04	0.74	7.81	1.12	11.48	0.49
8	6		1.41	1.58	1.06	1.06	0.76	7.04	1.17	9.91	0.51
9	5		1.35	1.58	1.08	1.08	0.77	6.19	1.24	8.33	0.52
10	4		1.28	1.58	1.11	1.11	0.79	5.26	1.31	6.76	0.53
11	3		1.22	1.58	1.14	1.14	0.81	4.24	1.41	5.18	0.54
12	2		1.16	1.58	1.17	1.17	0.83	3.11	1.55	3.61	0.56
13	1		1.10	1.58	1.20	1.20	0.86	1.85	1.85	2.04	0.57
13.5	0.5		1.07	1.58	1.22	1.22	0.87	2.65	1.77	2.84	0.58
0	14	51	1.90	2.45	1.14	1.14	0.81	18.41	1.32	22.09	5.80
1	13		1.84	2.45	1.15	1.15	0.82	17.70	1.36	21.24	5.16
2	12		1.78	2.45	1.17	1.17	0.84	16.94	1.41	20.33	4.55
3	11		1.72	2.45	1.20	1.20	0.85	16.13	1.47	19.35	3.96
4	10		1.65	2.45	1.22	1.22	0.87	15.25	1.53	18.30	3.40
5	9		1.59	2.45	1.24	1.24	0.89	14.31	1.59	17.17	2.88
6	8		1.53	2.45	1.27	1.27	0.90	13.29	1.66	15.95	2.40
7	7		1.47	2.45	1.29	1.29	0.92	12.19	1.74	14.63	1.95
8	6		1.41	2.45	1.32	1.32	0.94	11.00	1.83	13.19	1.56
9	5		1.35	2.45	1.35	1.35	0.96	9.69	1.94	11.63	1.22
10	4		1.28	2.45	1.38	1.38	0.99	8.26	2.07	9.91	0.94
11	3		1.22	2.45	1.42	1.42	1.01	6.69	2.23	8.03	0.74
12	2		1.16	2.45	1.45	1.45	1.04	4.95	2.48	5.94	0.61
13	1		1.10	2.45	1.49	1.49	1.07	3.02	3.02	3.62	0.59
13.5	0.5		1.07	2.45	1.51	1.51	1.08	4.27	2.84	5.12	0.49

Q_b - Carga Por Espera (kg)						Nº Furos	
nº de furos na mesma espera							
1	2	3	4	8	10	Linha	Total
22.52	45.05	67.57	90.10	180.20	225.25	16	256
20.95	41.89	62.84	83.78	167.57	209.46	15	225
19.37	38.74	58.10	77.47	154.94	193.68	15	225
17.79	35.58	53.37	71.16	142.32	177.90	15	225
16.21	32.42	48.64	64.85	129.70	162.12	15	225
14.63	29.27	43.90	58.54	117.08	146.35	14	196
13.06	26.12	39.17	52.23	104.46	130.58	14	196
11.48	22.96	34.45	45.93	91.85	114.82	14	196
9.91	19.81	29.72	39.62	79.25	99.06	13	169
8.33	16.66	24.99	33.32	66.65	83.31	13	169
6.76	13.51	20.27	27.02	54.05	67.56	13	169
5.18	10.36	15.55	20.73	41.46	51.82	12	144
3.61	7.22	10.83	14.44	28.87	36.09	12	144
2.04	4.07	6.11	8.15	16.29	20.37	12	144
2.84	5.67	8.51	11.34	22.68	28.35	12	144
22.09	44.19	66.28	88.38	176.75	220.94	13	169
21.24	42.48	63.72	84.96	169.93	212.41	12	144
20.33	40.66	60.99	81.31	162.63	203.29	12	144
19.35	38.70	58.05	77.41	154.81	193.52	12	144
18.30	36.60	54.91	73.21	146.42	183.02	12	144
17.17	34.34	51.52	68.69	137.38	171.72	11	121
15.95	31.90	47.86	63.81	127.62	159.52	11	121
14.63	29.26	43.89	58.52	117.05	146.31	11	121
13.19	26.39	39.58	52.78	105.56	131.95	11	121
11.63	23.26	34.88	46.51	93.02	116.28	11	121
9.91	19.83	29.74	39.65	79.30	99.13	10	100
8.03	16.05	24.08	32.10	64.21	80.26	10	100
5.94	11.88	17.82	23.76	47.53	59.41	10	100
3.62	7.25	10.87	14.50	29.00	36.24	10	100
5.12	10.24	15.36	20.47	40.95	51.18	9	81

C – Malhas por AD x Diâmetro de Brocas

SECRETARIA DE PORTOS

MALHAS POR AD X DIÂMETRO DE BROCAS

Densidade do explosivo = 1,2 g/cm³

ρ_a = 1 Densidade da água

ρ_r = 2,6 Densidade da Rocha

ρ_o = 1,9 Densidade do overburden

ρ_e = 1,2 Densidade do Explosivo (g/cm³)

Padrão 0,71.B Subfuração

Área de Derrocamento	$H_{Corrigida}$ (m)	$H_{Corrigida}$ (m)	H_{Solo} (m)	$H_{Água}$ (m)	$H_{Equivalente}$ (m)	Φ (mm)	RC (CE) (kg/m³)	ql (kg/m)	Área (m2)	S (m)	B (m)	J (m)	VR (m3) / furo	VR/m de furo (m³)	Q_o (kg)	T (m)
AD1	0,61	1,11	0,01	13,38	6,26	32	1,13	0,97	0,86	0,93	0,93	0,66	1,14	0,97	1,28	0,44
	0,61	1,11	0,01	13,38	6,26	41	1,13	1,58	1,41	1,19	1,19	0,85	1,96	0,57	2,20	0,56
	0,61	1,11	0,01	13,38	6,26	51	1,13	2,45	2,18	1,48	1,48	1,05	3,18	0,35	3,58	0,70
	0,61	1,11	0,01	13,38	6,26	70	1,13	4,62	4,10	2,02	2,02	1,45	6,52	0,17	7,35	0,96
	0,61	1,11	0,01	13,38	6,26	102	1,13	9,81	8,71	2,95	2,95	2,11	15,77	0,07	17,76	1,40
AD2	3,40	3,40	0,14	10,46	7,52	32	1,25	0,97	0,77	0,88	0,88	0,63	2,78	1,22	3,48	0,42
	3,40	3,40	0,14	10,46	7,52	41	1,25	1,58	1,26	1,12	1,12	0,80	4,64	0,73	5,81	0,54
	3,40	3,40	0,14	10,46	7,52	51	1,25	2,45	1,96	1,40	1,40	1,00	7,31	0,47	9,15	0,67
	3,40	3,40	0,14	10,46	7,52	70	1,25	4,62	3,69	1,92	1,92	1,37	14,23	0,24	17,82	0,91
	3,40	3,40	0,14	10,46	7,52	102	1,25	9,81	7,83	2,80	2,80	2,00	31,84	0,11	39,88	1,33
AD3	1,97	1,97	0,05	11,97	6,62	32	1,16	0,97	0,83	0,91	0,91	0,65	1,82	1,08	2,11	0,43
	1,97	1,97	0,05	11,97	6,62	41	1,16	1,58	1,36	1,17	1,17	0,83	3,07	0,64	3,57	0,56
	1,97	1,97	0,05	11,97	6,62	51	1,16	2,45	2,11	1,45	1,45	1,04	4,89	0,40	5,68	0,69
	1,97	1,97	0,05	11,97	6,62	70	1,16	4,62	3,98	1,99	1,99	1,42	9,73	0,20	11,30	0,95
	1,97	1,97	0,05	11,97	6,62	102	1,16	9,81	8,44	2,91	2,91	2,07	22,49	0,09	26,13	1,38
AD4	1,47	1,47	0,02	12,51	6,30	32	1,13	0,97	0,85	0,92	0,92	0,66	1,44	1,02	1,63	0,44
	1,47	1,47	0,02	12,51	6,30	41	1,13	1,58	1,40	1,18	1,18	0,85	2,46	0,60	2,78	0,56
	1,47	1,47	0,02	12,51	6,30	51	1,13	2,45	2,17	1,47	1,47	1,05	3,95	0,37	4,47	0,70
	1,47	1,47	0,02	12,51	6,30	70	1,13	4,62	4,09	2,02	2,02	1,44	7,98	0,18	9,02	0,96
	1,47	1,47	0,02	12,51	6,30	102	1,13	9,81	8,68	2,95	2,95	2,10	18,86	0,08	21,30	1,40

