



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo



Trabalho de Formatura

---

**Dimensionamento de desmonte não agressivo em  
zonas residenciais e sensíveis ao meio ambiente**

Aluno:  
Leonardo Motta Camargo Silva  
NUSP: 2253775

Orientador:  
Eng. Benedicto Hadad Cintra

São Paulo  
2001

TF-2001

538d

Lynx 1443295



M2001A

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700005427

Aos meus familiares e amigos  
que sempre estiveram ao  
meu lado e compartilharam  
momentos de muita alegria.

## **Agradecimentos**

---

Aos professores do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica por me mostrarem o caminho da mineração com muito respeito, amizade e profissionalismo.

Ao amigo e orientador Eng. Benedicto Hadad Cintra.

Aos companheiros e amigos da Embu S.A. Engenharia e Comércio.

Aos meus pais, irmão e namorada pelo estímulo e incansável apoio.

Aos eternos amigos alunos de Engenharia de Minas que dividiram conhecimentos, noites em claro, fins de semana de estudos, festas, jogos e acima de tudo alegria e muito alto astral.

Aos que, direta ou indiretamente, colaboraram no desenvolvimento deste trabalho.

## SUMÁRIO

---

Lista de tabelas

Lista de figuras

Resumo

1. Introdução	1
2. A empresa	2
3. Restrições ambientais e reclamações	7
4. Meio ambiente	10
5. Procedimentos	15
5.1 Descrição do “BoreTrack”, “Laser Profile” e “Quarryman”	16
6. Explosivos	19
6.1 Agentes detonantes secos – NAOC (ANFO)	21
7. Elementos geométricos de um plano de fogo	22
8. Reflexos causados pelo processo de detonação por explosivo	24
8.1 Ultralancamento dos fragmentos rochosos	24
8.1.1 Efeitos causadores de ultralancamento	25
8.1.1.1 Estruturas rochosas	25
8.1.1.2 Perfuração	26
8.1.1.3 Tamponamento	26
8.1.1.3.1 Cálculo do tampão para desmonte não agressivo	29
8.2 Gases e vapores	30
8.3 Poeira	32
8.3.1 Uma opção – Caminhão aguador ou Pipa de alta potência	34
8.4 Vibração	38
8.4.1 Espoletas eletrônicas – Uma opção para um futuro breve	40
8.5 Liquefação	43
8.6 Danos à rocha	43
8.7 Impacto de ar	44
8.8 Incômodo visual e psicológico	45
8.9 Aspectos dos limites finais da cava	46
9. Bases da técnica de desmonte não agressivo	47
9.1 Diâmetro	47

9.2 Inclinação dos furos	50
9.2.1 Histórico	50
9.2.2 Vantagens da perfuração inclinada	50
9.2.3 Problemas e limitações da perfuração inclinada	53
9.3 Altura da bancada	55
9.4 Subperfuração	57
9.5 Afastamento	59
9.5.1 Afastamento da segunda e demais carreiras	61
9.6 Espaçamento	62
9.7 Arranjo dos furos	62
9.8 Formato da malha	63
9.9 Número de carreiras	64
9.10 Desvio dos furos	64
9.10.1 Estado dos furos	68
9.10.2 Escalonamento da carga por furo	68
9.11 Dimensão do fogo	71
9.12 Formato do fogo	71
10 Fotos de desmontes	73
11. Conclusões	74
12. Bibliografia	75

## Lista de Tabelas

---

Tabela 1 - Comparação dos explosivos	20
Tabela 2 - Utilização do “plugue”	28
Tabela 3 - Fatores que influenciam nos níveis vibratórios	38
Tabela 4 - Danos associados à velocidade de vibração	39
Tabela 5 - Resposta aos níveis de pressão de uma edificação típica	45
Tabela 6 - Razão de carregamento em função do diâmetro do furo	48
Tabela 7 - Relação entre o fator de segurança e índice	60

## Lista de Figuras

---

Figura 1	- Zoneamento municipal	3
Figura 2	- Uso e ocupação do solo	4
Figura 3	- Face Norte	5
Figura 4	- Face Sul	5
Figura 5	- Face Leste	6
Figura 6	- Face Oeste	6
Figura 7	- Tipos de fundações	9
Figura 8	- Detalhes do cinturão verde	13
Figura 9	- “Bota-fora” sem cobertura vegetal	13
Figura 10	- Simulação para o “Bota-fora”	13
Figura 11	- Cinturão verde e plantio de vegetação próximo às estradas	14
Figura 12	- Situação crítica de produção de poeira na perfuração e barreira de cinturão verde	14
Figura 13	- Face Oeste com cinturão verde	14
Figura 14	- Problemas na perfuração – Engastamentos	16
Figura 15	- Digitalização da bancada	17
Figura 16	- Detalhe de perfuração real e estimada em uma mina	17
Figura 17	- Sistema de iniciação não elétrico, emulsão encartuchada e NAOC	20
Figura 18	- Afastamento real	23
Figura 19	- Elementos geométricos do plano de fogo	23
Figura 20	- Mataco de 3 toneladas arremessado a 300 metros em mina a céu aberto	25
Figura 21	- Detalhe do tampão de pedra 1 no furo	26
Figura 22	- Carregamento do tampão com pedra 1	27
Figura 23	- Detalhes do “plugue”	27
Figura 24	- Variáveis no dimensionamento de tampão	29
Figura 25	- Coloração relacionada com o resultado do balanço de Oxigênio	31
Figura 26	- Perfuratriz hidráulica	32
Figura 27	- Perfuratriz pneumática	33
Figura 28	- Perfuratriz pneumática com dispositivo de contenção de poeira	33



Figura 29	- Caminhão pipa molhando a frente de lavra	34
Figura 30	- Figuras de projeto de caminhão aguador	35
Figura 31	- Detalhe do movimento da poeira no local de detonação	35
Figura 32	- Detalhe da pilha de pedrisco de perfuração próxima ao furo	36
Figura 33	- Plano de recuperação da região do “bota-fora” para contenção da poeira	37
Figura 34	- Soluções para contenção da poeira	37
Figura 35	- Sismógrafos preparados em campo	40
Figura 36	- Espoletas eletrônicas	41
Figura 37	- Espoletas eletrônicas	42
Figura 38	- Alguns danos causados à rocha	43
Figura 39	- Sunway Lagoa – parque montado na Malásia (antes e depois)	46
Figura 40	- Distribuição conforme a perfuração	47
Figura 41	- Ondas de choque	51
Figura 42	- Ondas de choque	51
Figura 43	- Efeitos do repé	52
Figura 44	- Ultra-Arranque	53
Figura 45	- Razão de flexibilidade	55
Figura 46	- Efeito da flexibilidade em lápis	56
Figura 47	- Foto mostrando efeito de flexibilidade em bancada	56
Figura 48	- Carga de base x Altura da carga	57
Figura 49	- Tensões devido a subperfuração	58
Figura 50	- Subperfuração de acordo com situações geológicas.	59
Figura 51	- Variação do afastamento	61
Figura 52	- Tipos de malha	63
Figura 53	- Desvio dos furos	65
Figura 54	- Exemplos de erros na perfuração	65
Figura 55	- Exemplo de comportamento dos furos.	67
Figura 56	- Formas de avanço	71
Figura 57	- Formas de se desmontar a frente	72
Figura 58	- Esquema de seqüência de detonações para diversos fogos	72
Figura 59	- Desmonte agressivo	73
Figura 60	- Desmonte não agressivo	73

## **RESUMO**

---

O presente trabalho reúne elementos para o dimensionamento de desmonte de rocha por explosivo não agressivo, em empresas de mineração localizadas próximo a zonas residenciais e regiões ambientalmente sensíveis. A preocupação do texto é apresentar os diversos problemas causados por desmontes não cuidadosos, e também os causadores destes. Pretende fornecer soluções através de procedimentos, cálculos e um plano de desmonte por explosivo para reduzir a zero o risco de danos, como comprovado na empresa em estudo e em outras empresas de mineração onde este método está sendo aplicado. Além do cumprimento da formalidade de apresentação de trabalho de formatura, este texto tem a pretensão de apresentar idéias aos novos e velhos engenheiros, de um método de se exercer a mineração com respeito à população e ao meio ambiente.

## 1. Introdução.

---

Atualmente na mineração é comum a ocorrência de problemas no relacionamento com a comunidade próxima à região de lavra devido aos reflexos do processo de perfuração e desmonte de rochas. Estes reflexos podem ser decorrentes de excessiva vibração, da presença de material particulado na atmosfera, de ruído ou do ultralancamento de fragmentos rochosos.

Se formos observar as bibliografias sobre sistemas de dimensionamento de malhas de detonação, carregamento de explosivos e técnicas de desmonte de rocha, encontraremos projetos que sendo aplicados hoje em dia, acarretariam em ultralancamentos, vibrações fora dos padrões técnicos, casos de produção de poeiras, de gases com colorações destacadas, desperdício de energia e danos ao meio ambiente. Isto ocorre pois estes sistemas não se adaptaram ao avanço tecnológico dos equipamentos e materiais de perfuração e desmonte.

Este projeto tem por finalidade descrever um método de desmonte não agressivo por explosivos em área sensível ao meio ambiente, bem como fornecer soluções para eventuais problemas que possam surgir durante os processos de perfuração, carregamento e desmonte, com a utilização de novos equipamentos e materiais existentes no mercado mineiro, tais como perfuratrizes pneumáticas de médio diâmetro (3 ½" e 4"), explosivos bombeados ou NAOC (ANFO).

Os trabalhos foram realizados na Pedreira Embu do grupo Embu S.A. Engenharia e Comércio, localizada no município de Embu das Artes, São Paulo, estando esta em uma região com urbanização crescente que força um estudo para contenção ou redução dos diversos impactos e danos estruturais.

## 2. A Empresa.

---

A pedreira Embu pertence ao grupo Embu S.A. Engenharia e Comércio e está localizada na estância turística Embu das Artes, a 35 quilômetros do centro de São Paulo.

É uma empresa com grande destaque no setor de agregados para construção civil (pedra britada), e seus produtos são destinados para o setor público e privado.

O empreendimento situa-se, no km 30 da estrada do DAE, com sua maioria inserida na bacia hidrográfica do Baixo Cotia e, uma parte da cava, na Bacia do Reservatório Guarapiranga.

Como acontece com muitos empreendimentos mineiros, a região próxima à pedreira está sofrendo uma grande urbanização com o passar dos anos. A vizinhança, que antes era formada apenas por vilas de operários da empresa, já é composta por uma densa população com escolas, igrejas, estabelecimentos comerciais de baixo padrão, estradas vicinais, e por se tratar de uma estância turística, condomínios residenciais de alto padrão estão se desenvolvendo na região.

A atividade de mineração, que teve início, no local, em 1962, abrange uma área de cerca de  $1.584.493 \text{ m}^2$ , cuja ocupação anterior consistia de sítios. Estima-se que a jazida tenha uma vida útil de 40 anos.

A área de lavra, encontra-se seca, na cota de base 830m. Nos taludes da face Norte existe marejamento d'água pelas fraturas. Observa-se que após chuvas intensas estabelece-se uma rede de percolação bastante intensa.

Frentes de lavra:

Face Norte: 300m extensão, cota de topo: 900

Face Leste: 350m extensão, cota de topo: 880

Face Sul: 350m extensão, cota de topo: 890

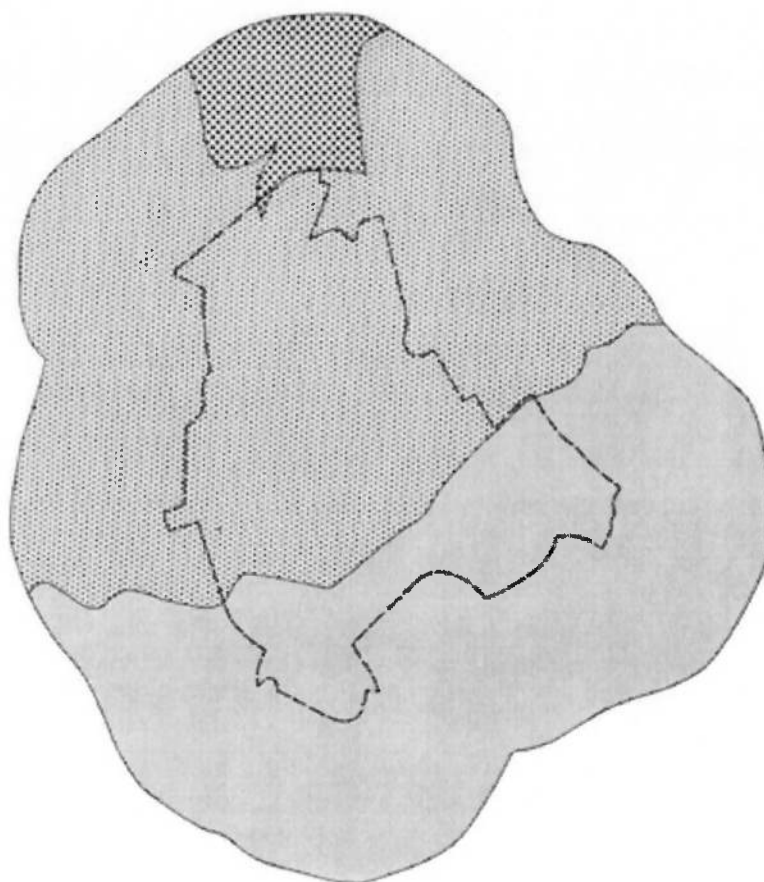
Face Oeste: Não é lavrada - acesso ao beneficiamento e escritórios.

A rocha lavrada é um gnaiss granítico de peso específico 2,7, coeficiente de empolamento 80 %, e composição homogênea à vista desarmada. As

descontinuidades indicam que devem tratar-se de dois tipos em separados: o Leste, mais competente, e o Norte-Sul, mais fragmentado.

Apresenta bancos com alturas variando de 10 e 15 metros e a distância máxima de transporte atinge aproximadamente 1200 metros

Abaixo teremos figuras destacando o zoneamento municipal, o uso e ocupação do solo e fotos das 4 frentes de lavra da pedreira.



**Figura 1 - Zoneamento Municipal**

#### LEGENDA



Limite de Propriedade da Pedreira Embu.



**ZR1A** – Zona de uso estritamente residencial de densidade demográfica baixa, localizada fora da área de proteção aos mananciais.



**ZR1B** – Zona de uso estritamente residencial de densidade demográfica baixa, localizada dentro da área de proteção aos mananciais.



**ZR3** – Zona de uso predominantemente residencial de densidade demográfica alta.



Mostraremos a seguir, fotos das frentes de lavra da pedreira em estudo, destacando ao fundo o cinturão verde que rodeia a área de extração e na face leste a região de maior cuidado, pois se trata de uma região próxima aos condomínios.

#### **Face Norte:**

Região em operação, onde se encontram as rampas de acesso aos diversos níveis e às cotas superiores, áreas com necessidade de limpeza para futuro avanço.



**Figura 3 - Face Norte**

#### **Face Sul:**

Região com produção reduzida e necessidade de trabalhos de limpeza.



**Figura 4 - Face Sul**



**Face Leste:**

Região em operação , presença de bota-fora e proximidade de condomínios residenciais.



**Figura 5 - Face Leste**

**Face Oeste:**

Região sem operação, acesso às instalações da empresa (britagem, escritórios e oficinas) e a zona residencial local.



**Figura 6 - Face Oeste**



### 3. Restrições Ambientais e Reclamações.

---

No estado de São Paulo, a CETESB têm adotado os seguintes limites operacionais como critério de danos:

- Velocidade da partícula, valor resultante, igual a 4,2 mm/s sem dependência de frequência ou 3mm, componente vertical.
- Impacto de ar, valor de 128 dBL.

Convém ressaltar que de acordo com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), NBR 9653 de novembro de 1986, os níveis que não podem ser ultrapassados são os seguintes:

- Velocidade da partícula, valor resultante, igual a 15 mm/s sem dependência da frequência.
- Impacto de ar, valor de 134 dBL.

No tocante aos níveis de incômodo, o setor está aguardando a deliberação da ABNT que irá definir aqueles níveis que deverão ser adotados em cada operação especificamente.

Quanto às reclamações de vizinhos, a empresa em estudo não registrou nenhuma durante o período deste trabalho. A população normalmente mostra-se preocupada em saber quais são os limites para causar danos a sua propriedade e porque apareceram determinadas rachaduras em suas paredes, trincas na base da casa, trincas nas escadas frontais, etc.

Esta é uma situação natural, pois após detonações, residentes vizinhos de operações de desmonte com explosivos, em qualquer país do mundo, ficam curiosos em saber se os níveis de fenômenos danosos estão abaixo dos níveis da legislação ou se aproximam de níveis que possam causar danos às suas propriedades. Se estas já apresentam danos, a curiosidade ainda é maior. O nível cultural e social, sendo alto, faz com que a curiosidade atinja um grau muito técnico e é isto que ocorre normalmente.

Diversas hipóteses podem ser encontradas para determinar as causas dos danos, mas segundo estudos de engenheiros norte-americanos (VCE.Inc), existem muitas outras, de caráter natural ou não, onde é ausente a atividade de detonação. Podemos citar dentre os mais de 40 catalogados, os seguintes casos:

- 1) Tempestades elétricas.
- 2) Recalque diferencial.\*
- 3) Madeiras com alto teor de umidade.
- 4) Mudanças de temperatura.
- 5) Crescimento de raízes de árvores.
- 6) Cupim e madeira apodrecida.
- 7) Rajadas de ventos.
- 8) Defeitos de fabricação de peças ou má qualidade de materiais de construção.
- 9) Construção inadequada.

A mais comum delas é o **recalque diferencial**:

Casas e edificações ou porções dela, se movem por causa das mudanças de resistência do solo onde estão assentadas, ocorrem:

- Durante as temporadas de fortes e duradouras chuvas.
- Após a temporada de chuvas.

Durante as chuvas, em terrenos íngremes, a variação no ritmo produz correnteza perto da superfície, mudando a resistência do solo que suporta várias partes da casa e da estrutura. Quanto mais baixa estiver a construção, em relação a área de captação das chuvas, mais fácil será para que o lençol freático se aproxime da base da construção. Em alguns casos, fica fácil observar esta elevação, pois em algum ponto do terreno, mesmo após as chuvas, observa-se que a água brota livremente.

- Onde o solo abaixo da estrutura não é uniforme, provocando recalque diferencial entre as diversas partes da estrutura, produzindo tensões e conseqüentes fissuras.

Exemplo típico de solo não uniforme é o caso de terreno em corte e em aterro.

A região de aterro possui resistência bem menor do que a de corte.

- Durante a estiagem, a água que ocupava espaço, cede lugar a vazios que ocorrem, desde a superfície, até considerável profundidade.

Isto reduz a habilidade do solo em sustentar a construção logo acima e o recalque se faz sentir novamente.

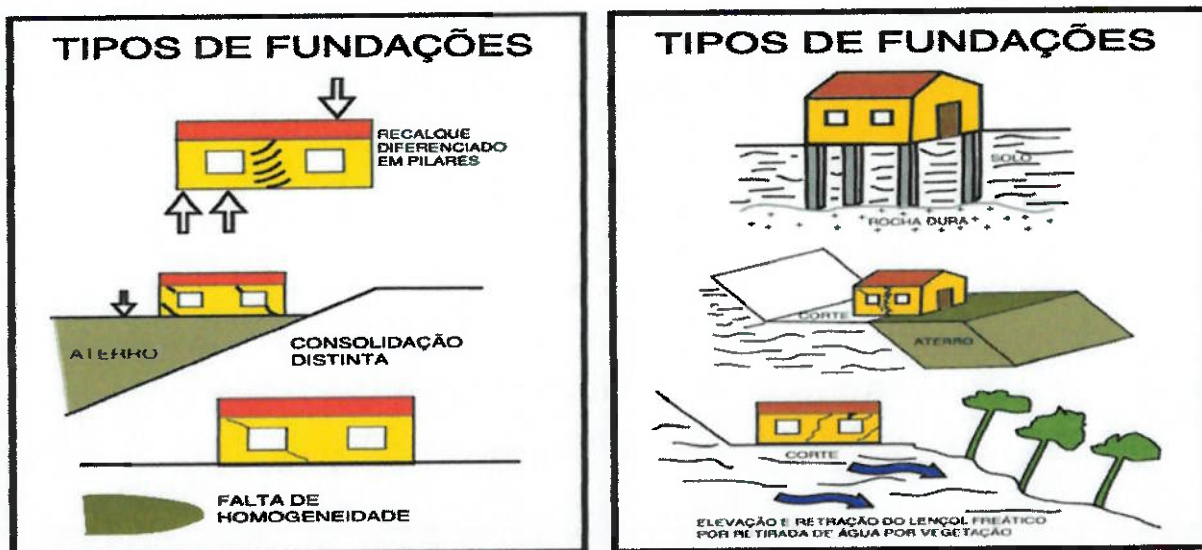


Figura 7 - Tipos de Fundações

Vizando minimizar qualquer tipo de reclamação a pedreira Embu adotou os seguintes procedimentos básicos :

- Diminuiu o número de detonações na semana.
- Aumentou o tamanho das frentes e o número de carreiras.
- Detonou em horários adequados, como ao meio dia, onde :
  - A ocorrência de inversões é menos provável.
  - Horário de almoço dos funcionários, permitindo evacuação da área de lavra sem a necessidade de paralisação da produção.
- Evitou ao máximo detonar em véspera e durante feriados e finais de semana.
- Avisou os vizinhos dos procedimentos de detonação e atender rapidamente a qualquer imprevisto ou reclamação.
- Como observado, nem sempre o causador dos danos é o processo de detonação, assim é importante tomar algumas medidas para avaliar efetivamente danos em propriedades, cujos proprietários acreditam que sejam causados por detonações, para evitar ser enganado ou acusado do que não cometeu.

#### 4. Meio Ambiente.

---

O conceito de Meio Ambiente tem especial importância no estudo de impacto ambiental, já que existe uma forte tendência de associar seu conceito somente à fauna e à flora. Assim, são deixados de lado elementos essenciais e indissociáveis, próprios do ser humano, vinculados tanto ao meio social, como aos elementos sócio-econômicos, históricos, culturais, bem como aos recursos naturais, entre os quais são considerados: fauna, flora, solo, ar, água e outros.

A legislação ambiental define impacto ambiental como toda alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, que, direta ou indiretamente, afetem: a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais (art. 1º, Resolução CONAMA 001/96 m).

A meteorologia e a topografia são de extrema importância para a determinação da concentração e a dispersão dos poluentes na atmosfera, permitindo assim, um correto planejamento e controle da poluição do ar.

Entre os parâmetros meteorológicos que devem ser considerados no processo de dispersão dos poluentes estão: velocidade e direção dos ventos, a precipitação pluviométrica, a umidade relativa, a temperatura, a pressão e a evaporação. A topografia tem influência sobre os parâmetros meteorológicos, proporcionando menor ou maior dispersão dos poluentes.

Os poluentes atmosféricos podem ser de origem natural ou produzidos pelo homem. São classificados como primários quando emitidos por uma fonte conhecida e permanecem na atmosfera em forma original, e como secundários quando formados na atmosfera por razões químicas envolvendo os poluentes primários.

Entre os poluentes produzidos na natureza podemos citar: polens, bactérias, gases e materiais sólidos de erupções vulcânicas. Dentre os gerados pelo homem: compostos de enxofre, compostos de carbono, compostos de nitrogênio, substâncias radioativas, metais pesados e materiais particulados.

Estes poluentes presentes no ar, isolados ou combinados, podem causar efeitos danosos à saúde humana, à vegetação, aos animais, e aos materiais.

Quanto à saúde humana, ao poluirmos o ar atmosférico ficamos suscetíveis a inúmeras doenças, como: alergias, alterações nas funções fisiológicas, doenças crônicas no aparelho respiratório, câncer de pulmão, e doenças pneumo-crônicas, causadas por partículas de faixa granulométrica muito fina que podem petrificar os pulmões, de forma reversível e irreversível.

A poluição do ar sobre materiais produz efeitos como abrasão, causada por partículas sólidas que colidem com a superfície e a destruição de metais, causada pela precipitação de material sólido ou líquido corrosivo. Auxiliam neste processo a umidade, a temperatura e a velocidade do ar.

O efeito da poluição do ar manifesta-se na vegetação através de três aspectos principais:

- Precipitação de partículas sobre folhas, reduzindo a capacidade fotossintetizante do vegetal.
- Sedimentação de partículas sólidas no solo, que podem conter poluentes que serão absorvidos pelas raízes dos vegetais.
- Penetração de poluentes, como gases e substâncias solúveis, nos estômatos das plantas.

Os principais agentes agressores da plantas são: compostos de enxofre, óxidos de nitrogênio e fluoretos. Os efeitos da poluição sobre animais estão diretamente relacionados com complicações digestivas e respiratórias.

Dentre as formas de controle da poluição do ar, na mineração, destacam-se:

- Aspersão da água.
- Proteção com cobertura (vegetal ou revestimentos como plásticos e lonas) contra arrasto eólico.
- Enclausuramento e captação de fontes emissoras perigosas.
- Ventilação diluidora.
- Utilização de equipamentos despoluidores do ar.
- Controle de detonações.

As normas técnicas da ABNT estabeleceram parâmetros mínimos que devem ser observados durante uma detonação. (Norma ABNT-NBR9653-Guia para avaliação dos Efeitos Provocados pelo uso de Explosivos nas Minerações em áreas Urbanas). Destacam-se os seguintes.

- Velocidade resultante de vibração de partículas em locais além da área de operação da mina, deve ser limitada a 15mm/s, quando não houver estudo detalhado da frequência de vibração.
- Nível de pressão sonora decorrente de “sopro de ar” limitado a 100Pa (134dBL).
- Usar razão de carregamento adequada.
- Não adotar afastamento excessivo.
- Evitar furos de levante.
- Orientar a detonação.
- Escolher adequadamente o horário de detonação, evitando domingos, feriados e períodos de silêncio.
- Reduzir detonações secundárias.
- Adotar tamponamento adequado.
- Considerar condições meteorológicas, a direção e a velocidade dos ventos e nuvens.

Estes parâmetros serão discutidos mais a diante quando introduzirmos o plano de fogo para desmonte não agressivo.

- Cinturão verde

Os cinturões verdes ou florestais possibilitam a redução da poluição do ar produzida por gases, poeiras e energia. Reduzem também o impacto visual, minimizando o efeito psicológico da agressão ambiental, e se implantados entre a área de lavra e urbana, produzem um efeito amenizador da aparência da área de lavra.



O efeito do cinturão verde em termos de qualidade ambiental é consequência de três fatores: absorção parcial de alguns gases como SOx, NOx



e HF; a retenção física parcial do material particulado emitido e a redução da poluição sonora. Esta prática também apresenta outras vantagens como na aparência e das condições de trabalho, com a melhoria do microclima (umidade, temperatura, etc), o que se reflete diretamente na saúde do trabalhador.

A seguir, temos algumas fotos da pedreira em estudo mostrando o cinturão verde e uma simulação do que pode ser feito na região de bota fora próximo ao limite da empresa.



**Figura 8 - Detalhes do cinturão verde**



**Figura 9 - "Bota Fora" sem cobertura vegetal**



**Figura 10 - Simulação para o "Bota Fora"**

Observe que na figura acima, foi feita uma simulação para o futuro reflorestamento da região de "bota-fora", criando uma barreira natural para contenção de poeira.



**Figura 11 - Cinturão Verde e plantio de vegetação próximo às estradas**



**Figura 12 -Situação crítica de produção de poeira na perfuração e barreira de cinturão verde atuante.**



**Figura 13 -Face Oeste com cinturão verde.**



## 5. Procedimentos.

---

Para um bom desempenho das operações de perfuração, carregamento e desmonte de bancada, são necessários alguns procedimentos básicos para evitar imprevistos e resultados insatisfatórios. Descreveremos abaixo uma metodologia que visa otimizar as operações, proporcionando um desmonte não agressivo. Dividiremos estes procedimentos em antes, durante e depois a operação de desmonte.

Antes de qualquer trabalho na bancada a ser desmontada, deve ser verificado:

- Não existem pessoas ou máquinas próximas à bancada.
- Não existem restos de material explosivo do fogo anterior.
- Não existem blocos ou superfícies soltas na bancada que possam ocasionar queda de equipamentos ou pessoas.

Após verificar estes itens, deve ser executado :

- Limpeza de blocos soltos e materiais de capeamento na bancada com carregadeira.
- Drenagem de poças ou cursos de água próximos ao local de detonação, evitando entupimento e colapso das minas.

Com a bancada limpa e preparada, iniciamos a operação de marcação da malha de fogo estipulada. Esta marcação deve obedecer aos cálculos previamente executados do plano de fogo, seguindo os valores de afastamento e espaçamento para a primeira, segunda e demais linhas.

Em seguida, medidas de nivelamento devem ser executadas para determinar as cotas de cada mina isoladamente, sendo estas utilizadas nos cálculos de inclinação e subperfuração, cota da boca, cota de fundo e comprimento de cada furo a ser perfurado.

Tendo todos estes dados marcados em uma planilha de perfuração, determina-se o diâmetro dos bits a serem usados, observando o comportamento e características da face livre.

Inicia-se o processo de perfuração.

Ressaltamos que não se deve marcar furos que produzam engastes na detonação, como demonstrado na figura abaixo, para evitar grandes vibrações, ultra-arranque e ultralançamento.