SECRETARIA DE PORTOS

MALHAS POR AD X DIÂMETRO DE BROCAS

Densidade do explosivo = 1,2 g/cm³

Área de Derrocamento	$H_{Corrigida}$ (m)	$H_{Corrigida}$ (m)	H_{Solo} (m)	$H_{Água}$ (m)	$H_{Equivalente}$ (m)	Φ (mm)	RC (CE) (kg/m³)	ql (kg/m)	Área (m2)	S (m)	B (m)	J (m)	VR (m3) / furo	VR/m de furo (m³)	Q_o (kg)	T (m)
AD5 Interno	7,37	7,37	0,25	6,38	10,01	32	1,50	0,97	0,64	0,80	0,80	0,57	4,86	1,52	7,30	0,38
	7,37	7,37	0,25	6,38	10,01	41	1,50	1,58	1,06	1,03	1,03	0,73	8,04	0,92	12,06	0,49
	7,37	7,37	0,25	6,38	10,01	51	1,50	2,45	1,63	1,28	1,28	0,91	12,54	0,59	18,81	0,61
	7,37	7,37	0,25	6,38	10,01	70	1,50	4,62	3,08	1,75	1,75	1,25	23,97	0,31	35,96	0,84
	7,37	7,37	0,25	6,38	10,01	102	1,50	9,81	6,53	2,56	2,56	1,83	52,13	0,14	78,23	1,22
AD5 Externo	2,57	2,57	0,25	11,18	7,05	32	1,21	0,97	0,80	0,89	0,89	0,64	2,23	1,15	2,69	0,43
	2,57	2,57	0,25	11,18	7,05	41	1,21	1,58	1,31	1,15	1,15	0,82	3,74	0,69	4,50	0,55
	2,57	2,57	0,25	11,18	7,05	51	1,21	2,45	2,03	1,43	1,43	1,02	5,92	0,43	7,13	0,68
	2,57	2,57	0,25	11,18	7,05	70	1,21	4,62	3,83	1,96	1,96	1,40	11,63	0,22	14,02	0,93
	2,57	2,57	0,25	11,18	7,05	102	1,21	9,81	8,14	2,85	2,85	2,04	26,43	0,10	31,86	1,36
AD6 Interno	7,81	7,81	0,00	6,19	10,19	32	1,52	0,97	0,64	0,80	0,80	0,57	5,08	1,54	7,72	0,38
	7,81	7,81	0,00	6,19	10,19	41	1,52	1,58	1,04	1,02	1,02	0,73	8,40	0,93	12,76	0,49
	7,81	7,81	0,00	6,19	10,19	51	1,52	2,45	1,61	1,27	1,27	0,91	13,09	0,60	19,89	0,60
	7,81	7,81	0,00	6,19	10,19	70	1,52	4,62	3,04	1,74	1,74	1,25	25,00	0,31	37,98	0,83
	7,81	7,81	0,00	6,19	10,19	102	1,52	9,81	6,45	2,54	2,54	1,81	54,32	0,14	82,51	1,21
AD6 Intermediário	4,41	4,41	0,00	9,59	8,10	32	1,31	0,97	0,74	0,86	0,86	0,61	3,40	1,30	4,45	0,41
	4,41	4,41	0,00	9,59	8,10	41	1,31	1,58	1,21	1,10	1,10	0,79	5,65	0,78	7,40	0,52
	4,41	4,41	0,00	9,59	8,10	51	1,31	2,45	1,87	1,37	1,37	0,98	8,86	0,50	11,61	0,65
	4,41	4,41	0,00	9,59	8,10	70	1,31	4,62	3,53	1,88	1,88	1,34	17,12	0,26	22,43	0,89
	4,41	4,41	0,00	9,59	8,10	102	1,31	9,81	7,49	2,74	2,74	1,95	37,89	0,12	49,63	1,30
AD6 Externo	0,92	1,42	0,00	13,08	6,45	32	1,15	0,97	0,84	0,92	0,92	0,66	1,38	1,03	1,58	0,44
	0,92	1,42	0,00	13,08	6,45	41	1,15	1,58	1,38	1,18	1,18	0,84	2,35	0,60	2,69	0,56
	0,92	1,42	0,00	13,08	6,45	51	1,15	2,45	2,14	1,46	1,46	1,04	3,79	0,38	4,33	0,70
	0,92	1,42	0,00	13,08	6,45	70	1,15	4,62	4,03	2,01	2,01	1,43	7,65	0,19	8,77	0,96
	0,92	1,42	0,00	13,08	6,45	102	1,15	9,81	8,56	2,93	2,93	2,09	18,12	0,08	20,75	1,39

SECRETARIA DE PORTOS

MALHAS POR AD X DIÂMETRO DE BROCAS

Densidade do explosivo = 1,2 g/cm³

Área de Derrocamento	$H_{Corrigida}$ (m)	$H_{Corrigida}$ (m)	H_{Solo} (m)	$H_{Água}$ (m)	$H_{Explosivo}$ (m)	Φ (mm)	RC (CE) (kg/m³)	ql (kg/m)	Área (m2)	S (m)	B (m)	J (m)	VR (m3) / furo	VR/m de furo (m³)	Q_b (kg)	T (m)
AD7 Interno	10,13	10,13	0,43	3,44	11,77	32	1,68	0,97	0,58	0,76	0,76	0,54	5,93	1,71	9,95	0,36
	10,13	10,13	0,43	3,44	11,77	41	1,68	1,58	0,94	0,97	0,97	0,69	9,79	1,03	16,42	0,46
	10,13	10,13	0,43	3,44	11,77	51	1,68	2,45	1,46	1,21	1,21	0,86	15,23	0,67	25,54	0,58
	10,13	10,13	0,43	3,44	11,77	70	1,68	4,62	2,75	1,66	1,66	1,19	28,99	0,35	48,61	0,79
	10,13	10,13	0,43	3,44	11,77	102	1,68	9,81	5,85	2,42	2,42	1,73	62,60	0,16	104,97	1,15
AD7 Intermediário	5,77	5,77	0,43	7,80	9,09	32	1,41	0,97	0,69	0,83	0,83	0,59	4,09	1,41	5,76	0,39
	5,77	5,77	0,43	7,80	9,09	41	1,41	1,58	1,12	1,06	1,06	0,76	6,77	0,85	9,54	0,50
	5,77	5,77	0,43	7,80	9,09	51	1,41	2,45	1,74	1,32	1,32	0,94	10,59	0,54	14,91	0,63
	5,77	5,77	0,43	7,80	9,09	70	1,41	4,62	3,28	1,81	1,81	1,29	20,33	0,28	28,64	0,86
	5,77	5,77	0,43	7,80	9,09	102	1,41	9,81	6,96	2,64	2,64	1,88	44,54	0,13	62,74	1,26
AD7 Externo	1,30	1,30	0,43	12,27	6,33	32	1,13	0,97	0,85	0,92	0,92	0,66	1,29	1,00	1,47	0,44
	1,30	1,30	0,43	12,27	6,33	41	1,13	1,58	1,40	1,18	1,18	0,84	2,21	0,59	2,51	0,56
	1,30	1,30	0,43	12,27	6,33	51	1,13	2,45	2,16	1,47	1,47	1,05	3,57	0,36	4,04	0,70
	1,30	1,30	0,43	12,27	6,33	70	1,13	4,62	4,07	2,02	2,02	1,44	7,25	0,18	8,22	0,96
	1,30	1,30	0,43	12,27	6,33	102	1,13	9,81	8,65	2,94	2,94	2,10	17,30	0,08	19,61	1,40
AD8 Interno	10,39	10,39	0,00	3,61	11,78	32	1,68	0,97	0,58	0,76	0,76	0,54	6,08	1,71	10,20	0,36
	10,39	10,39	0,00	3,61	11,78	41	1,68	1,58	0,94	0,97	0,97	0,69	10,03	1,04	16,83	0,46
	10,39	10,39	0,00	3,61	11,78	51	1,68	2,45	1,46	1,21	1,21	0,86	15,60	0,67	26,18	0,58
	10,39	10,39	0,00	3,61	11,78	70	1,68	4,62	2,75	1,66	1,66	1,18	29,68	0,35	49,81	0,79
	10,39	10,39	0,00	3,61	11,78	102	1,68	9,81	5,84	2,42	2,42	1,73	64,08	0,16	107,52	1,15
AD8 Externo	3,79	3,79	0,00	10,21	7,72	32	1,27	0,97	0,76	0,87	0,87	0,62	3,03	1,25	3,86	0,41
	3,79	3,79	0,00	10,21	7,72	41	1,27	1,58	1,25	1,12	1,12	0,80	5,05	0,75	6,43	0,53
	3,79	3,79	0,00	10,21	7,72	51	1,27	2,45	1,93	1,39	1,39	0,99	7,94	0,48	10,10	0,66
	3,79	3,79	0,00	10,21	7,72	70	1,27	4,62	3,63	1,91	1,91	1,36	15,41	0,25	19,60	0,91
	3,79	3,79	0,00	10,21	7,72	102	1,27	9,81	7,71	2,78	2,78	1,98	34,32	0,11	43,64	1,32