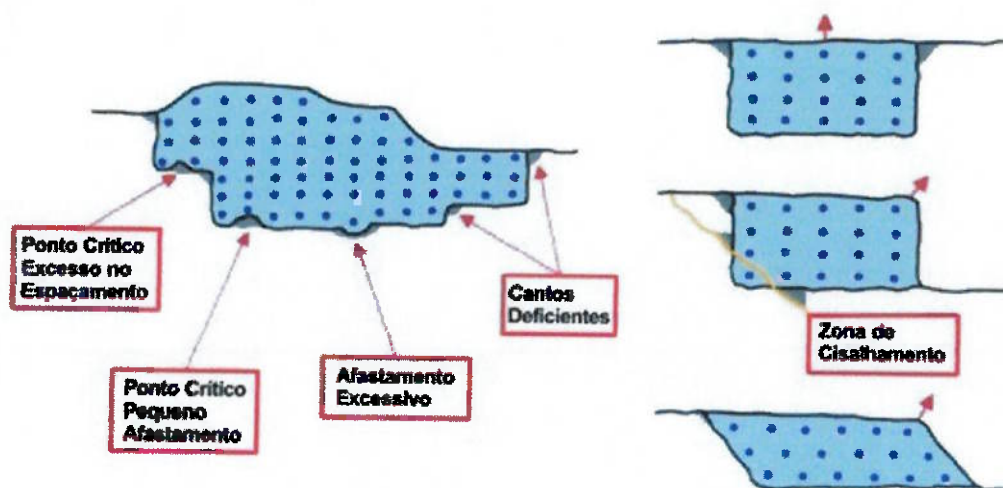


Figura 14 -Problemas na perfuração : Engastamentos

Com a malha perfurada e o pé da bancada livre de matacos, deve-se executar um trabalho de escaneamento e perfilagem dos furos da primeira linha para determinar desvios e erros na perfuração.

Atualmente os métodos mais eficientes de otimização do desmonte de rochas por explosivo são baseados em instrumentação das detonações, através de equipamentos como sismógrafos de engenharia, "Laser profile", medidores de desvio de perfuração e câmeras de filmagem digital. Usualmente utiliza-se os equipamentos "BoreTrack" e "Quarryman" para executar este trabalho.

### 5.1 Descrição do "BoreTrack", "Laser Profile" e "Quarryman".

Sistemas capazes de efetuar leituras até a distância de um quilômetro através de um pulso de raio laser refletido na superfície da rocha. Executam a leitura a laser da qualidade da perfuração executada em certa bancada, captando pontos da face em distâncias, entre si, menores que 1 m, e detalhando o pé, a crista e demais ocorrências, tais como repés e cavidades. Com estes

equipamentos é possível observar desvios nos furos, afastamento e espaçamento reais, subperfuração, e altura da bancada.

Os dados obtidos por estas ferramentas são facilmente coletados em um PC através de programas que irão montar um relatório que descreve todas as características da bancada mina a mina, facilitando e auxiliando o processo de carregamento dos furos com explosivo.

Abaixo temos as diferentes informações que podem ser obtidas com a utilização destes equipamentos.

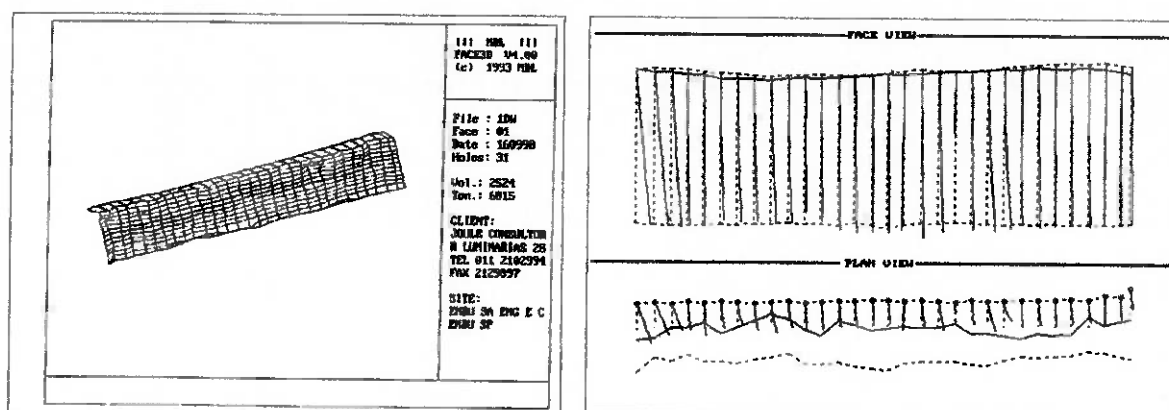


Figura 15 -Digitalização da bancada.

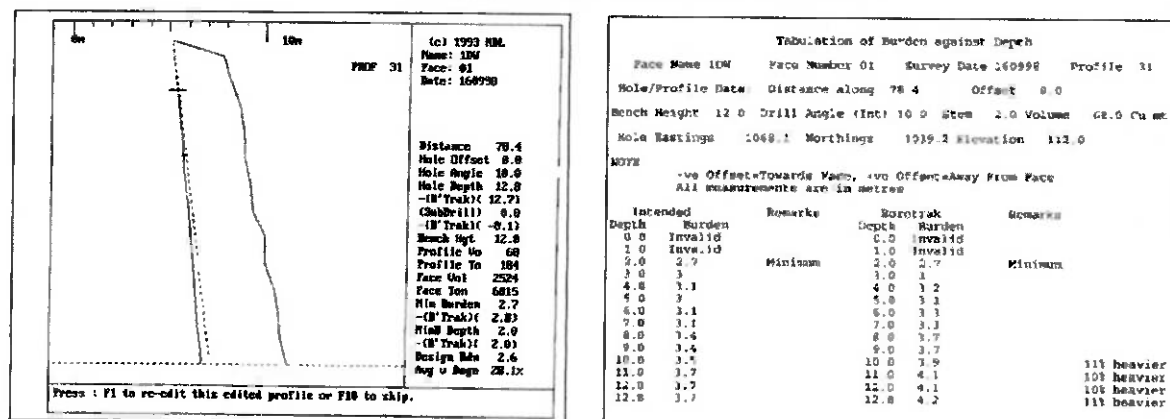


Figura 16 -Detalhe da perfuração real e estimada em uma mina.

Finalizado o escaneamento, um relatório é impresso com as informações necessárias mina a mina para o início do cálculo de cargas. Procura-se manter um carregamento proporcional à massa de rocha a ser deslocada por furo, comparando o afastamento real descrito no relatório e as características da face livre observadas no local.

Inicia-se agora a etapa de carregamento dos furos. Para tal, devemos verificar novamente alguns itens básicos para uma boa operação.

- Se todo o material explosivo utilizado no carregamento está disponível na bancada, não havendo necessidade de locomoção para nova busca.
- Se apenas pessoas capacitadas estão na região.
- Se a profundidade dos furos está adequada, em caso negativo, devem ser tomadas providências tais como acrescentar pedra 1 no furo.
- Se existem minas cheias de água (devem ser drenadas) ou entupidas (devem ser repassadas).

As operações de carregamento devem ser cuidadosamente executadas, com muito capricho para evitar erros no processo.

Depois de carregar todos os furos:

- Iniciar a amarração da malha;
- Inspeccionar a área, verificando se todas as sobras de materiais explosivos/acessórios foram recolhidas e devidamente armazenadas;
- O Blaster deverá efetuar a conferência rigorosa da ligação e providenciar o isolamento da área para detonação;
- Soar aviso sonoro contínuo até a detonação;
- Detonar o fogo.

## 6. Explosivos.

---

Explosivo é uma mistura de compostos (ou composto químico) que se encontra em estado metaestável e é capaz de apresentar uma rápida reação de decomposição em outros produtos, em sua maior parte gasosos, que ocupam um volume muito maior do que seu volume inicial, a altas temperatura e pressão, com grande quantidade de energia, em um tempo relativamente curto. Todo este processo de decomposição do explosivo, somado a efeitos visuais, mecânicos e acústicos é conhecido como explosão.



O uso de explosivos na mineração teve seu início em 1627 onde pequenas empresas utilizavam a pólvora negra confinada para obter resultados satisfatórios para a época. Por apresentar baixa velocidade de detonação (<600m/s), sua utilização apenas arrancava o bloco de rocha em vez de proporcionar uma fragmentação, como é esperado atualmente. A pólvora começou a ser substituída após a criação da nitroglicerina (1847), da dinamite nitroglicerina (1865) e da dinamite gelatinosa (1866).

As dinamites passaram a ser utilizadas em operações mineiras e civis pela sua facilidade de manuseio, não requeriam confinamento e possuíam velocidade de detonação variando de 1800m/s a 8000m/s. Até o final da década de 50 a dinamite foi a base da indústria de explosivos.

Para substituir as dinamites, foi criado um produto mais barato a base de nitrato de amônia com óleo conhecido por NAOC (ANFO - "ammonium nitrate fuel oil") e que em pouco tempo dominou o mercado. A partir da década de 60 outros materiais explosivos foram desenvolvidos como as lamas ("slurries" ou "water gels") e as emulsões.



**Figura 17 -Sistema de iniciação não elétrico, emulsão encartuchada e NAOC**

Atualmente no mercado podemos encontrar basicamente três tipos de explosivos.

- 1) Dinamites (granular e gelatinosa);
- 2) NAOC (ANFO) e NAOC (ANFO) aluminizado;
- 3) Lamas e Emulsões.

Abaixo temos uma tabela comparando os explosivos :

<b>Tipo de Explosivo</b>	<b>Velocidade de Detonação VOD</b>	<b>Energia (MJ/Kg)</b>	<b>Densidade (g/cm3)</b>	<b>Resistência a Água</b>
<b>NAOC</b>	<b>2500-4000</b>	<b>3,8</b>	<b>0,7-1,1</b>	<b>Muito Fraca</b>
<b>NAOC pesado</b>	<b>4000-5000</b>	<b>3,5</b>	<b>1,0-1,35</b>	<b>Fraca</b>
<b>“Water Gels”</b>	<b>4200-5000</b>	<b>2,9</b>	<b>1,15</b>	<b>Boa</b>
<b>Emulsões</b>	<b>4200-5200</b>	<b>3,1</b>	<b>1,25</b>	<b>Boa</b>

**Tabela 1 – Comparação dos explosivos**

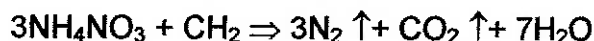
## 6.1 Agentes Detonantes Secos – NAOC (ANFO).

---

Este termo se refere aos explosivos que não possuem água na sua composição. Os primeiros agentes detonantes secos eram compostos por nitrato de amônio e como combustível, partículas sólidas de carbono. Observou-se com o tempo que este composto tende a segregar durante seu transporte, causando queda da eficiência na detonação. Assim, esta mistura foi substituída pela união do nitrato de amônia com óleo combustível (óleo diesel), conhecida mundialmente como NAOC ou ANFO.

Uma característica importante do NAOC é que o nitrato de amônia e o óleo combustível não são considerados explosivos quando transportados ou manuseados isoladamente, tornando mais fácil e segura sua estocagem e locomoção.

O caso do nitrato de amônia é singular. Ele fornece um volume de gases por unidade de massa maior que qualquer outro explosivo e na sua forma pura é quase inerte. Com a adição de óleo combustível obtêm-se o NAOC cuja equação idealmente balanceada para oxigênio é :



Observa-se que a máxima liberação de energia ocorre para uma porcentagem de óleo entre 5 e 6%, quando são liberados quase 4000KJ/Kg.

Para aumentarmos a sensibilidade e potência do NAOC (ANFO), adiciona-se pó de alumínio em uma proporção de 5 a 15%. Isto ocorre pois o alumínio gera grandes quantidades de calor seguido de grande aumento de pressão dos gases.

É solúvel em água e por isto as pelotas têm uma cobertura superficial de talco ou zelite, que oferece uma certa resistência á água:



## 7. Elementos Geométricos de um plano de fogo.

---

Nos dias de hoje, em que enfrentamos graves problemas com o gastos excessivos em todos os setores de atividade, é muito importante também que haja um planejamento de economia por parte das empresas mineradoras para melhor aproveitar seus recursos.

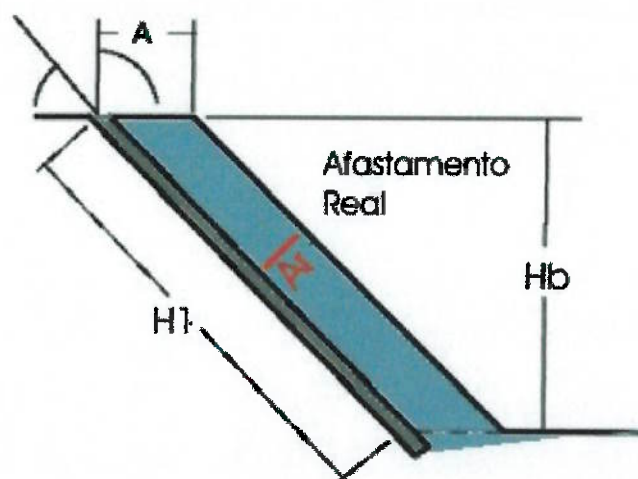
Um local onde é importante a correta utilização da energia é na operação de desmonte de rocha. Com aplicação de cargas explosivas adequadas, criação de uma malha eficiente e elementos geométricos, é possível gerar descontinuidades na rocha “in situ” e reduzir um maciço rochoso a uma pilha de fragmentos com formas e dimensões viáveis para o trabalho.

A escolha do dimensionamento das cargas de explosivo, os arranjos geométricos do maciço, a seqüência de detonação e outras variáveis são determinados por fundamentos científicos ou relações empíricas, formando o plano de fogo do desmonte.

Abaixo temos os elementos básicos de uma bancada a céu aberto.

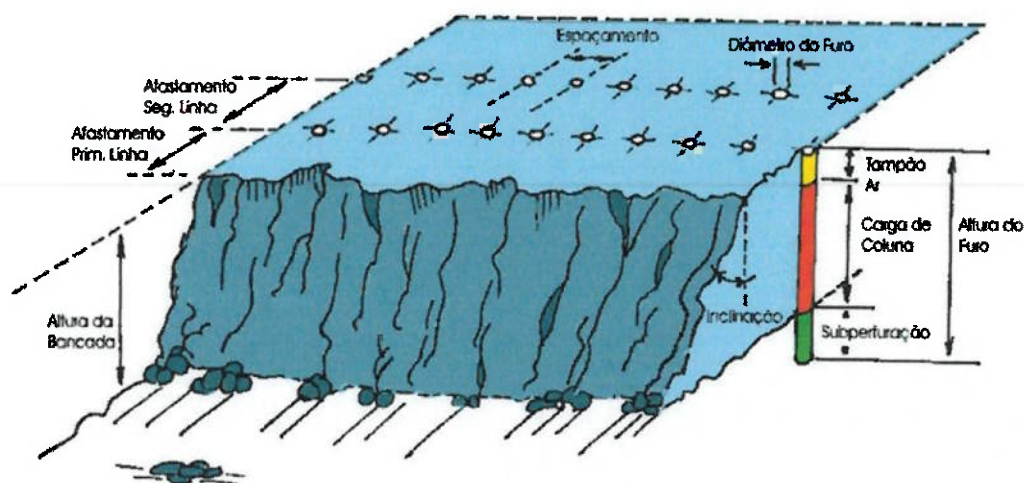
- Face livre.
- Altura da bancada (Hb).
- Ângulo entre a vertical e face da bancada - Inclinação ( $\alpha$ ).
- Comprimento do furo inclinado (H1)
- Subperfuração (S): É a distância perfurada abaixo do piso da praça para assegurar que toda a face livre seja removida.
- Afastamento (A): Distância do furo até a mais próxima face livre da bancada no instante da detonação.
- Espaçamento (E): Distância do furo até a mais próximo furo em uma mesma carreira.
- Afastamento Real (Ar): Distância do furo à face.





**Figura 18 – Afastamento Real**

- Tampão (T): Zona livre de explosivo entre o topo da carga e o topo do furo. Preenchido com material inerte, auxilia no confinamento dos gases explosivos e na redução de danos.
- Coluna de ar ("air deck"): Região livre de explosivo e material, logo abaixo do tampão.
- Diâmetro dos furos ( $\phi f$ );
- Comprimento da carga de coluna; ( $H_c$ )
- Comprimento da carga de fundo;
- Comprimento total do furo;



**Figura 19 – Elementos geométricos do plano de fogo**

## **8. Reflexos causados pelo processo de detonação por explosivo.**

---

Descreveremos os possíveis reflexos que podem ocorrer em uma operação de desmonte com explosivo em bancadas.

Dentre estes reflexos, podemos citar :

- Ultralancamento.
- Gases e Vapores.
- Poeira.
- Vibração.
- Impacto de ar.
- Outros.

### **8.1 Ultralancamento dos fragmentos rochosos**

---

O ultralancamento é o lançamento a grandes distâncias de fragmentos de rocha após uma detonação, representando perigo para pessoas que estão fora ou dentro da região da mina. Causado basicamente pelas feições estruturais e geomecânicas do maciço, pela adoção de uma malha de carregamento ou uma razão de carregamento inadequada. Destacamos que com o “plano de fogo não agressivo” podemos detonar com mais de  $2\text{Kg/m}^3$  sem causar ultralancamento.

Em fogos normais, o centro de gravidade da rocha desmontada move-se a uma distancia equivalente a apenas alguns metros em relação à bancada, mas em muitos casos, onde não há o cuidado adequado no planejamento do fogo, blocos individuais ou até mesmo matacos podem ser arremessados a grandes distâncias.

Aproximadamente 16% da energia total resultante do desmonte é utilizada para o lançamento de blocos. O ultralancamento obviamente aumenta com o crescimento da carga nos furos.

A figura a seguir ilustra um caso em que um mataco de aproximadamente 3 toneladas foi arremessado a uma distância de 300 metros em uma mina a céu aberto, onde o diâmetro de perfuração era de 194mm e com razão de carregamento média de  $1.1\text{kg/m}^3$ .



**Figura 20 - Mataco de 3 toneladas arremessado a 300 metros em mina a céu aberto**

Ultralançamento de rochas tem sido um sério problema desde o início do desmonte por explosivo a muitos anos atrás. Homens foram mortos, residências, prédios, equipamentos e materiais destruídos. Estes perigos são maiores nas áreas urbanas, mas com o desenvolvimento dos processos de perfuração, com a implantação de furos de maiores diâmetros, está se tornando também um grande problema nas vizinhanças de minerações a céu aberto. Não é incomum um bloco de rocha viajar quilômetros ou mais de uma bancada com desmontes com grandes diâmetros. Sem contar os riscos de danos a edificações e equipamentos de produção, criando problemas de relacionamento com a comunidade, ferimentos e até perdas de vida.

### **8.1.1 Efeitos causadores de Ultralançamento.**

---

#### **8.1.1.1 Estruturas rochosas.**

---

Mesmo quando a geologia não se modifica na região de lavra, a estrutura rochosa pode variar consideravelmente. Descontinuidades, fraturas, planos de fraqueza nunca são os mesmos se comparados ponto a ponto. Assim, é de extrema importância o mapeamento de fissuras e descontinuidades que podem causar problemas durante a perfuração e o desmonte. É sempre interessante observar e fazer anotações da perfuração para analisar a velocidade e os possíveis desvios que estão sendo causados, assim, com posse destes dados, o

processo de carregamento de explosivo se torna mais seguro e preciso. Em alguns casos recomenda-se a execução de trabalhos de sondagens para determinar as características da rocha e as possíveis descontinuidades.

#### **8.1.1.2 Perfuração.**

---

Quando planejando o desmonte, o engenheiro deve se lembrar que um elevado diâmetro de perfuração acarreta em uma elevada razão de carga. Como discutido anteriormente, isto eleva os riscos de ultralançamento. Para reduzir este problema, os furos devem ser perfurados com precisão, com observação da face livre para casos de “alívio”, acompanhamento com instrumentos como “bore-track” para determinar desvios e acompanhar o desenvolvimento do afastamento real entre o furo e a face livre.

#### **8.1.1.3 Tamponamento.**

---

O tamponamento da carga de explosivo é muito importante para assegurar a retenção dos gases, permitindo que estes atuem sobre a massa rochosa em direção à face livre.

É formado com material não explosivo de alta resistência dinâmica e de fácil obtenção. A granulometria do material pode ser determinada por aproximadamente 30% do diâmetro do furo. Costuma-se utilizar para o tampão material agregado de brita numero 1 (25mm).



**Figura 21 - Detalhe do tampão de “Pedra 1” no furo**





**Figura 22 - Carregamento do tampão com "Pedra 1"**

Às vezes, só o material de tamponamento não tem resistência dinâmica suficiente, assim, costuma-se usar para auxiliar nesta operação um dispositivo conhecido por "Plugue" que aplicado junto ao material do tampão aumenta a resistência deste e proporciona maior eficiência na contenção dos gases.

Temos abaixo algumas fotos do "plugue" e informações sobre o material.



**Figura 23 - Detalhes do "Plugue"**

Devido a sua forma cônica, quando iniciada a carga explosiva, os gases pressionam o fundo do "Plugue" fazendo com que este prenda na parede do furo, formando uma barreira e forçando os gases a seguir o caminho da face livre.

Estudos mostraram que a utilização deste “Plugue” melhora os resultados do desmonte quanto: fragmentação, ultralancamento e ejeção do tampão.

Item	Sem “Plugue”	Com “Plugue”
VOD para NAOC	3660 m/s	3666 m/s
Tempo de movimentação do tampão	2,3 ms	5,3 ms
Velocidade do tampão	482 m/s	281 m/s

**Tabela 2 – Utilização do “plugue”**

Como a aplicação de novos acessórios no fogo sempre acarreta e um aumento no custo, sugerimos uma alternativa para a substituição do “Plugue” e obtenção de resultados satisfatórios.

No processo de carregamento de fogo no desmonte não agressivo, utilizamos uma coluna de ar (“air deck”) abaixo do tampão com tamanho de coluna entre 0,40 e 0,70 metros.

Esta coluna agirá sobre os gases do fogo como o “Plugue” pois o ar é incompressível e forçará os gases a seguir o caminho mais fácil, o caminho da face livre.

Ensaio de campo mostraram que a utilização da coluna de ar auxilia muito no controle de ejeções, melhoras na fragmentação e ultralancamento. Estima-se que 1 metro de coluna de ar realizará o mesmo efeito que 2 metros de material agregado para tampão. Lembramos que é sempre necessária a utilização do material sólido no tampão, a coluna de ar é apenas mais um complemento para melhorar o desempenho do desmonte.

Abaixo temos um esquema simplificado de como fica a distribuição de materiais (explosivos, ar e tampão) dentro do furo. Os valores marcados são simbólicos.

### 8.1.1.3.1 Cálculo do tampão para "Desmonte não agressivo".

Razão Linear de Carregamento:

$$\frac{\text{Kg explosivo}}{\text{M explosivo}}$$

Altura H:

$$H = 10 * (\text{Diâmetro do furo em metros})$$

Carga Unitaria:

$$Q_p = R_{lc} * H$$

Distância (d):

$$d = (Q_p)^{1/3} * TE$$

Tampão:

$$\text{Tampão} = d - H/2$$

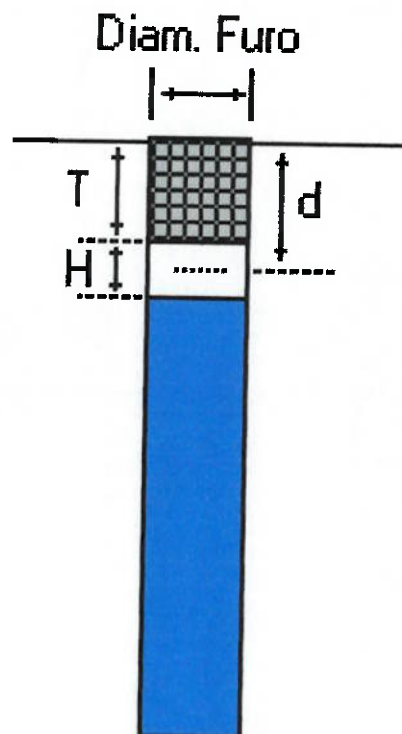


Figura 24 - Variáveis

**\*\* TE (Tampão escalado) é um valor experimental determinado com ensaios em campo com valor de 1,97.**

#### Exemplo :

$$R_{lc} = 6,5 \text{ kg/m}$$

$$\text{Diâmetro do Furo} = 90 \text{ mm}$$

$$H = 10 * 0,09$$

$$Q_p = 6,5 * 0,9$$

$$d = (5,85)^{1/3} * 1,97$$

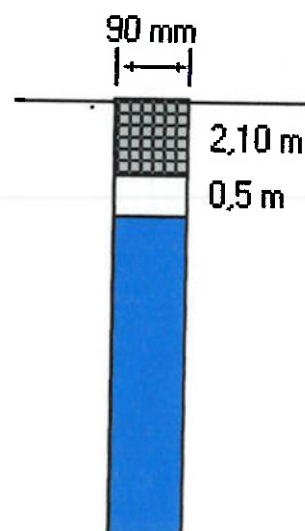
$$\text{Tampão} = 3,54 - (0,9/2)$$

$$H = 0,9 \text{ m}$$

$$Q_p = 5,85 \text{ kg}$$

$$d = 3,54 \text{ m}$$

$$\text{Tampão} = 3,1 \text{ m}$$



Coluna de ar ("air deck")

$$0,5 \text{ ar} = 1 \text{ m tampão}$$

$$\text{Tampão} = 2,1 \text{ m} \quad \text{Ar} = 0,5 \text{ m}$$

## 8.2 Gases e Vapores

---

Neste tópico iremos detalhar os gases e vapores formados após o processo de detonação de explosivos.

A maioria dos produtos de uma detonação balanceada são inofensivos, entretanto, pequenas quantidades de elementos tóxicos são formados como desvios do balanço, reações incompletas ou reações secundárias com o ar atmosférico, podendo colocar em risco a saúde das pessoas e o meio ambiente

Uma detonação ideal tem como produtos apenas dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), vapor de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), e nitrogênio ( $\text{N}_2$ ). Em condições reais, devido a reações incompletas dos explosivos e subseqüentes reações com o ar atmosférico, outras reações vão sempre estar presentes, sendo algumas delas tóxicas se a concentração é alta demais.

Os gases tóxicos primários produzidos são: monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), e a família ( $\text{NO}_x$ ). A máxima concentração permitida da  $\text{CO}$  é 10 ppm e  $\text{NO}_x$  é 2 ppm. Alguns explosivos ou componentes de explosivos são tóxicos por natureza, por exemplo: nitroglicerina (NG), nitroglicol (EGDN).

A quantidade de produtos indesejáveis formados depende de um certo número de fatores:

- A composição do explosivo e sua homogeneidade.
- O efeito da água no explosivo depois de ser carregado em um furo com água.
- A velocidade de detonação.
- O diâmetro do furos.
- A densidade do explosivo.
- O tipo de iniciação.
- E especialmente o confinamento do explosivo.

Antes e durante a detonação, reações adicionais podem ocorrer entre o explosivo e a rocha, por exemplo, em rochas que contém sulfetos ou outros componentes reativos.



Destacamos como um fator preocupante de produtos da detonação a questão da coloração da fumaça. O balanço de oxigênio de uma mistura NCN (nitrocarbonitrato), sendo um pouco positiva, gera predominantemente óxidos de nitrogênio de cor amarelo avermelhada que chamam a atenção da população não afeito ao problema. A umidade nos furos é também provocadora desta coloração.



**Figura 25 - Coloração relacionada com o resultado do balanço de Oxigênio**

### 8.3 Poeira

A presença de poeira em suspensão é algo que deve ser controlado, não só pelo incomodo à população próxima à pedreira, mas também pela segurança dos operadores. A poeira é um material particulado, de dimensões reduzidas e que pode fazer parte da fração respirável pelos operadores ou ser facilmente carregada pelo vento, podendo atingir as residências que cercam a pedreira. Sua produção se dá basicamente nas etapas de perfuração e após o desmonte.

Na pedreira Embu, a perfuração é executada por uma perfuratriz hidráulica e outra pneumática. A primeira, pelas suas características construtivas, é uma fonte de produção de pó pequena, apresentando problemas apenas na pilha de “pedrisco de perfuração” formada ao lado da máquina após a perfuração de uma mina.



**Figura 26 - Perfuratriz Hidráulica**

A segunda é uma fonte muito grande de emissão de poeira, sendo necessária uma ação corretiva. Para tal, foi montado junto à máquina, um compartimento que injeta certa quantidade de água para molhar o material particulado, tornando este mais denso e evitando sua suspensão. Veja as fotos a seguir.



**Figura 27 - Perfuratriz Pneumática**



**Figura 28 - Perfuratriz Pneumática com dispositivo de contenção de poeira**

A perfuratriz pneumática é necessária para serviços de desenvolvimento onde é mais seguro trabalhar com ela.

O desmonte não é uma fonte constante de poluição do ar, a produção de material particulado ocorre apenas após a detonação, mas mesmo assim, medidas podem ser tomadas para minimizá-la, já que é uma das principais fontes de reclamação.

Após o carregamento total e a liberação da área a ser detonada, um caminhão pipa molha principalmente o topo da bancada e se possível a frente desta também.





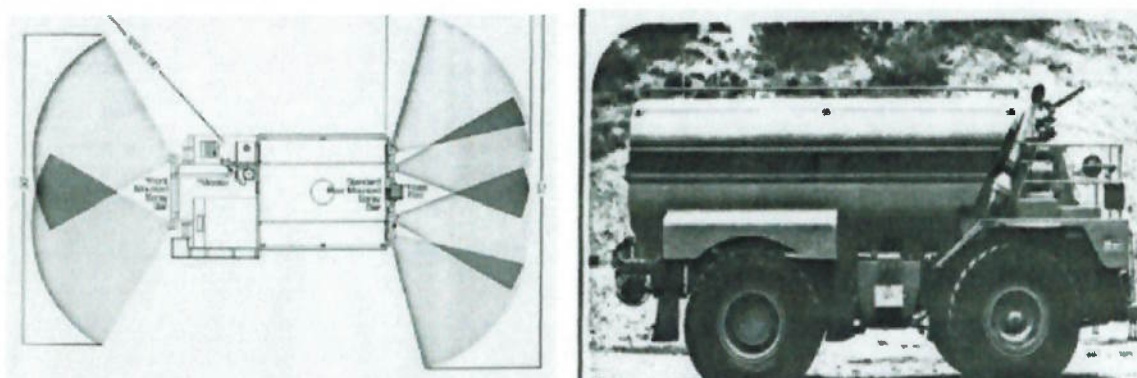
**Figura 29 - Caminhão pipa molhando a frente de lavra**

### **8.3.1 Uma opção : Caminhão Aguador ou Pipa de alta potência.**

Uma solução mais efetiva seria adotar uma pipa montada em geral em caminhões de grande porte. A grande vantagem desta pipa é o conjunto de "spray" e o monitor hidráulico com controle remoto. Uma bomba de 100 PSI/1500GPM propicia ao monitor manual ou não, lançamento de aproximadamente 60 metros de jato de água contínuo.