SECRETARIA DE PORTOS

MALHAS POR AD X DIÂMETRO DE BROCAS

Densidade do explosivo = 1,2 g/cm³

Área de Derrocamento	$H_{Corrigida}$ (m)	$H_{Corrigida}$ (m)	H_{Solo} (m)	$H_{Água}$ (m)	$H_{Explosivo}$ (m)	Φ (mm)	RC (CE) (kg/m³)	ql (kg/m)	Área (m2)	S (m)	B (m)	J (m)	VR (m3) / furo	VR/m de furo (m³)	Q_b (kg)	T (m)
AD9	2,53	2,53	0,00	11,47	6,94	32	1,19	0,97	0,81	0,90	0,90	0,64	2,22	1,14	2,65	0,43
	2,53	2,53	0,00	11,47	6,94	41	1,19	1,58	1,33	1,15	1,15	0,82	3,72	0,68	4,44	0,55
	2,52	2,52	0,00	11,48	6,94	51	1,19	2,45	2,05	1,43	1,43	1,02	5,88	0,43	7,01	0,68
	2,53	2,53	0,00	11,47	6,94	70	1,19	4,62	3,87	1,97	1,97	1,40	11,59	0,22	13,85	0,94
	2,53	2,53	0,00	11,47	6,94	102	1,19	9,81	8,21	2,87	2,87	2,05	26,38	0,10	31,50	1,36
AD10	3,87	3,87	1,97	8,16	8,45	32	1,34	0,97	0,72	0,85	0,85	0,60	2,92	1,32	3,93	0,40
	3,87	3,87	1,97	8,16	8,45	41	1,34	1,58	1,18	1,09	1,09	0,78	4,86	0,80	6,54	0,52
	3,87	3,87	1,97	8,16	8,45	51	1,34	2,45	1,82	1,35	1,35	0,96	7,64	0,51	10,27	0,64
	3,87	3,87	1,97	8,16	8,45	70	1,34	4,62	3,43	1,85	1,85	1,32	14,80	0,26	19,91	0,88
	3,87	3,87	1,97	8,16	8,45	102	1,34	9,81	7,29	2,70	2,70	1,93	32,90	0,12	44,25	1,29
AD11 Interno	5,01	5,01	2,13	6,86	9,21	32	1,42	0,97	0,68	0,82	0,82	0,59	3,54	1,42	5,02	0,39
	5,01	5,01	2,13	6,86	9,21	41	1,42	1,58	1,12	1,06	1,06	0,75	5,87	0,85	8,34	0,50
	5,01	5,01	2,13	6,86	9,21	51	1,42	2,45	1,73	1,31	1,31	0,94	9,18	0,55	13,05	0,63
	5,01	5,01	2,13	6,86	9,21	70	1,42	4,62	3,25	1,80	1,80	1,29	17,68	0,28	25,12	0,86
	5,01	5,01	2,13	6,86	9,21	102	1,42	9,81	6,90	2,63	2,63	1,88	38,90	0,13	55,26	1,25
AD11 Externo	2,44	2,44	2,13	9,43	7,62	32	1,26	0,97	0,76	0,87	0,87	0,62	2,02	1,21	2,56	0,42
	2,44	2,44	2,13	9,43	7,62	41	1,26	1,58	1,26	1,12	1,12	0,80	3,40	0,72	4,29	0,53
	2,44	2,44	2,13	9,43	7,62	51	1,26	2,45	1,94	1,39	1,39	1,00	5,38	0,45	6,79	0,66
	2,44	2,44	2,13	9,43	7,62	70	1,26	4,62	3,66	1,91	1,91	1,37	10,59	0,23	13,37	0,91
	2,44	2,44	2,13	9,43	7,62	102	1,26	9,81	7,77	2,79	2,79	1,99	24,11	0,10	30,43	1,33
AD12	1,27	1,27	0,44	12,30	6,31	32	1,13	0,97	0,85	0,92	0,92	0,66	1,27	1,00	1,43	0,44
	1,27	1,27	0,44	12,30	6,31	41	1,13	1,58	1,40	1,18	1,18	0,84	2,17	0,58	2,45	0,56
	1,27	1,27	0,44	12,30	6,31	51	1,13	2,45	2,17	1,47	1,47	1,05	3,50	0,36	3,96	0,70
	1,27	1,27	0,44	12,30	6,31	70	1,13	4,62	4,08	2,02	2,02	1,44	7,13	0,18	8,06	0,96
	1,27	1,27	0,44	12,30	6,31	102	1,13	9,81	8,67	2,94	2,94	2,10	17,04	0,07	19,28	1,40

SECRETARIA DE PORTOS

MALHAS POR AD X DIÂMETRO DE BROCAS

Densidade do explosivo = 1,2 g/cm³

Área de Derrocamento	$H_{Corrigido}$ (m)	$H_{Corrigido}$ (m)	H_{Solo} (m)	$H_{Água}$ (m)	$H_{Equivalente}$ (m)	Φ (mm)	RC (CE) (kg/m³)	ql (kg/m)	Área (m2)	S (m)	B (m)	J (m)	VR (m3) / furo	VR/m de furo (m³)	Q_b (kg)	T (m)
AD13	1,54	1,54	0,50	11,97	6,50	32	1,15	0,97	0,84	0,92	0,92	0,65	1,47	1,04	1,69	0,44
	1,54	1,54	0,50	11,97	6,50	41	1,15	1,58	1,38	1,17	1,17	0,84	2,50	0,61	2,88	0,56
	1,54	1,54	0,50	11,97	6,50	51	1,15	2,45	2,13	1,46	1,46	1,04	4,01	0,38	4,62	0,69
	1,54	1,54	0,50	11,97	6,50	70	1,15	4,62	4,01	2,00	2,00	1,43	8,08	0,19	9,29	0,95
	1,54	1,54	0,50	11,97	6,50	102	1,15	9,81	8,52	2,92	2,92	2,08	19,02	0,08	21,87	1,39
AD14	1,74	1,74	3,22	9,04	7,57	32	1,26	0,97	0,77	0,88	0,88	0,63	1,49	1,16	1,88	0,42
	1,74	1,74	3,22	9,04	7,57	41	1,26	1,58	1,26	1,12	1,12	0,80	2,53	0,69	3,17	0,53
	1,74	1,74	3,22	9,04	7,57	51	1,26	2,45	1,95	1,40	1,40	1,00	4,04	0,43	5,07	0,66
	1,74	1,74	3,22	9,04	7,57	70	1,26	4,62	3,67	1,92	1,92	1,37	8,06	0,22	10,13	0,91
	1,74	1,74	3,22	9,04	7,57	102	1,26	9,81	7,80	2,79	2,79	1,99	18,74	0,09	23,55	1,33
AD15	1,39	1,39	0,11	12,50	6,28	32	1,13	0,97	0,86	0,93	0,93	0,66	1,38	1,01	1,55	0,44
	1,39	1,39	0,11	12,50	6,28	41	1,13	1,58	1,40	1,19	1,19	0,85	2,35	0,59	2,65	0,56
	1,39	1,39	0,11	12,50	6,28	51	1,13	2,45	2,17	1,47	1,47	1,05	3,78	0,37	4,26	0,70
	1,39	1,39	0,11	12,50	6,28	70	1,13	4,62	4,10	2,02	2,02	1,45	7,66	0,18	8,64	0,96
	1,39	1,39	0,11	12,50	6,28	102	1,13	9,81	8,70	2,95	2,95	2,11	18,18	0,08	20,50	1,40
AD16	0,47	1,47	3,58	9,95	7,91	32	1,29	0,97	0,75	0,86	0,86	0,62	1,25	1,17	1,61	0,41
	0,47	1,47	3,58	9,95	7,91	41	1,29	1,58	1,23	1,11	1,11	0,79	2,12	0,69	2,74	0,53
	0,47	1,47	3,58	9,95	7,91	51	1,29	2,45	1,90	1,38	1,38	0,98	3,40	0,43	4,40	0,66
	0,47	1,47	3,58	9,95	7,91	70	1,29	4,62	3,58	1,89	1,89	1,35	6,85	0,21	8,84	0,90
	0,47	1,47	3,58	9,95	7,91	102	1,29	9,81	7,59	2,76	2,76	1,97	16,11	0,09	20,80	1,31
AD17	0,12	1,12	2,46	8,92	6,35	32	1,13	0,97	0,85	0,92	0,92	0,66	1,14	0,98	1,29	0,44
	0,12	1,12	2,46	8,92	6,35	41	1,13	1,58	1,40	1,18	1,18	0,84	1,96	0,57	2,22	0,56
	0,12	1,12	2,46	8,92	6,35	51	1,13	2,45	2,16	1,47	1,47	1,05	3,17	0,35	3,60	0,70
	0,12	1,12	2,46	8,92	6,35	70	1,13	4,62	4,07	2,02	2,02	1,44	6,51	0,17	7,39	0,96
	0,12	1,12	2,46	8,92	6,35	102	1,13	9,81	8,64	2,94	2,94	2,10	15,72	0,07	17,84	1,40

SECRETARIA DE PORTOS

MALHAS POR AD X DIÂMETRO DE BROCAS

Densidade do explosivo = 1,2 g/cm³

Área de Derrocamento	$H_{Corrigido}$ (m)	$H_{Corrigido}$ (m)	H_{Solo} (m)	$H_{Água}$ (m)	$H_{Equivalente}$ (m)	Φ (mm)	RC (CE) (kg/m³)	ql (kg/m)	Área (m2)	S (m)	B (m)	J (m)	VR (m3) / furo	VR/m de furo (m³)	Q_b (kg)	T (m)
AD18	0,06	1,06	1,05	10,39	5,82	32	1,08	0,97	0,89	0,94	0,94	0,67	1,15	0,93	1,24	0,45
	0,06	1,06	1,05	10,39	5,82	41	1,08	1,58	1,46	1,21	1,21	0,86	1,98	0,54	2,14	0,58
	0,06	1,06	1,05	10,39	5,82	51	1,08	2,45	2,26	1,50	1,50	1,07	3,22	0,33	3,49	0,72
	0,06	1,06	1,05	10,39	5,82	70	1,08	4,62	4,27	2,07	2,07	1,47	6,63	0,16	7,18	0,98
	0,06	1,06	1,05	10,39	5,82	102	1,08	9,81	9,06	3,01	3,01	2,15	16,12	0,07	17,45	1,43
AD19	3,94	3,94	0,75	8,81	7,88	32	1,29	0,97	0,75	0,87	0,87	0,62	3,11	1,27	4,00	0,41
	3,94	3,94	0,75	8,81	7,88	41	1,29	1,58	1,23	1,11	1,11	0,79	5,17	0,76	6,66	0,53
	3,94	3,94	0,75	8,81	7,88	51	1,29	2,45	1,90	1,38	1,38	0,99	8,13	0,48	10,46	0,66
	3,94	3,94	0,75	8,81	7,88	70	1,29	4,62	3,59	1,89	1,89	1,35	15,75	0,25	20,28	0,90
	3,94	3,94	0,75	8,81	7,88	102	1,29	9,81	7,62	2,76	2,76	1,97	35,01	0,11	45,08	1,31
AD20	0,91	1,41	2,30	10,29	7,05	32	1,20	0,97	0,80	0,89	0,89	0,64	1,30	1,08	1,57	0,43
	0,91	1,41	2,30	10,29	7,05	41	1,20	1,58	1,31	1,15	1,15	0,82	2,21	0,64	2,67	0,55
	0,91	1,41	2,30	10,29	7,05	51	1,20	2,45	2,03	1,43	1,43	1,02	3,56	0,40	4,29	0,68
	0,91	1,41	2,30	10,29	7,05	70	1,20	4,62	3,83	1,96	1,96	1,40	7,19	0,20	8,66	0,93
	0,91	1,41	2,30	10,29	7,05	102	1,20	9,81	8,14	2,85	2,85	2,04	17,00	0,08	20,48	1,36
AD21	1,62	1,62	0,00	11,88	6,19	32	1,12	0,97	0,86	0,93	0,93	0,66	1,59	1,02	1,77	0,44
	1,62	1,62	0,00	11,88	6,19	41	1,12	1,58	1,42	1,19	1,19	0,85	2,69	0,60	3,01	0,57
	1,62	1,62	0,00	11,88	6,19	51	1,12	2,45	2,19	1,48	1,48	1,06	4,32	0,37	4,83	0,70
	1,62	1,62	0,00	11,88	6,19	70	1,12	4,62	4,13	2,03	2,03	1,45	8,67	0,19	9,70	0,97
	1,62	1,62	0,00	11,88	6,19	102	1,12	9,81	8,76	2,96	2,96	2,11	20,35	0,08	22,77	1,41
AD22	1,05	1,05	0,46	9,49	5,04	32	1,00	0,97	0,96	0,98	0,98	0,70	1,24	0,85	1,24	0,47
	1,05	1,05	0,46	9,49	5,04	41	1,00	1,58	1,58	1,26	1,26	0,90	2,13	0,49	2,14	0,60
	1,05	1,05	0,46	9,49	5,04	51	1,00	2,45	2,44	1,56	1,56	1,12	3,48	0,30	3,50	0,74
	1,05	1,05	0,46	9,49	5,04	70	1,00	4,62	4,60	2,14	2,14	1,53	7,20	0,15	7,22	1,02
	1,05	1,05	0,46	9,49	5,04	102	1,00	9,81	9,77	3,13	3,13	2,23	17,56	0,06	17,63	1,49

SECRETARIA DE PORTOS

MALHAS POR AD X DIÂMETRO DE BROCAS

Densidade do explosivo = 1,2 g/cm³

Área de Derrocamento	$H_{Corrigida}$ (m)	$H_{Corrigida}$ (m)	H_{Solo} (m)	$H_{Água}$ (m)	$H_{Equivalente}$ (m)	Φ (mm)	RC (CE) (kg/m³)	ql (kg/m)	Área (m2)	S (m)	B (m)	J (m)	VR (m3) / furo	VR/m de furo (m³)	Q_b (kg)	T (m)
AD23	0,96	1,46	0,51	9,52	5,50	32	1,05	0,97	0,92	0,96	0,96	0,68	1,55	0,94	1,63	0,46
	0,96	1,46	0,51	9,52	5,50	41	1,05	1,58	1,51	1,23	1,23	0,88	2,65	0,55	2,78	0,58
	0,96	1,46	0,51	9,52	5,50	51	1,05	2,45	2,33	1,53	1,53	1,09	4,26	0,34	4,48	0,73
	0,96	1,46	0,51	9,52	5,50	70	1,05	4,62	4,40	2,10	2,10	1,50	8,63	0,17	9,06	1,00
	0,96	1,46	0,51	9,52	5,50	102	1,05	9,81	9,34	3,06	3,06	2,18	20,45	0,07	21,48	1,45
AD24	1,23	1,23	0,45	9,32	5,14	32	1,01	0,97	0,95	0,98	0,98	0,70	1,39	0,88	1,41	0,46
	1,23	1,23	0,45	9,32	5,14	41	1,01	1,58	1,56	1,25	1,25	0,89	2,38	0,52	2,42	0,59
	1,23	1,23	0,45	9,32	5,14	51	1,01	2,45	2,42	1,55	1,55	1,11	3,86	0,32	3,92	0,74
	1,23	1,23	0,45	9,32	5,14	70	1,01	4,62	4,55	2,13	2,13	1,52	7,90	0,16	8,01	1,02
	1,23	1,23	0,45	9,32	5,14	102	1,01	9,81	9,67	3,11	3,11	2,22	19,02	0,06	19,29	1,48
AD25	0,21	1,21	0,23	10,56	5,44	32	1,04	0,97	0,92	0,96	0,96	0,69	1,33	0,91	1,39	0,46
	0,21	1,21	0,23	10,56	5,44	41	1,04	1,58	1,52	1,23	1,23	0,88	2,28	0,53	2,38	0,59
	0,21	1,21	0,23	10,56	5,44	51	1,04	2,45	2,35	1,53	1,53	1,09	3,70	0,33	3,86	0,73
	0,21	1,21	0,23	10,56	5,44	70	1,04	4,62	4,42	2,10	2,10	1,50	7,57	0,16	7,91	1,00
	0,21	1,21	0,23	10,56	5,44	102	1,04	9,81	9,39	3,06	3,06	2,19	18,23	0,07	19,03	1,46
AD26	0,19	1,19	0,45	10,36	5,50	32	1,05	0,97	0,92	0,96	0,96	0,68	1,30	0,91	1,37	0,46
	0,19	1,19	0,45	10,36	5,50	41	1,05	1,58	1,51	1,23	1,23	0,88	2,24	0,53	2,35	0,58
	0,19	1,19	0,45	10,36	5,50	51	1,05	2,45	2,33	1,53	1,53	1,09	3,63	0,33	3,81	0,73
	0,19	1,19	0,45	10,36	5,50	70	1,05	4,62	4,40	2,10	2,10	1,50	7,43	0,16	7,81	1,00
	0,19	1,19	0,45	10,36	5,50	102	1,05	9,81	9,34	3,06	3,06	2,18	17,91	0,07	18,81	1,45
AD27	0,94	1,44	0,22	10,84	5,77	32	1,08	0,97	0,90	0,95	0,95	0,68	1,49	0,96	1,61	0,45
	0,94	1,44	0,22	10,84	5,77	41	1,08	1,58	1,47	1,21	1,21	0,87	2,54	0,57	2,74	0,58
	0,94	1,44	0,22	10,84	5,77	51	1,08	2,45	2,28	1,51	1,51	1,08	4,09	0,35	4,41	0,72
	0,94	1,44	0,22	10,84	5,77	70	1,08	4,62	4,29	2,07	2,07	1,48	8,28	0,17	8,92	0,99
	0,94	1,44	0,22	10,84	5,77	102	1,08	9,81	9,11	3,02	3,02	2,15	19,64	0,07	21,14	1,44