Dois "Spray" frontais molham faixa de aproximadamente 15 metros e quatro outros "Spray" da parte posterior da pipa abrangem faixa de 21 metros aproximadamente.

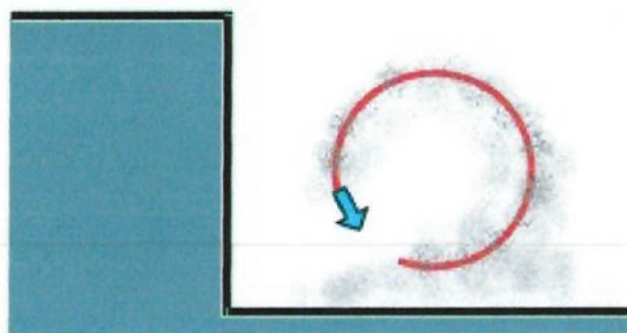
A água aspergida é muito bem aproveitada, ou seja: ela é pulverizada para molhar sem excessos. Veja figuras.



**Figura 30 - Figuras do projeto de caminhão aguador**

#### **Características do Caminhão :**

- Pode aguar 100% da superfície detonada e o piso da bancada em muito curto espaço de tempo, sem manobras e com segurança.
- Pode aguar a poeira quando ela está se movendo para cima ou para frente, posicionado no topo da bancada em local em que o operador não fique exposto à poeira.. Após a detonação, é fácil verificar nas filmagens que antes da poeira se espalhar e subir, ela executa diversas vezes, movimento circular no local, dando algum tempo adicional para o deslocamento do caminhão que deve ser autorizada pelo cabo de fogo. Veja figura.



**Figura 31 - Detalhe do movimento da poeira no local de detonação**

- Após a detonação, a pilha de material é molhada e esta operação ajuda na preservação dos equipamentos.

- Em caso de incêndio é uma ferramenta poderosa para o combate, tanto na empresa como na região arborizada próxima à pedreira ou até mesmo em residências e estabelecimentos comerciais da região.

Uma opção de controle foi aplicada em teste feito em fogo longo, onde metade do mesmo foi coberto com salsichões de 30 centímetros de diâmetro interno, preenchidos com água. Quando a bancada fosse desmontada, os salsichões iriam estourar e “segurar” a poeira em suspensão.

Outra medida é adotar para o tampão um material mais pesado do que o pedrisco de perfuração, adotamos a brita graduada.



**Figura 32 - Detalhe da pilha de pedrisco de perfuração próxima ao furo.**

Destacamos que a melhor opção é detonar apenas quando os ventos na região não sejam suficientes para o transporte da poeira para regiões indesejadas.

Para a contenção da poeira produzida seja ela por perfuração ou desmonte, a região de lavra deve ser cercada por árvores de grande e pequeno porte.

Observa-se na foto à esquerda a região que não apresenta proteção natural, mas destacamos que se trata de um “bota fora”, região que será importante para a recuperação da região, com desenvolvimento da topografia e reflorestamento. À direita temos uma simulação em foto de uma previsão do desenvolvimento da região.





**Figura 33 - Plano de recuperação da região do “bota-fora” para contenção de poeira**

Abaixo temos algumas fotos mostrando as alternativas para contenção da poeira.



**Figura 34 - Soluções para contenção de poeira**

## 8.4 Vibração.

As vibrações no terreno são reflexos inevitáveis durante um processo de detonação. A aceleração repentina da rocha devido à pressão dos gases provenientes da detonação em um furo, induz um stress dinâmico sobre o maciço rochoso. Este processo de formação de ondas se assemelha às ondas formadas quando um barco passa em alta velocidade ao lado de outro barco, causando a movimentação deste, que oscilará para baixo e para cima. Os movimentos sísmicos se originam do local de detonação, particularmente na superfície, e é atenuado à medida que vai se afastando, devido às perdas durante o percurso. Entretanto, mesmo que estas vibrações se atenuem, ainda é possível sentir seus reflexos a grandes distâncias.

Do ponto de vista de projeto de engenharia, os fatores e parâmetros que influenciam os níveis vibratórios decorrentes de uma detonação são:

VARIÁVEIS CONTROLÁVEIS		Influência		
		Alta	Média	Baixa
	Carga por espera	x		
	Carga por fogo		x	
	Comprimento e Diâmetro da carga			x
	Engaste da carga	x		
	Razão de Carregamento	x		
	Afastamento e Espaçamento		x	
	Inclinação do furo			x
	Tampão - Comprimento		x	
	Tampão - Material		x	
	Intervalo de retardo	x		
	Precisão do retardo	x		
	Esquema de retardo	x		
	Direção do fogo			x
	Pré corte		x	
VARIÁVEIS NÃO CONTROLÁVEIS				
	Superfície do Terreno		x	
	Tipo e profundidade do Capeamento	x		

**Tabela 3 – Fatores que influenciam nos níveis vibratórios**



**Legenda**

	Condições imutáveis da detonação por motivos de segurança ou fatores já aquilatados.
	Fatores que serão estudados em uma primeira etapa. Para testes na primeira etapa, escolhemos testes que poderão nos trazer bons resultados de vibração sem contudo prejudicar a razão de carregamento ou de perfuração.
	Variáveis controláveis que poderão ou não ser analisadas em uma segunda etapa.

A lista acima mostra que a determinação de uma malha de fogo deve ser bem executada para evitar que níveis elevados de vibração ocorram.

Estes fatores serão discutidos quando apresentarmos o projeto de malha de detonação cuidadosa.

Na tabela a seguir apresentamos alguns valores de velocidade de vibração de partícula e danos associados colhidos na bibliografia.

Velocidade Vr (mm/s)	Danos Associados	Fonte
<71	Não perceptível	Langefords
~109	Pequenas fissuras	
~160	Fissuras em paredes de alvenaria	
~231	Sérias fraturas nas edificações	

<30	Não há trincas	USBM EXPLO
30~50	Sem evidências de trincas	
50~70	Sem trincas notáveis	
70~100	Trincas insignificantes	
100~150	Trincas	
150~225	Grandes trincas	
>225	Danos severos e/ou colapso	

**Tabela 4 – Danos associados a velocidade de vibração**

Para o controle da vibração, é aconselhável acompanhar todas as detonações com equipamentos de sismografia distribuídos por toda a área da

pedreira e nas vizinhanças, principalmente em locais de grandes preocupações, como casas, caixas d'água, britadores e edificações. É importante também obter relatórios e anexa-los na planilha de fogo, com anotações e comentários para futuras análises.

De posse dos dados obtidos no sismograma, é possível correlacionar a carga detonada por espera (Kg), a distância entre o ponto de captação (m) e a velocidade de vibração de partícula  $V_p$  (mm/s).

$$V_p = k \cdot (D/Q^n)^x$$

Onde  $k$ ,  $n$  e  $x$  são parâmetros dependentes de três grandes grupos de fatores, que sejam:

- Condicionantes geológicos;
- Condicionantes geométricos;
- Características da detonação

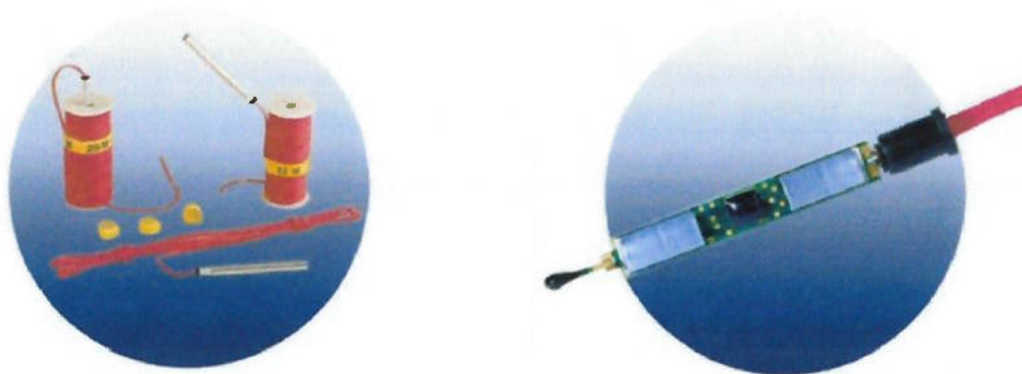


**Figura 35 - Sismógrafos preparados em campo**

#### **8.4.1 Espoletas Eletrônicas – Uma opção para um futuro breve.**

Atendendo a uma demanda da mineração moderna, por continuo aumento da produtividade seguido de custos operacionais decrescentes, está começando a ser aplicada nas empresas de mineração, o controle preciso dos tempos de retardo com a utilização de espoletas eletrônicas, visando melhorar continuamente a eficiência e a rentabilidade do processo.

A espoleta eletrônica consiste em um sistema de detonação eletrônica, onde é possível programar os tempos de retardo de todas as espoletas do fogo mina a mina e executar, antes da detonação, um teste para verificar se todas trabalharão corretamente e se existe algum erro nas ligações ou programação dos tempos.



**Figura 36 – Esopoletas eletrônicas**

As espoletas eletrônicas possuem o mesmo layout das espoletas convencionais, se adaptando a qualquer booster. Sua estrutura é formada por uma carga iniciadora e um circuito eletrônico que contém um microchip inteligente e dois capacitores eletrônicos, um para alimentar o circuito eletrônico e outro para acionar a carga iniciadora.

Descreveremos abaixo as características do sistema fornecidas pelos fabricantes e observadas durante os testes executados na pedreira Embu.

- Tempo totalmente programável de 0-8.000 milisegundos e incrementos de 1 milisegundo
- Conexão intrinsecamente segura
- Comunicação bidirecional entre o equipamento de controle e os detonadores
- Como foi observado nos teste, é fácil de usar e programar, oferecendo segurança aos usuários.
- Capacidade de iniciação de ate 1600 detonadores
- Todo detonador possui um único número de identificação rastreável, que é gravado no chip e impresso na etiqueta anexa.

- Sistema "hardware & software" totalmente autotestáveis. Integridade de detonadores e do sistema totalmente testado e indicado na tela para operador antes do desmonte ser armado e iniciado.



**Figura 37 – Espoletas eletrônicas**

Descrevemos abaixo resultados obtidos com a utilização do sistema eletrônico segundo o fabricante :

- 20 a 35% de aumento na fragmentação da rocha e pilhas uniformes
- 48% de redução nos níveis de vibração. Resultado comprovado os teste executados na pedreira Embu.
- 10 a 15 % de redução nos custos de escavação e britagem.

No Brasil estas espoletas estão sendo importadas pelas empresas *Joule Comercial Ltda.* e pelo grupo *Orica*. Diversos testes já foram realizados em empresas como a CVRD – Itabira/MG, Pedreira Cantareira do grupo Holdersin e as pedreiras Embu e Itapeti do grupo Embu S.A., estes que foram os primeiros testes do seu gênero na América do Sul. Observou-se que o único inconveniente desta operação é o alto custo por espoleta, tornando inviável sua atual utilização.

Sabemos que qualquer variação no tempo de retardo de uma mina pode resultar em mudanças na energia que ocasionam impactos externos ou na performance do desmonte.

Resultado destes impactos podem ser descritos como :

- Baixa fragmentação
- Níveis altos de vibração e impacto de ar



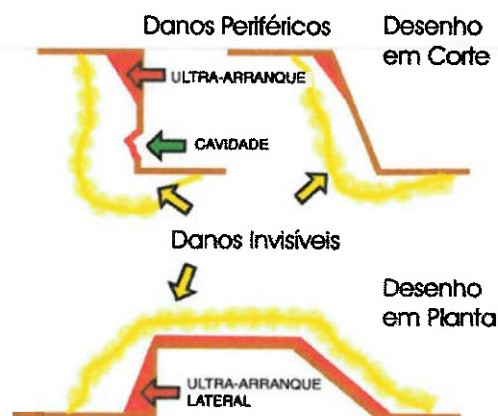
- Ultralançamentos
- Aumento do número de matacos e fogos secundários
- Aumento nos custos de escavação e britagem

## 8.5 Liquefação

Onde o material fino é saturado com água, a sua resistência à tração tende a zero e uma pequena vibração pode levar grandes massas a se escoarem como se fossem líquidos. Em barragens ou ensecadeiras de areia ou silte, é costume manter o limite de vibração abaixo de 50mm/s. Para material saturado, o máximo é de 25mm/s para se evitar o fenômeno de liquefação.

## 8.6 Danos à rocha

Perfuração e detonação fazem parte de um sistema usado em minas e em construções pela sua simplicidade, economia e adaptabilidade. Detonação é um processo inerentemente destrutivo que além de desmontar a rocha resulta em danos à rocha remanescente vizinha e que se traduzem em futuros problemas de estabilidade, produção de blocos, diluição e problemas relacionados a construções e equipamentos nas cercanias. Os danos conhecidos e visíveis são o ultra-arranque e as cavidades. Às vezes não visíveis são os danos periféricos ao desmonte, principalmente nas laterais. Tais danos produzirão blocos quando o desmonte envolvê-los.



**Figura 38 – Alguns danos causados à rocha**

## 8.7 Impacto de Ar

---

Um dos inconvenientes depois de uma detonação é a geração do impacto de ar. Embora o impacto de ar raramente causa danos estruturais, o grande e repentino barulho pode perturbar vizinhos e aumentar as reclamações.

Um carregamento bem executado e confinado não representa uma grande preocupação quanto a impactos de ar, mas em minerações a céu aberto, onde o carregamento de fogo apresenta inúmeras variáveis, o barulho pode afetar as pessoas e induzi-las a acreditar em efeitos desastrosos em suas residências ou até mesmo sua segurança pessoal, mesmo que os níveis de vibração e impacto de ar sejam baixos e dentro das normas técnicas.

*Impacto de ar:* é o termo comum das ondas de pressão de ar resultantes da operação de desmonte.

*Barulho:* parte audível de uma detonação com frequências entre 20 e 20.000 Hz.

*Concussão:* parte inaudível de uma detonação com frequências abaixo de 20 Hz.

Quando uma carga explosiva é detonada, uma reação gasosa se expande rapidamente produzindo uma compressão do ar e uma movimentação em alta velocidade, inicialmente igualada a velocidade de detonação. A onda de choque resultante tem uma enorme frente de choque seguida de uma rápida queda de pressão, espalhando-se pelo ambiente que proporciona uma baixa resistência à expansão dos produtos. O mecanismo da propagação do impacto de ar consiste na transferência de momento de uma molécula para outra. Se a pressão desta onda (pressão acústica) é suficientemente alta, ela pode causar danos.

O impacto de ar é medido e reportado como pressão acústica, isto é, pressão acima da pressão atmosférica. Normalmente é fornecido em kg/cm<sup>2</sup> ou em decibéis. Decibel é uma expressão exponencial para a intensidade do som que se aproxima da resposta do ouvido humano.

O efeito do impacto de ar em prédios ou outras estruturas depende da amplitude e da duração do pulso de pressão de ar que chega ao destino. Este

efeito também depende se a área da edificação está de frente à detonação ou paralela a direção da explosão.