SECRETARIA DE PORTOS

MALHAS POR AD X DIÂMETRO DE BROCAS

Densidade do explosivo = 1,2 g/cm³

Área de Derrocamento	$H_{Corrigida}$ (m)	$H_{Corrigida}$ (m)	H_{Solo} (m)	$H_{Água}$ (m)	$H_{Equivalente}$ (m)	Φ (mm)	RC (CE) (kg/m³)	ql (kg/m)	Área (m2)	S (m)	B (m)	J (m)	VR (m3) / furo	VR/m de furo (m³)	Q_b (kg)	T (m)
AD28	0,67	1,17	1,96	10,87	6,78	32	1,18	0,97	0,82	0,90	0,90	0,65	1,14	1,03	1,34	0,43
	0,67	1,17	1,96	10,87	6,78	41	1,18	1,58	1,34	1,16	1,16	0,83	1,95	0,60	2,30	0,55
	0,67	1,17	1,96	10,87	6,78	51	1,18	2,45	2,08	1,44	1,44	1,03	3,16	0,37	3,72	0,69
	0,67	1,17	1,96	10,87	6,78	70	1,18	4,62	3,92	1,98	1,98	1,41	6,45	0,18	7,60	0,94
	0,67	1,17	1,96	10,87	6,78	102	1,18	9,81	8,32	2,88	2,88	2,06	15,49	0,08	18,25	1,37
AD29 Interno	6,44	6,44	0,00	4,06	8,00	32	1,30	0,97	0,74	0,86	0,86	0,62	4,93	1,31	6,41	0,41
	6,44	6,44	0,00	4,06	8,00	41	1,30	1,58	1,22	1,10	1,10	0,79	8,17	0,79	10,62	0,53
	6,44	6,44	0,00	4,06	8,00	51	1,30	2,45	1,89	1,37	1,37	0,98	12,76	0,50	16,59	0,65
	6,44	6,44	0,00	4,06	8,00	70	1,30	4,62	3,55	1,88	1,88	1,35	24,47	0,26	31,81	0,90
	6,44	6,44	0,00	4,06	8,00	102	1,30	9,81	7,54	2,75	2,75	1,96	53,49	0,12	69,55	1,31
AD29 Externo	2,38	2,38	0,00	8,12	5,50	32	1,05	0,97	0,92	0,96	0,96	0,68	2,40	0,99	2,52	0,46
	2,38	2,38	0,00	8,12	5,50	41	1,05	1,58	1,51	1,23	1,23	0,88	4,03	0,59	4,23	0,58
	2,38	2,38	0,00	8,12	5,50	51	1,05	2,45	2,33	1,53	1,53	1,09	6,40	0,37	6,73	0,73
	2,38	2,38	0,00	8,12	5,50	70	1,05	4,62	4,40	2,10	2,10	1,50	12,66	0,19	13,30	1,00
	2,38	2,38	0,00	8,12	5,50	102	1,05	9,81	9,34	3,06	3,06	2,18	29,01	0,08	30,47	1,45

D – Distância Segura x Valores de Carga

SECRETARIA DE PORTOS

DISTÂNCIA SEGURA X VALORES DE CARGA

Limites seguros para frequências até 15 Hz

Densidade do explosivo = 1,2 g/cm³

Distância Segura (m)	Qb Máximo (kg)	Cota de derrocagem = 14 m			Carga por espera (kg)					
					Número de furos na mesma espera					
		Ha (m)	Hr (m)	Φ (mm)	1	2	3	4	8	10
5	0.03	0	14	51	22.09	44.19	66.28	88.38	176.75	220.94
10	0.12	1	13		21.24	42.48	63.72	84.96	169.93	212.41
15	0.28	2	12		20.33	40.66	60.99	81.31	162.63	203.29
20	0.49	3	11		19.35	38.70	58.05	77.41	154.81	193.52
30	1.11	4	10		18.30	36.60	54.91	73.21	146.42	183.02
40	1.97	5	9		17.17	34.34	51.52	68.69	137.38	171.72
50	3.07	6	8		15.95	31.90	47.86	63.81	127.62	159.52
75	6.91	7	7		14.63	29.26	43.89	58.52	117.05	146.31
100	12.29	8	6		13.19	26.39	39.58	52.78	105.56	131.95
125	19.20	9	5		11.63	23.26	34.88	46.51	93.02	116.28
150	27.65	10	4		9.91	19.83	29.74	39.65	79.30	99.13
200	49.15	11	3		8.03	16.05	24.08	32.10	64.21	80.26
250	76.80	12	2		5.94	11.88	17.82	23.76	47.53	59.41
300	110.59	13	1		3.62	7.25	10.87	14.50	29.00	36.24
400	196.60	13.5	0.5		5.12	10.24	15.36	20.47	40.95	51.18
>400	>196,60	0	14	70	41.92	83.83	125.75	167.67	335.33	419.16
		1	13		40.32	80.65	120.97	161.29	322.59	403.24
		2	12		38.62	77.24	115.87	154.49	308.97	386.22
		3	11		36.80	73.60	110.40	147.19	294.39	367.99
		4	10		34.84	69.68	104.52	139.36	278.73	348.41
		5	9		32.73	65.47	98.20	130.94	261.87	327.34
		6	8		30.46	60.92	91.38	121.83	243.67	304.59
		7	7		27.99	55.99	83.98	111.98	223.96	279.95
		8	6		25.32	50.64	75.95	101.27	202.54	253.18
		9	5		22.40	44.80	67.20	89.59	179.19	223.99
		10	4		19.20	38.41	57.61	76.81	153.62	192.03
		11	3		15.69	31.38	47.07	62.75	125.51	156.89
		12	2		11.81	23.61	35.42	47.23	94.45	118.07
		13	1		7.50	14.99	22.49	29.98	59.96	74.95
		13.5	0.5		10.34	20.68	31.01	41.35	82.71	103.38

Áreas de derrocamento correspondentes

AD1	AD9
AD2	AD10
AD3	AD11
AD4	AD12
AD5	AD13
AD6	AD14
AD7	AD15
AD8	AD16

SECRETARIA DE PORTOS

DISTÂNCIA SEGURA X VALORES DE CARGA

Limites seguros para frequências entre 15 e 40 Hz

Densidade do explosivo = 1,2 g/cm³

Distância Segura (m)	Qb Máximo (kg)	Cota de derrocagem = 14 m			Carga por espera (kg)					
					Número de furos na mesma espera					
		Ha (m)	Hr (m)	Φ (mm)	1	2	3	4	8	10
5	0.08	0	14	51	22.09	44.19	66.28	88.38	176.75	220.94
10	0.32	1	13		21.24	42.48	63.72	84.96	169.93	212.41
15	0.71	2	12		20.33	40.66	60.99	81.31	162.63	203.29
20	1.27	3	11		19.35	38.70	58.05	77.41	154.81	193.52
30	2.85	4	10		18.30	36.60	54.91	73.21	146.42	183.02
40	5.07	5	9		17.17	34.34	51.52	68.69	137.38	171.72
50	7.92	6	8		15.95	31.90	47.86	63.81	127.62	159.52
75	17.83	7	7		14.63	29.26	43.89	58.52	117.05	146.31
100	31.69	8	6		13.19	26.39	39.58	52.78	105.56	131.95
125	49.52	9	5		11.63	23.26	34.88	46.51	93.02	116.28
150	71.30	10	4		9.91	19.83	29.74	39.65	79.30	99.13
200	126.76	11	3		8.03	16.05	24.08	32.10	64.21	80.26
250	198.07	12	2		5.94	11.88	17.82	23.76	47.53	59.41
300	285.22	13	1		3.62	7.25	10.87	14.50	29.00	36.24
400	507.06	13.5	0.5		5.12	10.24	15.36	20.47	40.95	51.18
>400	>507,06	0	14	70	41.92	83.83	125.75	167.67	335.33	419.16
		1	13		40.32	80.65	120.97	161.29	322.59	403.24
		2	12		38.62	77.24	115.87	154.49	308.97	386.22
		3	11		36.80	73.60	110.40	147.19	294.39	367.99
		4	10		34.84	69.68	104.52	139.36	278.73	348.41
		5	9		32.73	65.47	98.20	130.94	261.87	327.34
		6	8		30.46	60.92	91.38	121.83	243.67	304.59
		7	7		27.99	55.99	83.98	111.98	223.96	279.95
		8	6		25.32	50.64	75.95	101.27	202.54	253.18
		9	5		22.40	44.80	67.20	89.59	179.19	223.99
		10	4		19.20	38.41	57.61	76.81	153.62	192.03
		11	3		15.69	31.38	47.07	62.75	125.51	156.89
		12	2		11.81	23.61	35.42	47.23	94.45	118.07
		13	1		7.50	14.99	22.49	29.98	59.96	74.95
		13.5	0.5		10.34	20.68	31.01	41.35	82.71	103.38

Áreas de derrocamento correspondentes

AD1	AD9
AD2	AD10
AD3	AD11
AD4	AD12
AD5	AD13
AD6	AD14
AD7	AD15
AD8	AD16

SECRETARIA DE PORTOS

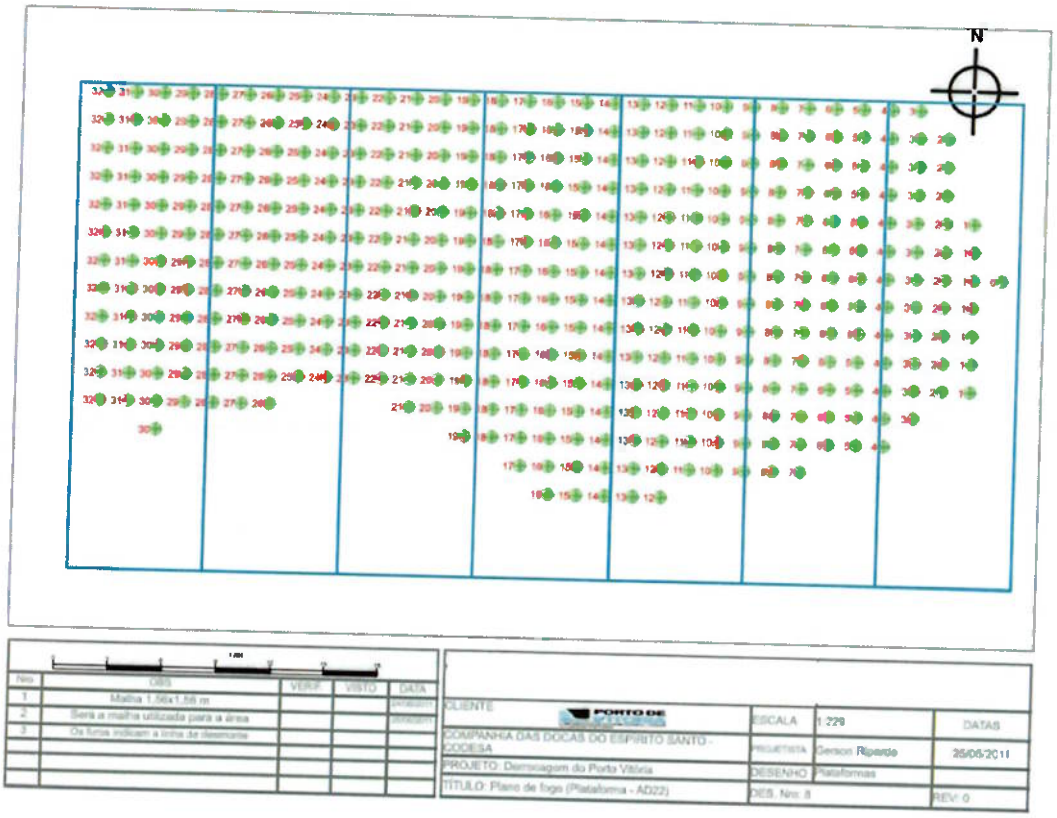
DISTÂNCIA SEGURA X VALORES DE CARGA

Limites seguros para frequências maiores que 40 Hz

Densidade do explosivo = 1,2 g/cm³

Distância Segura (m)	Qb Máximo (kg)	Cota de derrocagem = 14 m			Carga por espera [kg]					
					Numero de furos na mesma espera					
		Ha [m]	Hr [m]	Φ [mm]	1	2	3	4	8	10
5	0.08	0	14	51	22.09	44.19	66.28	88.38	176.75	220.94
10	0.32	1	13		21.24	42.48	63.72	84.96	169.93	212.41
15	0.71	2	12		20.33	40.66	60.99	81.31	162.63	203.29
20	1.27	3	11		19.35	38.70	58.05	77.41	154.81	193.52
30	2.85	4	10		18.30	36.60	54.91	73.21	146.42	183.02
40	5.07	5	9		17.17	34.34	51.52	68.69	137.38	171.72
50	7.92	6	8		15.95	31.90	47.86	63.81	127.62	159.52
75	17.83	7	7		14.63	29.26	43.89	58.52	117.05	146.31
100	31.69	8	6		13.19	26.39	39.58	52.78	105.56	131.95
125	49.52	9	5		11.63	23.26	34.88	46.51	93.02	116.28
150	71.30	10	4		9.91	19.83	29.74	39.65	79.30	99.13
200	126.76	11	3		8.03	16.05	24.08	32.10	64.21	80.26
250	198.07	12	2		5.94	11.88	17.82	23.76	47.53	59.41
300	285.22	13	1		3.62	7.25	10.87	14.50	29.00	36.24
400	507.06	13.5	0.5		5.12	10.24	15.36	20.47	40.95	51.18
>400	>507,06	0	14	70	41.92	83.83	125.75	167.67	335.33	419.16
		1	13		40.32	80.65	120.97	161.29	322.59	403.24
Áreas de derrocamento correspondentes		2	12		38.62	77.24	115.87	154.49	308.97	386.22
		3	11		36.80	73.60	110.40	147.19	294.39	367.99
AD1	AD9	4	10		34.84	69.68	104.52	139.36	278.73	348.41
AD2	AD10	5	9		32.73	65.47	98.20	130.94	261.87	327.34
AD3	AD11	6	8		30.46	60.92	91.38	121.83	243.67	304.59
AD4	AD12	7	7		27.99	55.99	83.98	111.98	223.96	279.95
AD5	AD13	8	6		25.32	50.64	75.95	101.27	202.54	253.18
AD6	AD14	9	5		22.40	44.80	67.20	89.59	179.19	223.99
AD7	AD15	10	4		19.20	38.41	57.61	76.81	153.62	192.03
AD8	AD16	11	3		15.69	31.38	47.07	62.75	125.51	156.89
		12	2		11.81	23.61	35.42	47.23	94.45	118.07
		13	1		7.50	14.99	22.49	29.98	59.96	74.95
		13.5	0.5		10.34	20.68	31.01	41.35	82.71	103.38

E – Posicionamento das Plataformas de Perfuração



F – Distância Escalada

Desmontes e outros tipos de atividades que se utilizam de explosivos podem produzir ondas de choque quando de sua execução no meio onde se encontram, e tais ondas geram vibrações nas partículas com dadas frequências e velocidades máximas, em direções ortogonais. Tais vibrações, dependendo de suas características, podem danificar prédios, estruturas, solo, veículos e seres. Assim, dessas informações, também se sabe com quais valores uma rocha pode fraturar e se fragmentar.