Uma edificação típica responde a níveis de pressão seguindo os seguintes valores.

<b>dBL</b>	<b>Conseqüências</b>
<b>&lt;130 dB</b>	<b>Algumas vibrações de vidros, porta e objetos em prateleiras.</b>
<b>152 dB</b>	<b>As janelas começam a se quebrar.</b>
<b>172 dB</b>	<b>Praticamente todas as janelas se quebram.</b>
<b>&gt;182 dB</b>	<b>Danos às estruturas.</b>

**Tabela 5 – Resposta aos níveis de pressão de uma edificação típica**

Os efeitos atmosféricos podem afetar em muito a intensidade do impacto de ar com a distância. As duas causas primárias destes efeitos são as diferenças de velocidade do vento e de temperatura com a altitude.

Deve se detonar ao redor do meio dia, hora de menor probabilidades de inversões que podem intensificar o impacto. No tocante à ação dos ventos as medidas mitigadoras são mais trabalhosas porém perfeitamente viáveis.

### **8.8 Incômodo visual e psicológico**

Por ser um trabalho não muito familiar á população, as atividades mineradoras que envolvem detonações são sempre encaradas como grandes males à população local.

Nas proximidades da pedreira em estudo, existe uma comunidade e um condomínio residencial, conseqüentemente, um cuidado no uso de técnicas corretas e um relacionamento apropriado permite resolver a maioria dos conflitos.

### 8.9 Aspectos dos limites finais da cava.

Com o avanço da mina a Embu desenvolve anualmente um estudo de aproveitamento para alguma atividade que gere lucro adicional para a mineração e, principalmente, para a comunidade. Como área entendemos a cava e o bota-fora. Para um resultado satisfatório, apresentamos alguns procedimentos a serem seguidos :

- Paredes finais bem cortadas.
- Construir o bota-fora em bancadas, cobertas com solo fértil, bem drenadas e arborizadas.
- Na cava deixar paredes bem regulares com inclinação adequada em rocha compacta.
- Recorrer à experiência daqueles que entendem de fauna, flora, arquitetura e paisagismo.

Uma alternativa interessante foi o reaproveitamento de área da mina Sungeiway na Malásia, onde foram construídos um parque temático, um condomínio residencial e um "resort" para hospedar o público



**Figura 39 – Sunway Lagoos - parque montado na Malásia (antes e depois)**



## 9. Bases da técnica de desmonte não agressivo

Descreveremos abaixo as bases da técnica de desmonte não agressivo, apresentando as características e cuidados que devem ser tomados com todos os elementos de um plano de fogo.

### 9.1 Diâmetro

A tendência natural recente é de se adotar diâmetros maiores.

Para uma determinada razão de carregamento, maior diâmetro apresenta as seguintes vantagens:

- Expansão da malha e portanto redução da metragem perfurada e conseqüente menor custo por unidade de volume. Assim, os custos de perfuração, de carregamento, de explosivos e de acessórios diminuem.

As desvantagens poderão ser as seguintes:

- Fragmentação mais grosseira e material muito fino próximo à parede do furo. Material grosso, pode ser aceito por uma escavadeira de arrasto. De outro lado não é facilmente manuseável por equipamentos de menor porte e pode ser inadequada a alimentação de certos equipamentos de britagem.
- Inadequada distribuição do explosivo, veja figuras a seguir.

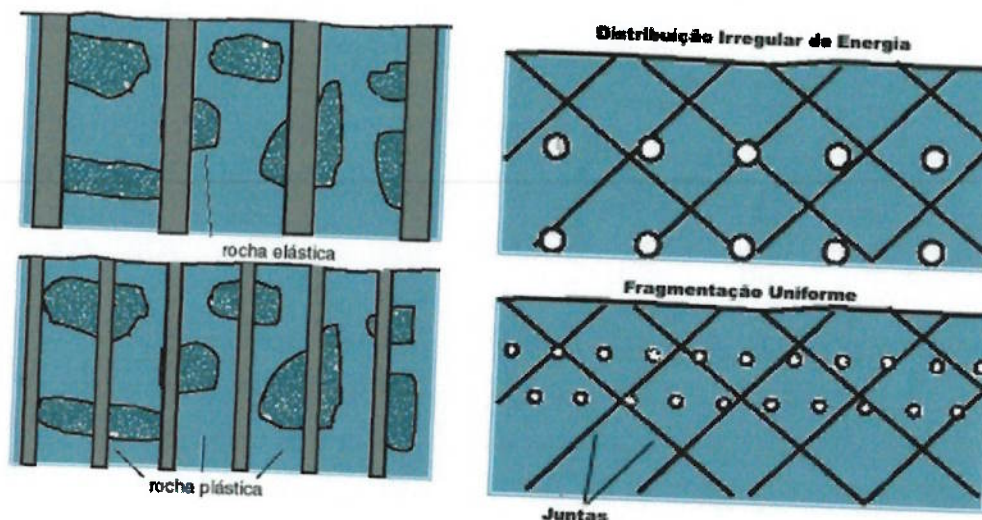


Figura 40– Distribuição conforme a perfuração

- qualquer operação subsequente pode apresentar problemas.

De outro lado, muitas operações adotam determinado diâmetro e estabelecem malha fixa para este diâmetro teórico. Com o desgaste do bit, para a mesma malha, a razão de carregamento cai em muito e resulta em fragmentação inadequada, repé e ultra-arranque.

Para termos idéia do que se passa, mostramos a tabela a seguir que foi elaborada para explosivo a granel com peso específico igual a  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , bancada de 11 m de altura, determinada malha e bit de 3,5 polegadas (89 mm) e que se desgasta até 3,0 polegadas (76 mm). Em geral podemos considerar que o bit poderá ser usado até o diâmetro de 81 mm e abaixo deste diâmetro ele começa a perder botões ou exigir grandes desbaste das laterais.

Diâmetro (mm)	Razão de Carregamento (g/m <sup>3</sup> )	Diâmetro (mm)	Razão de Carregamento (g/m <sup>3</sup> )
81	565	86	642
82	580	87	658
83	595	88	674
84	611	89	690
85	626		

**Tabela 6 – Razão de carregamento em função do diâmetro do furo**

Como podemos observar, a razão de carregamento poderá variar em até 22 %, criando condições para resultados não consistentemente bons. A solução é criar grupos de diâmetros e estabelecer malhas adequadas para cada um destes grupos. Para este caso, sugerimos a criação de no mínimo 2 grupos a saber :

- Grupo 1 (86 a 89 mm).
- Grupo 2 (81 a 85 mm).

Muitas vezes, poderemos adotar um determinado grupo para uma das carreiras e outro grupo para a(s) outra(s) carreira(s). Em geral, prefere-se adotar os maiores diâmetros na primeira carreira. Esta prática garantirá menores perigos de ultralançamento, se adotado os controles que serão listados mais à frente.

Menores diâmetros são preferidos para desmonte escultural, garantindo custos menores de explosivos (pressões maiores dentro do furo para a mesma carga explosiva).

Explosivos ensalsichados serão também influenciados pelo diâmetro pois quanto maior a folga no furo, maior será a compactação. Com explosivos encartuchados os resultados também sofrerão influência do acoplamento (relação entre o diâmetro do cartucho e o diâmetro do furo em percentual). Quanto maior o acoplamento, melhor será a fragmentação e o lançamento. Explosivos bombeados ou a granel, garantem acoplamento igual a 100%.

O diâmetro máximo do furo em milímetros, para determinada altura de bancada em metros, poderá ser de até 15 vezes a altura. Como exemplo, para uma bancada de 10 m de altura, poderemos adotar diâmetro de até  $10 \times 15 = 150$  mm.

Para diâmetros menores do que este, devemos levar em consideração o acoplamento. Melhor distribuição de energia é conseguida com diâmetro tal que seja igual a altura de bancada  $\times 8$ .

Assim, o diâmetro ideal para bancada de 10 m de altura será em torno de 80 mm. Para altura de bancada não determinada (am casos de divisão de bancadas por exemplo), ela deve ser maior do que o diâmetro do furo em mm dividido por 15. Ou seja: se o diâmetro for de 90 mm, a altura de bancada deverá ser maior do que 6,0 m.

Devemos lembrar que:

- o diâmetro do furo para rochas friáveis, deverá ser um pouco maior do que o diâmetro do bit, resultando maior razão linear de carregamento.
- Quanto maior o diâmetro do furo melhor será o desempenho do explosivo.

## 9.2 Inclinação dos furos

---

### 9.2.1 Histórico

A idéia de se conduzir perfurações inclinadas não é nova. Em 1918, Robert Peele, no "Mining Engineers Handbook", no capítulo sob o título " Theory and Practice of Blasting " já tratava do assunto, sem contudo lhe dar a merecida importância.

Em 1955, B.J. Kochanowsky fez referência a perfurações inclinadas em um trabalho apresentado na convenção do AIME sob o título " Blasting Research Leads to New Theories and Reductions in Blasting Costs ".

Até 1959, somente três operações eram conduzidas nos EUA usando-se perfurações inclinadas não excedendo 10 a 15 graus com a vertical. Entretanto, em 1962, mais de 50 companhias já pensavam em introduzir tal método ou a adotavam com sucesso.

Hoje já é uma prática bastante comum nos cinco continentes e o Brasil é um dos seus maiores adeptos.

### 9.2.2 Vantagens da perfuração inclinada

- **Fragmentação:** Melhor fragmentação, por uma questão de melhor aproveitamento da energia do explosivo, de acordo com a moderna teoria da detonação.

Por apresentar uma face maior do que na perfuração vertical, existirá maior facilidade para a ruptura axi-simétrica que é um dos mecanismos mais importantes na fragmentação.

Pode-se observar na figura que no pé da bancada há um aproveitamento de somente 25 % da energia total da onda de choque refletida da face livre quando a perfuração é vertical. Para a perfuração inclinada de 45 graus, este aproveitamento é de 37,5 %.

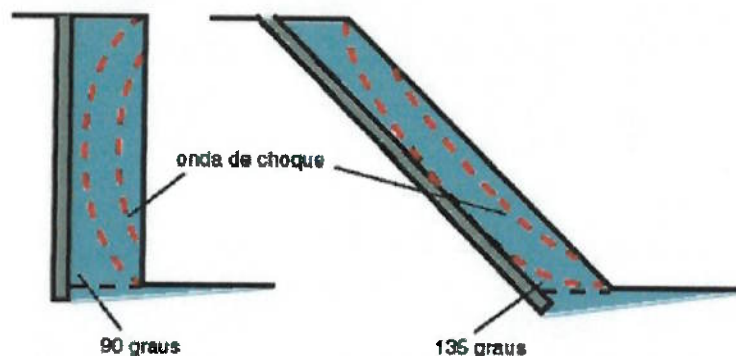


Figura 41 – Ondas de choque

- **Diminuição dos problemas de repé:** Consideramos a rocha compreendida na área ALB da Figura. Consideremos também uma massa explosiva pontual em L. ALB forma um ângulo de 90 graus no ponto L, com ambos os lados a 45 graus com a direção do furo. Também se nota a parcela de onda energética de choque propagada na direção da face livre: a que é refletida e a que não o é. No caso da frente vertical somente a metade da onda de choque compreendida por ALB é refletida e pode ser utilizada para quebrar a rocha. Os outros 50 % são perdidos. No entanto, no caso do furo inclinado, a onda energética de choque, compreendida pelo ângulo crítico ALB, é totalmente refletida pela frente livre e pode assim ser utilizada para quebrar a rocha. Em outras palavras, o dobro de energia é conseguida para quebrar a rocha.

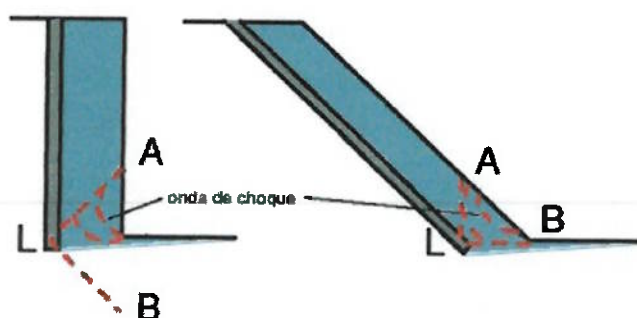


Figura 42 – Ondas de choque

Assim sendo, a perfuração inclinada exige menor subperfuração do que a perfuração vertical. Em termos de percentagens da energia total da onda de choque para eliminação de repé, a perfuração vertical aproveita 12,5 % enquanto que a inclinada a 45 graus aproveita cerca de 25% desta energia total.



Em casos de detonação em múltiplas carreiras verticais, verificamos que, se o perfeito arranque na base não se fizer para a primeira carreira de furos, a ação do arranque que atuará nas carreiras seguintes se fará no nível alcançado pela primeira. Existe, portanto, uma tendência ao arranque em ângulo reto com a direção do furo, o que não permite que as carreiras posteriores venham rebaixar o novo nível obtido.

Esse fenômeno é agravado quando temos grande número de carreiras de furos, grandes afastamentos, fendilhamentos consideráveis na base do furo e detonações individuais por carreira. A figura mostra esquematicamente a mecânica do efeito de imperfeição no arranque da base para a primeira carreira, com permanência do efeito para as demais.

No caso da perfuração inclinada, não existe o perigo da adição dos defeitos do repé, pois, segundo o princípio do arranque em ângulo reto, havendo a elevação do nível em uma das carreiras por causa de fraturas na base ou outros fenômenos que provoquem o repé, tais como o diaclasamento vertical, as outras carreiras, livres de tais fenômenos, trabalham em sentido de rebaixar o nível obtido. Assim sendo, neste caso não existe a necessidade de adotarmos maiores subperfurações à medida que nos afastamos da frente livre.

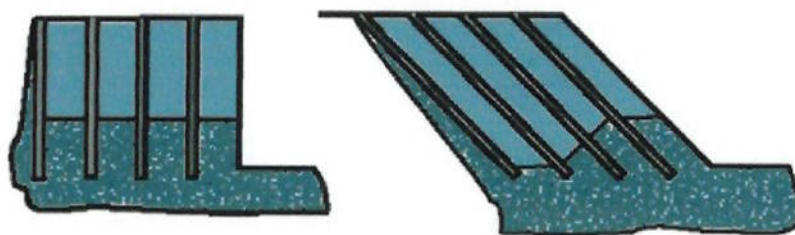


Figura 43 – Efeitos do repé

- **Menor ultra-arranque:** São diminuídas as possibilidades de ultra-arranque, aumentando portanto a eficiência das perfuratrizes, que não trabalharão em material já abalado pela detonação anterior. Veja figura.