Para cada meio, esses valores de frequência e velocidade máxima de partícula variam, portanto é necessário ajustar-se curvas e equações para tais parâmetros de forma a manter um desmonte seguro conforme o andamento do projeto. Ainda assim, surgiram teorias que definem limites mínimos e máximos iniciais para tais cálculos, fundamentados no conceito de Distância Escalada, que é definida pela expressão:

$$DS = \frac{D}{\sqrt{Q}}$$

Portanto, distancia escalada é a relação entre a distância do ponto de detonação a um objetivo em observação e a raiz quadrada da quantidade de explosivo detonada.

DS é também chamado de fator de distancia escalada expresso em $m/kg^{1/2}$

Assim, a Distância Escalada e o cálculo do seu fator são essenciais na escolha correta da quantidade de explosivos para um desmonte, de acordo com os limites máximos de velocidade de partículas previstos em norma de cada país.

A partir destas informações técnicas uma série de tabelas e gráficos foi especialmente gerada de forma a modelar as condições iniciais do desmonte das rochas no Porto de Vitória. Os cálculos que relacionam todos esses parâmetros e suas explicações estão logo abaixo.

Dados:

Qb = Quantidade de carga por espera (kg)
D = Distância de ação para um dado parâmetro (m ou ft)
Ds = Distância Escalada ($m/kg^{1/2}$)
VMÁX = Velocidade Máxima de Partícula (mm/s)
VPER = Velocidade Máxima de Partícula Permitida (mm/s)
Ha = altura da lâmina d'água (m)
Hr = altura da coluna de rocha (m)

$Qb\ (kg) = \left(\frac{D}{Ds}\right)^2$ (Equação 1.0)
$V = 160 \cdot DS^{-1,6}$ (in/s) (Equação 1.1)
$V = 0,836 \cdot DS^{-1,6}$ (m/s) (Equação 1.2)

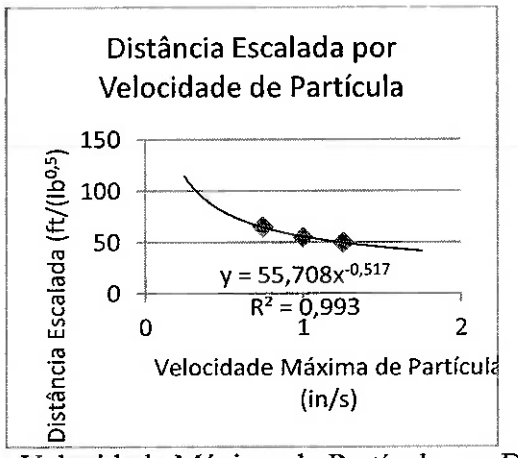
Assim, pelos valores iniciais de Rosenthal & Morlock (1987), no sistema inglês (feet, inches, pounds; pés, polegadas e libras, respectivamente), tem-se:

$V_{MÁX}$ (in/s)	Ds (ft/lb^{0,5})	D (ft)
1,25	50	0-300
1,00	55	300-5000
0,75	65	> 5000

Tais trabalhos, no entanto, não indicam as frequências máximas e mínimas relativas a cada velocidade de partícula. As normas brasileiras, que fazem referência a essas frequências, são, conforme a NBR 9653 (ABNT, 2005):

Frequência (Hz)	**V_{PER} (mm/s)**
< 15	15 a 20
15 a 40	20 a 50
> 40	= 50

A norma brasileira antiga (NBR 9653/96), antes de se adaptar aos parâmetros internacionais, não admitia faixas de frequência, e apenas considerava um valor máximo para velocidade de partículas. Assim, foi necessário adequar duas referências NBR 9653 e Rosenthal & Morlock em uma só, de forma a usá-la como referência inicial do projeto. Para tal, foram feitas as devidas transformações de unidades, e um gráfico surgiu, de acordo com os valores de Rosenthal & Morlock (1987), ainda no sistema inglês.



Curva Estipulada de Velocidade Máxima de Partícula por Distância Escalada.

Foram feitas outras curvas com outros tipos de linha de tendência, porém a curva de potência foi a que melhor se adequou ao problema, com correlação linear de 0,993. Os valores

de velocidade máxima na norma brasileira foram transformados para o sistema do gráfico, e o resultado, em libras, da equação interpolada, foi transformado de volta ao sistema métrico, resultando nos seguintes valores:

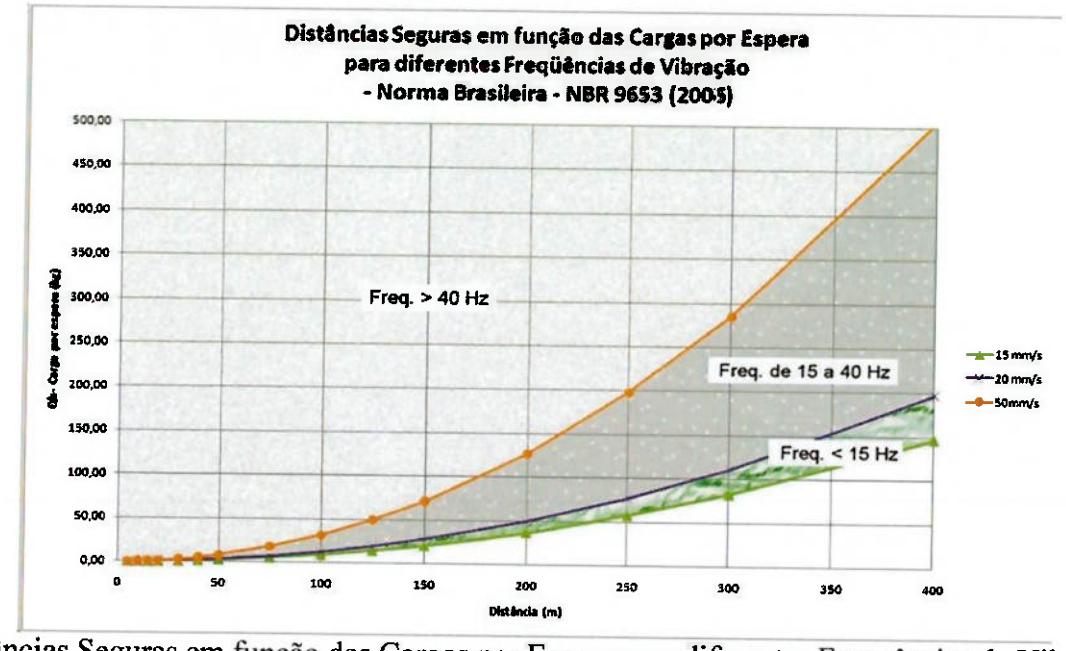
mm/s	in/s	Ds
15	0,591	73,144
20	0,787	63,035
50	1,969	39,251

Distâncias Escaladas Equivalentes

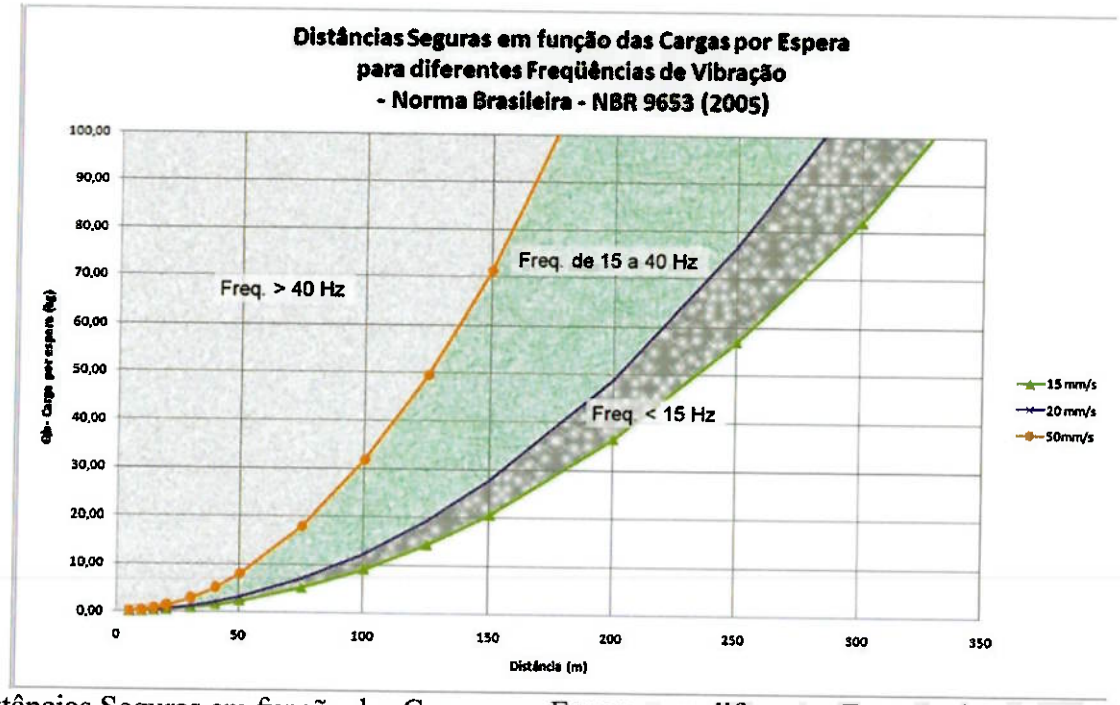
Assim, utilizando a Equação 1.0, foi calculada a curva Qb x Distância, para as três distâncias escaladas, observando a faixa de frequência para cada uma dessas. Num primeiro caso, tem-se a escala para até 500 kg de explosivo para uma espera somente, e depois, para no máximo 100 kg.