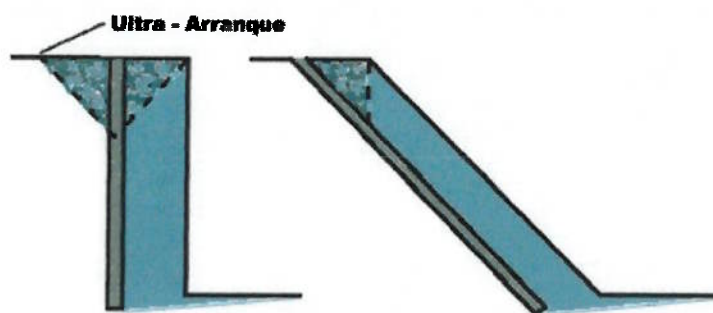


Figura 44 – Ultra- Arranque

- **Diminuição de maticos do topo da bancada:** São diminuídas as quantidades de maticos causados pelo "ultra-arranque", ou pela parte superior da coluna que não é carregada, ou pela má fragmentação da face.
- **Maior segurança:** As perfurações, detonações, carregamentos e perfurações secundárias tornam-se mais seguras para homens e máquinas, tendo-se em vista a inclinação da face da bancada que garante a sua maior estabilidade.
- **Redução de vibrações:** A diminuição de subperfuração em consequência da maior inclinação do furo com a vertical, causa à redução da vibração.
- **Diminuição de custos:** Os custos médios, incluindo perfuração, detonação, limpeza, transporte, britagem primária e secundária, em determinados casos, podem cair cerca de 10% por m<sup>3</sup> de rocha desmontada ou mais.
- **Maior malha :** Mantendo as mesmas cargas que nas perfurações verticais, a malha poderá ser aumentada à medida que aumentamos o ângulo de inclinação dos furos com a vertical. Isto porque o afastamento real diminui com a inclinação do furo (maiores detalhes no dimensionamento do afastamento).

### 9.2.3 Problemas e limitações da perfuração inclinada

- O operador deve verificar com a devida acuidade, o ângulo de perfuração. É essencial que toda perfuração seja bem concluída e alinhada, de modo que saiam com um bom paralelismo todos os furos adjacentes. Se isto não se der e se houver falhas de embocamento que distorçam o plano de fogo, resultará infalivelmente fragmentação medíocre e a não eliminação de repés.



- O embocamento dos furos para determinadas inclinações tornam-se quase que impossível com certos tipos de perfuratrizes, tais como perfuratrizes manuais.
- Como podemos verificar, a inclinação teórica ótima é de 45 graus, porém nunca poderá ser atingida, pois uma face com inclinação próxima daquela torna-se muito grande para permitir limpeza perfeita e econômica da frente e do furo.
- Maior possibilidade de prisão da coluna de hastes.
- Características da rocha, tais como juntas, planos de aleitamento, friabilidade, fraturas, mergulho das camadas, podem prejudicar a perfeita consecução dos furos, o que trará problemas durante o carregamento, principalmente se empregarmos cartuchos ou salsichas no lugar de explosivos a granel ou bombeado. Estes problemas tornam-se comuns com inclinações superiores a 20 graus e agravam-se se a rocha é excessivamente fraturada, se o furo contiver água e se for muito longo.
- Proporciona maior possibilidade de ultralancamento, controlado com dimensionamento adequado de outras variáveis.
- Torna mais caro o custo de perfuração por metro.
- Exige operadores mais experientes.
- Proporciona maiores desvios dos furos.

Podemos então afirmar que, para minerações urbanas, não aconselhamos mais de 10 graus em bancadas de 20 metros (altura desaconselhável) de altura e não mais de 20 graus em bancadas de 10 metros. Embora estes ângulos sejam pequenos, na prática, com subperfuração adequada, a eliminação do repé é perfeita.

Qualquer aumento ou diminuição de inclinação deve ser aos poucos, de grau em grau, a cada detonação.

### 9.3 Altura da bancada

Para manter os fogos com bons resultados, é importante que o afastamento e a altura da bancada sejam compatíveis. Esta compatibilidade é medida pela razão de flexibilidade.

Todos os problemas potenciais ligados às detonações estão inter-relacionados a esta compatibilidade. Ela é responsável pelos resultados em fragmentação, impacto de ar, ultralançamento, vibração, repé, ultrarranque para trás, ultrarranque lateral, pontas, cavidades e lançamento.

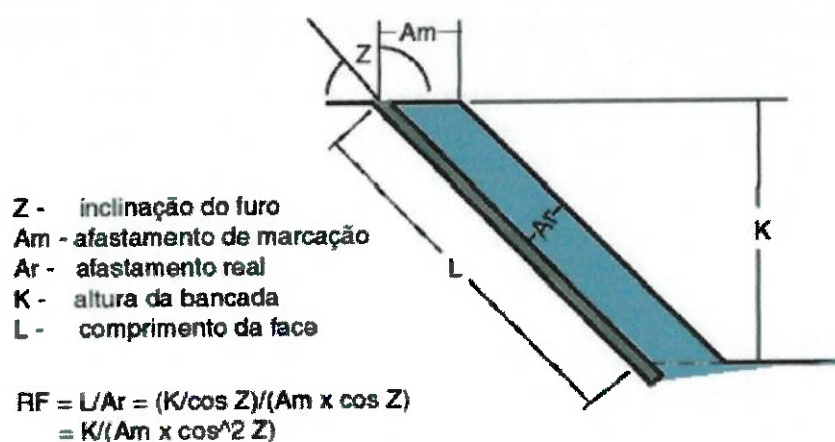
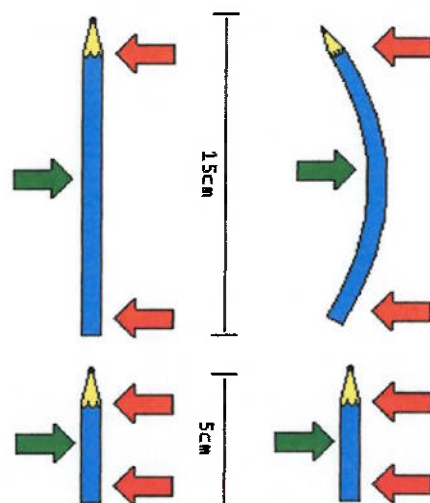


Figura 45 – Razão de flexibilidade

A razão de flexibilidade está diretamente ligada a um dos mecanismos de fragmentação, e o mais importante, designado por Ruptura por Flexão. Defini-se então, a Razão de flexibilidade como a relação entre o comprimento da face ( $L$ ) e o afastamento real ( $Ar$ ), ou seja  $RF = L/Ar$ .

O efeito da flexibilidade pode ser explicado pelo exemplo do lápis. É fácil quebrar um lápis de comprimento de aproximadamente 15 cm. Se entretanto a mesma força for exercida no mesmo lápis de 5 cm de comprimento, será mais difícil quebrá-lo.



**Figura 46 – Efeito da flexibilidade em lápis.**

Fenômeno similar de flexibilidade ocorre na detonação. A rocha apresenta maiores dificuldades para ser arrancada quanto mais próxima for a altura da bancada em relação ao afastamento. Para que os fogos proporcionem bons resultados, não deveremos projetá-los com valores de RF menores do que 3.



*Photo: S.O. Olofsson*

**Figura 47 – Foto mostrando efeito da flexibilidade em bancada.**

A flexibilidade varia com a terceira potência da Razão de flexibilidade, ou seja: se dobrarmos a altura do banco para um determinado afastamento ou reduzirmos o afastamento da bancada, o efeito na redução da flexibilidade é de cerca de 8 vezes.

A razão de flexibilidade ideal para desmonte urbanos se situa perto de 3,5.

## 9.4 Subperfuração

É o termo para indicar a profundidade em que o furo deve ser perfurado abaixo do nível da bancada para garantir que haja arranque e quebra na altura daquela linha.

Sempre haverá necessidade de uma grande concentração de carga no fundo do furo, tendo-se em vista o engastamento desta porção de rocha. O importante é saber qual seria, então, a altura ideal limite para a qual o efeito de arranque da base fosse compensador em relação à carga utilizada.

Se examinarmos o gráfico da figura a seguir, construído com bases em experiências que, para pequenas alturas de carga de fundo, o efeito de arranque é diretamente proporcional à carga, isto é:

$$Q = Rlc \times h.$$

Sendo:  $Q$  = carga

$Rlc$  = razão linear de carregamento

$h$  = altura da carga

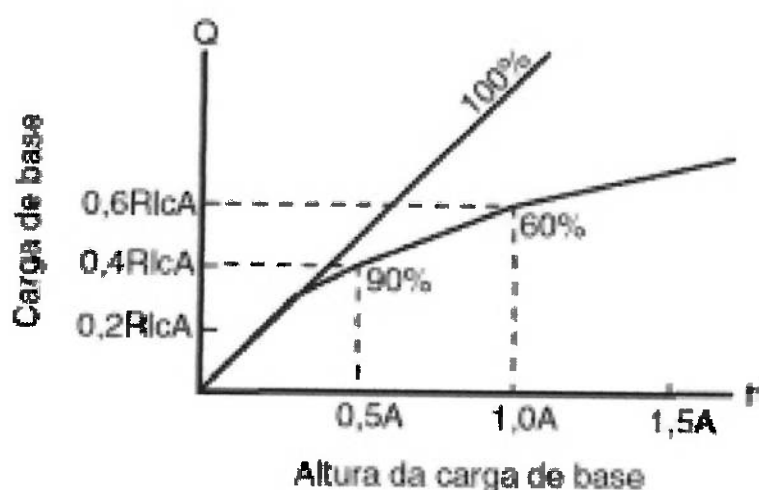


Figura 48 – Carga de base x Altura da carga

Neste caso, a utilização da carga é de 100 %. Para alturas de carga maiores do que 0,25 a 0,30 A, o efeito de arranque da base decresce. Para  $h = 0,96 A$ , a carga total será igual a  $0,96 RlcA$ , mas o efeito de arranque da base tornar-se-á o equivalente a uma carga de base igual a  $Q$  ( $Q = 0,6 RlcA$ ), donde se

conclui que o efeito de arranque da base apenas aproveitou 63 % do trabalho que poderia gerar o explosivo.

Verificamos, assim, que um aumento da coluna de carga não aumenta o efeito de arranque da base. Deveremos portanto, conservar  $h \leq A$  e, por um artifício, aumentar de 50 % o poder de arranque da base. Consiste ele em se fazer uma subperfuração igual a  $0,3 A$ . O poder de arranque passará de  $0,6 R_{lc}A$  a  $0,9 R_{lc}A$ , e, a eliminação do repé será total.

Subperfurações superiores a  $0,3 A$  não implicariam em melhores resultados no poder de arranque e, conseqüentemente, na eliminação do repé, é o que se verifica na prática na maioria das situações onde as condições geológicas são favoráveis.

De outro lado, na figura a seguir, poderemos observar áreas que representam zonas onde as tensões na rocha são iguais e máximas. Na figura, onde não existe subperfuração, a zona de máxima tensão está mais distante do piso da bancada do que no caso da adoção da subperfuração. Neste caso, a máxima tensão ocorre próxima ao nível do piso ou perto da área que deve ser cisalhada.



**Figura 49 – Tensões devido a subperfuração**

Além do mais, a subperfuração é desnecessária em rochas com camadas horizontais ou com pouco mergulho e naquelas que apresentam diáclases horizontais. Em outro tipo de rocha, a não realização da subperfuração resultará no não arrancamento do pé da bancada, e que por isso não se tornará horizontal

ou não alcançará o devido nível. Na figura seguinte podemos ter idéia de subperfuração de acordo com situações geológicas.

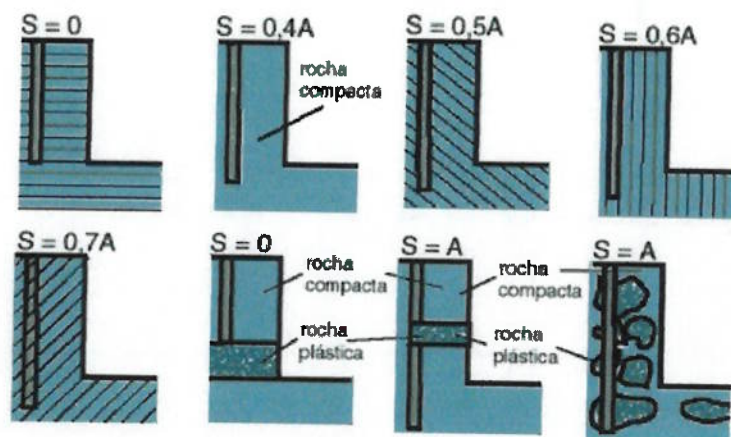


Figura 50 – Subperfuração de acordo com situações geológicas.

Se a subperfuração adequada deixa excessivo repé, o afastamento deve ser diminuído. Se a subperfuração adequada rebaixa a bancada, ela deve ser diminuída.

## 9.5 Afastamento

Para entendermos todo o processo de dimensionamento do afastamento teremos que definir os diversos afastamentos.

- *Na crista:* Também chamado de *afastamento de marcação*. É a distância na horizontal, do furo à crista da bancada.
- *No pé:* Muitas vezes, no pé existe pequeno repé que somado ao afastamento na crista, é designado como afastamento no pé.
- *Médio:* É a média do afastamento no pé e na crista.
- *Real e real médio:* É a distância do furo à face.

Muitas são as fórmulas para se dimensionar o afastamento mas nenhuma delas oferece a segurança ao ultralançamento e bons resultados de fragmentação e lançamento como o método que descreveremos.

O afastamento real médio da primeira carreira é dimensionado para se ter a maior segurança possível em termos de ultralançamento.



A tabela mostra a relação entre o fator de segurança e o respectivo índice que representa a relação entre a razão linear de carregamento e o quadrado do afastamento real.

FATOR (%)	Rlc/Ar <sup>2</sup>	FATOR (%)	Rlc/Ar <sup>2</sup>
100	0,60	75	0,80
95	0,63	70	0,86
90	0,67	65	0,92
85	0,70	60	1,00
80	0,75	50	1,20

**Tabela 7 – Relação entre o fator de segurança e índice**

A prática mostrou que o índice 1,20 resulta em muitos casos de ultralançamento e precisa ser evitado a qualquer custo.

Quando a frente é escaneada a laser, se usa o Boretrak para detectar desvios dos furos, e os furos da primeira carreira são carregados cuidadosamente, podemos adotar fator de segurança de até 70 %.

Quando apenas detectamos a posição das cavidades na face, com auxílio de trena e carregamos cuidadosamente os furos da primeira carreira, deveremos adotar fator de segurança não menor do que 90 %.

O afastamento real será igual à relação:

$$(\text{Afastamento Real})^2 = \frac{\text{Razão Linear de Carregamento (kg/m)}}{\text{Índice do fator de segurança}}$$

Onde :

$$\text{Índice do fator de segurança} = \frac{1}{\text{fator de segurança} * 1,67}$$

\*\* 1,67 é um valor obtido dos diversos processos experimentais em campo.

A razão linear de carregamento deve ser do explosivo que ocupa posição no furo cerca de 2 m acima do piso. Quanto maior a altura de bancada, maior será o desvio e portanto, será necessário aumentar o fator de segurança.



O presente enfoque não se encontra em nenhum livro e é resultado de trabalho do orientador deste trabalho, em algumas pedreiras brasileiras que adotam o método com sucesso absoluto.

Afastamentos menores a cada carreira e pequeno espaçamento, garantem o mínimo de danos para traz e por conseguinte, melhores resultados de fragmentação nos fogos seguintes.

- *Ao longo do furo*: O afastamento ao longo do furo da primeira carreira pode variar exigindo variação no carregamento para se evitar ultralancamento e diminuir os custos evitando-se desperdícios de explosivos.
- *Ao longo da face*: A variação do afastamento ao longo da face pode exigir a locação de alguns furos para garantir perfeito arranque.