Cálculo de Distâncias Seguras em função das Cargas por Espera para diferentes Frequências de Vibração															
15 mm/s															
Distâncias															
D (m)		10	15	20	30	40	50	75	100	125	150	200	250	300	400
Q_b (kg)	0,0	0,1	0,2	0,4	0,8	1,5	2,3	5,1	9,1	14,3	20,5	36,5	57,0	82,1	146,0
20 mm/s															
Distâncias															
D (m)		10	15	20	30	40	50	75	100	125	150	200	250	300	400
Q_b (kg)	0,0	0,1	0,3	0,5	1,1	2,0	3,1	6,9	12,3	19,2	27,6	49,2	76,8	110,6	196,6
50mm/s															
Distâncias															
D (m)	5	10	15	20	30	40	50	75	100	125	150	200	250	300	400
Q_b (kg)	0,1	0,3	0,7	1,3	2,9	5,1	7,9	17,8	31,7	49,5	71,3	126,8	198,1	285,2	507,1

Cálculo de Distâncias Seguras em função das Cargas por Espera para diferentes Frequências de Vibração



Distâncias Seguras em função das Cargas por Espera para diferentes Frequências de Vibração (até 500 kg).



Distâncias Seguras em função das Cargas por Espera para diferentes Frequências de Vibração (até 100kg)

G – Tipos de Desmonte e Cálculo das Valetas de Proteção

TIPOS DE DESMONTE		
Normal	no mínimo 5 furos por espera	espoleta eletrônica ou ttoc espoleta pirotecnica
Cuidadoso	no mínimo 3 furos por espera	Utilização de espoleta eletrônica
Muito cuidadoso	1 ou 2 furos por espera	Utilização de espoleta eletrônica
Com Valeta	<1 furo por espera	Construção de valeta

Área	Altura Corrigida do Furo (m)	Distância (m)	Valetas	Qb (kg)	Descrição	Max. Furos por espera	Tipo do Desmonte
AD1	1,24	330,00	0	4,1	-	10	normal
AD2	3,67	390,00	0	9,8	-	10	normal
AD3	2,05	240,00	0	6,1	-	10	normal
AD4	1,49	203,00	0	4,7	-	10	normal
AD5	4,81	80,00	1	17,6	ilha fumaça	<1	valeta
AD6	6,86	235,00	0	18,2	norte	2	muito cuidadoso
					sul	4	cuidadoso
AD7	5,73	267,00	1	24,0	norte	1	muito cuidadoso
					sul	3	muito cuidadoso
					ilha pombas	<1	valeta
AD8	7,96	32,00	1	24,5	norte	<1	valeta
					sul	1	muito cuidadoso
AD9	2,75	36,00	1	7,1	norte	<1	valeta
					sul	2	muito cuidadoso
AD10	3,37	51,00	1	10,4	norte	<1	valeta
					sul	2	muito cuidadoso
AD11	18,28	51,00	1	18,2	norte	<1	valeta
					sul	2	muito cuidadoso
AD12	1,59	170,00	0	5,0	norte	8	normal
					sul	5	normal
AD13	1,98	170,00	0	5,8	norte	4	normal
					sul	4	normal
AD14	4,09	65,00	1	13,0	norte	<1	valeta
AD15	1,47	94,00	0	4,5	sul	2	muito cuidadoso
AD16	3,30	0,00	1	9,8	sul	<1	valeta
AD17	1,98	0,00	1	6,7	sul	<1	valeta
AD18	1,04	0,00	1	4,3	sul	<1	valeta
AD19	4,96	45,00	1	13,8	norte	<1	valeta
AD20	3,00	51,00	1	9,6	norte	<1	valeta
AD21	1,62	115,00	0	5,1	sul	2	muito cuidadoso
AD22	1,40	20,00	1	5,1	norte	<1	valeta
AD23	2,08	65,00	1	6,3	norte	<1	valeta
AD24	1,34	56,00	1	5,1	norte	<1	valeta
AD25	1,03	23,00	1	3,9	norte	<1	valeta
AD26	1,59	43,00	1	3,8	norte	<1	valeta
AD27	1,10	26,00	1	3,8	norte	<1	valeta
AD28	1,42	20,00	1	7,8	norte	<1	valeta

TABELA 1.2

Áreas ADs	Distância da Furação ao local a ser protegido (m)	Qb Quantidade de Explosivo por furo (kg)	Profundidade média em rocha (m)	he Altura Equivalente (m)	Razão de carregamento necessária CE(kg/m3)	Aa Área deslocada (m2)	Espaçamento entre furos de mina (m)
AD5	85	7	7,0	11,71	1,67	0,47	0,68
AD7	5	0,03	8,1	12,39	1,74	0,00	0,04
AD8e9	30	1,11	6,8	11,64	1,66	0,08	0,27
AD10	48	2	4,3	10,07	1,51	0,21	0,46
AD11	40	1,97	7,3	11,90	1,69	0,13	0,36
AD14	44	2	5,0	10,48	1,55	0,19	0,43
AD16	0	0	4,7	10,32	1,53	0,00	0,00
AD17	0	0	2,9	9,20	1,42	0,00	0,00
AD18	0	0	1,6	8,39	1,34	0,00	0,00
AD19	44	2	5,8	11,01	1,60	0,16	0,40
AD20	50	3,07	4,0	9,90	1,49	0,34	0,58
AD22	20	0,49	1,7	8,45	1,35	0,10	0,31
AD23	63	4	2,1	8,73	1,37	0,70	0,84
AD24	52	3,1	1,5	8,31	1,33	0,67	0,82
AD25	21	0,49	0,8	7,87	1,29	0,14	0,37
AD26	45	2	0,5	7,73	1,27	0,62	0,79
AD27	21	0,49	1,4	8,28	1,33	0,11	0,33
AD28	21	0,49	3,6	9,63	1,46	0,06	0,24
TOTAL							

TABELA 1.2						
Áreas ADs	Extensão da linha de descontinuidade (m)	Profundidade da linha de descontinuidade	Número de Furos iniciados por espoleta eletrônica	Número de furos para argamassa expansiva		OBS
				35 (mm)	51 (mm)	
AD5	40,00	9,0	58			Iniciação por espoleta eletrônica
AD7	290,00	10,1	-	1740	870	Argamassa Expansiva
AD8e9	141,90	8,8	517	-	-	Iniciação por espoleta eletrônica
AD10	32,66	6,3	71	-	-	Iniciação por espoleta eletrônica
AD11	100,87	9,3	284	-	-	Iniciação por espoleta eletrônica
AD14	87,24	7,0	203	-	-	Iniciação por espoleta eletrônica
AD16	102,12	6,7	-	613	306	Argamassa Expansiva
AD17	44,10	4,9	-	265	132	Argamassa Expansiva
AD18	67,50	3,6	-	405	203	Argamassa Expansiva
AD19	19,00	7,8	48	-	-	Iniciação por espoleta eletrônica
AD20	78,65	6,0	135	-	-	Iniciação por espoleta eletrônica
AD22	68,64	3,7	219	-	-	Iniciação por espoleta eletrônica
AD23	26,01	4,1	31	-	-	Iniciação por espoleta eletrônica
AD24	45,14	3,5	55	-	-	Iniciação por espoleta eletrônica
AD25	48,80	2,8	131	-	-	Iniciação por espoleta eletrônica
AD26	16,75	2,5	21	-	-	Iniciação por espoleta eletrônica
AD27	42,80	3,4	130	-	-	Iniciação por espoleta eletrônica
AD28	50,70	5,6	207	-	-	Iniciação por espoleta eletrônica
TOTAL	1302,88		2110	3022	1511	