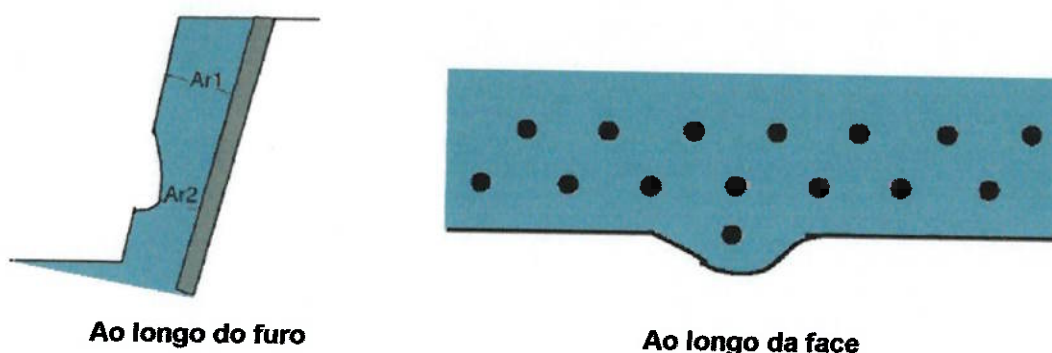


Figura 51 – Variação do Afastamento

#### 9.5.1 Afastamento da segunda e demais carreiras

Somente poderá ser determinado após o conhecimento do espaçamento. Quando o número de carreiras é de duas, o afastamento da segunda carreira é determinado de tal forma que o volume por furo seja cerca de 20 % menor do que o volume por furo da primeira carreira. Como regra geral podemos estabelecer, no caso de muitas carreiras, diminuição de volume de 10% a cada nova carreira. Esta prática garante que não haverá danos à rocha que possa prejudicar a detonação seguinte.

## 9.6 Espaçamento

---

É determinado de acordo com a razão de carregamento e afastamento da primeira carreira. A razão de carregamento está intimamente ligada a abertura de admissão do britador primário e ao número de blocos produzidos.

Devemos prever cerca de 10% a mais de razão de carregamento para compensar os alívios de carga para a primeira carreira porém nem sempre isto é necessário.

Cálculo do espaçamento :

$$\text{Razão de Carregamento} = \frac{\text{Carga do explosivo (kg)}}{\text{Altura (m)} * \text{Espaçamento (m)} * \text{Afastamento (m)}}$$

Portanto :

$$\text{Espaçamento} = \frac{\text{Carga do explosivo (kg)}}{\text{Altura (m)} * \text{Razão de Carregamento (kg/m}^3\text{)} * \text{Afastamento (m)}}$$

Para pedreiras com rocha do tipo granito ou gnaiss e equipamentos de porte médio, é imprescindível não se ter mais de 100 blocos por 1000 m<sup>3</sup> sólido. Engasgos no britador primário, menor produção de britagem, limpeza e transporte, forcem aumento da razão de carregamento para obtenção de blocos dentro daquele nível.

Abaixo dele será conveniente que a diminuição de blocos seja acompanhada pela determinação dos custos.

## 9.7 Arranjo dos furos

---

O arranjo dos furos pode ser de duas formas a saber:

- Estagiado ou em pé de galinha e enfileirado.

Veja figura.

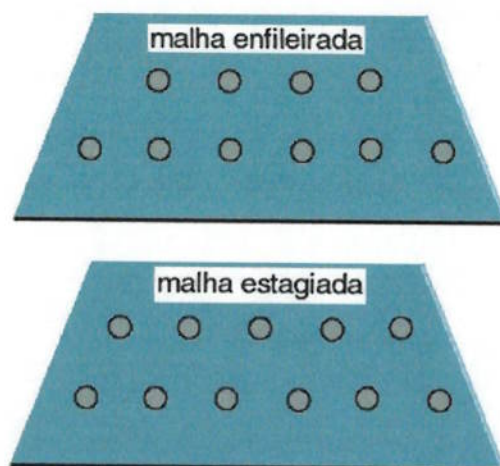


Figura 52 – Tipos de malha

O arranjo estagiado proporciona melhor fragmentação e eliminação do repé.

### 9.8 Formato da malha

Existem cinco tipos de formatos de malha mas apenas um deles é adequado a pedreiras urbanas.

*Retangular* é a malha em que o espaçamento é maior do que o afastamento ( $E = 1,15$  a  $2,00$  vezes o afastamento).

*Retangular invertida* é a malha ideal para pedreiras urbanas. O espaçamento é menor do que o afastamento principalmente na primeira carreira e o afastamento diminui de carreira para carreira. O arranjo sempre é estagiado e o carregamento da primeira carreira é cuidadoso.

*Quadrada* é a malha em que o afastamento é igual ao espaçamento.

*Eqüilateral*, malha em que o arranjo é estagiado e onde um furo eqüidista de 6 furos vizinhos.

*Alongada* é a malha em que  $E > 2A$  e é adequada a rochas bastante fraturadas tais como calcáreo, basalto e rochas friáveis tais como certos minérios de ferro.

É uma malha que proporciona em geral grande ultralançamento e é ferramenta adequada para método de desmonte designado por "Decapeamento por

explosivos” onde o explosivo lança ao máximo grande parte do capeamento na pilha de rejeito, evitando-se assim muito manuseio do estéril por máquinas .

### 9.9 Número de carreiras

---

Quanto maior o número de carreiras melhor será a fragmentação. Isto passa a ser claro quando analisamos as extremidades do fogo onde é comum o aparecimento de matacões. Dependendo da altura de bancada, do método de lavra e do equipamento de limpeza, o número de carreiras tem que ser limitado.

Para furos de 90 mm de diâmetro, granito, bancadas de 20 m de altura, lançamento de 70 m, fator de empolamento de 80%, duas carreiras tornam a altura da pilha perto da face com aproximadamente 6 m, limite de altura para a maioria das carregadeiras.

Se a altura de bancada é da ordem de 10 m, poderemos chegar a 4 carreiras para termos cerca de 5,5 m de altura de pilha ao lado da face. Se o método de lavra permitir que material de uma bancada possa ser jogado nas bancadas inferiores, poderemos atingir 6 a 7 carreiras sem prejuízo para as carregadeiras.

### 9.10 Desvio dos furos

---

Na operação de desmonte se a precisão de perfuração não é boa os resultados podem ser catastróficos.

Entre os tipos de desvios que entram em jogo na perfuração podemos citar:

- *De marcação:*

Para furos de médio a grande diâmetros, deveremos marcar o espaçamento com auxílio de uma corda bem esticada entre dois pontos e onde o espaçamento está marcado na corda. Isto é válido para frente bem retilínea. Para frentes em curva, deveremos amarrar a corda em mais de dois pontos, tentando reproduzir a face com formato curvilíneo. O afastamento é medido de acordo com marcas (duas para frente retilínea e mais do que duas para face curvilínea) feitas após a última carreira detonada e posicionadas antes da detonação. Para a

locação de furos de grande diâmetro poderemos também adotar a locação através de GPS. As marcas poderão ser feitas com tinta em fragmentos de rocha colocados na posição de locação desejada ou se a superfície o permitir, a tinta pode marcar diretamente a superfície.

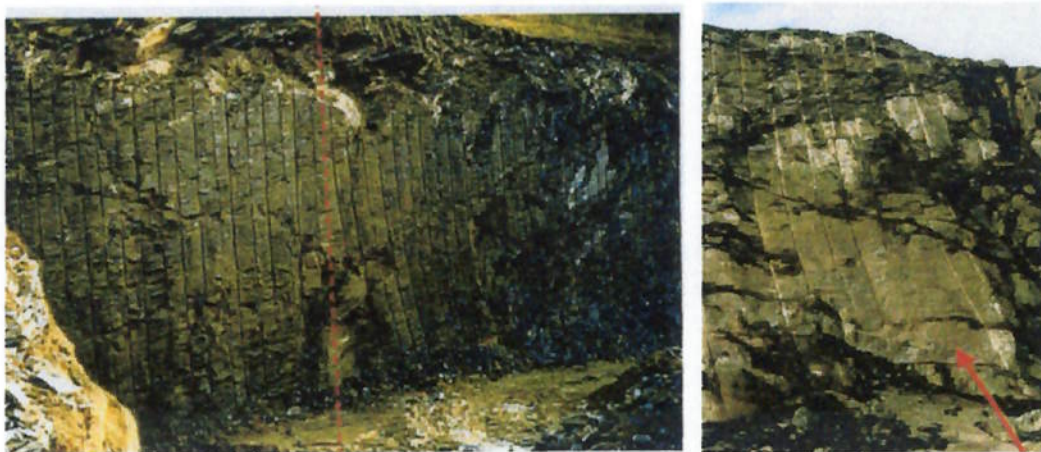


Figura 53 – Desvio dos furos

- De emboque:

*Depende do cuidado com que o operador da perfuratriz posiciona a mesma. Em geral este erro não atinge mais do que três vezes o diâmetro dividido por 10. Exemplo: para diâmetro de 90 mm, o erro será de:  $90 \times 3 / 10 = 27 \text{ mm} = 2,7 \text{ cm} \sim 3 \text{ cm}$ .*

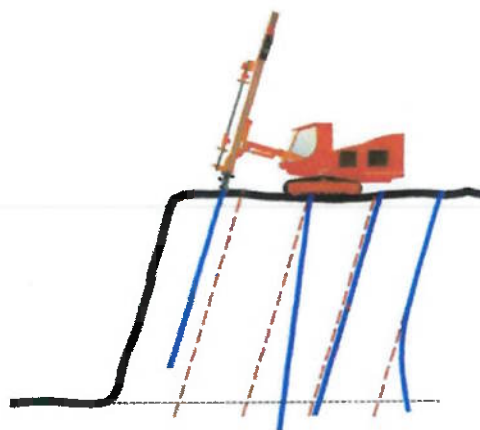


Figura 54 – Exemplos de erros na perfuração



- *De alinhamento:*

Depende também da habilidade do operador no posicionamento da perfuratriz e dispositivos para garantir a inclinação e o paralelismo dos furos.

- *De perfuração:*

Depende da relação entre o comprimento do furo e o diâmetro e aumenta com a pressão de alimentação. Estatística em furos de 91 mm de diâmetro, 13 graus de inclinação e 21 m de comprimento mostraram:

- Os desvios em geral são para o lado esquerdo, se olharmos a face pisando no piso inferior. Este fenômeno deve ser devido ao sentido de rotação do equipamento.
- Raramente os desvios contribuem para aumentar o afastamento. Em geral os desvios são em direção a face.
- Os desvios em geral começam aos 6 metros.
- O desvio médio é da ordem de 0,04m/m e pode atingir cerca de 0,07m/m. Assim, em um furo de 21 m o desvio máximo esperado no pé da bancada será de  $21 \times 0,07 \sim 1,5$  m. Se o afastamento programado no pé for de 3,5 m, o afastamento resultante será de  $3,5 - 1,5 = 2,0$  m.

Para diminuir este tipo de desvio, principalmente nos furos da primeira carreira, deve-se usar tubos guias, bits tipo retráctile meio avanço. As perfuratrizes deverão dispor de medidor adequado de ângulo para ajustar inclinação e alinhamento.

Para grandes diâmetros, acima de 250 mm, este tipo de desvio é desprezível.

- *Devido à rocha:*

Em rochas mergulhantes com camadas de diferentes durezas ou quando ocorre um "liso" é necessário bom controle da perfuração.

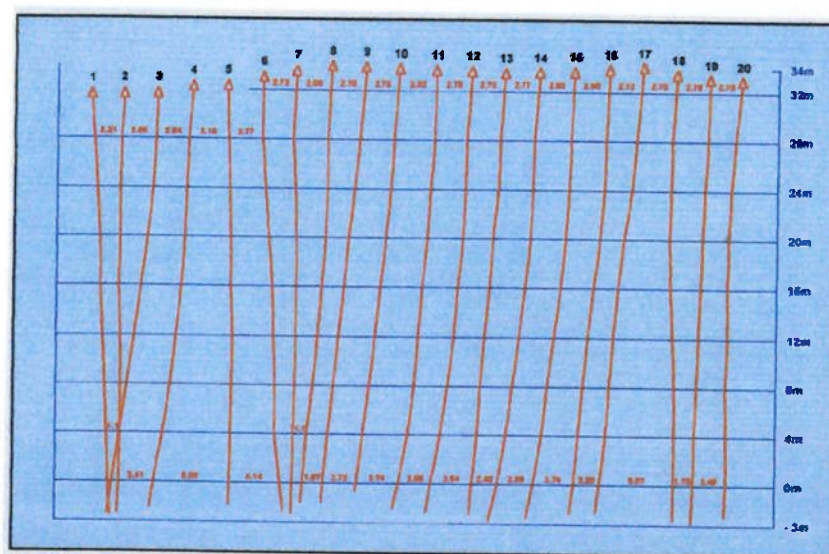


Figura 55 – Exemplo de comportamento dos furos.

### Furos especiais

*Furo satélite* – são furos feitos apenas na parte superior da bancada, com cerca de 2 a 3 metros de profundidade e locados entre os furos principais. Podem ser de mesmo diâmetro que a perfuração principal ou de menor diâmetro. São usados com sucesso em muitos casos, quando se quer fragmentar melhor a parte superior da bancada.

*Furo de levante* – são furos feitos na horizontal e detonados concomitantemente com furos verticais ou inclinados. A função é melhor eliminação do repé. Tais furos estão em desuso por acarretarem:

- Propagação da detonação entre furos provocando maior carga por espera e desmonte em ordem inadequada.
- Promoção do efeito martelo e conseqüente falha de explosivos e espoletas ou o seu desempenho abaixo dos padrões esperados.
- Ultralançamento.
- Maior vibração por maior engaste.

*De correção de repé* – são furos no pé da bancada com intuito de eliminar repé. De preferência são detonados antes da detonação principal.

*Furo de corte* – são furos feitos nas linhas de corte laterais e carregados como desmonte escultural. Servem para diminuir a quantidade de matacões nas laterais e deixar a face lateral mais homogênea.

#### **9.10.1 Estado dos furos**

---

É importante detectarmos algumas características dos furos que podem afetar o carregamento de explosivos. Entre elas podemos citar: estabilidade, diminuição do diâmetro por presença de argila expansiva, diminuição por pressão local (mais comum em minas subterrâneas), rugosidade e presença de água. A presença de água empoçada na superfície da bancada e perto dos furos a serem carregados pode trazer sérios problemas no carregamento.

#### **9.10.2 Escalonamento da carga por furo**

---

Por questões operacionais imaginamos apenas um escalonamento por furo. A sequência de detonação para evitar ultralancamento seria de baixo para cima. Como trabalhamos com duas carreiras de furos, retardar os furos seria o mesmo procedimento para retardar fogo equivalente com 4 carreiras. Para não haver propagação entre cargas, adota-se tampão intermediário de pedra 1 com comprimento mínimo igual a 15 vezes o diâmetro do furo.

Os princípios básicos das nossas recomendações se regem por:

- 1) - detonações sequenciais nas quais os tempos vão se somando, furo a furo.
- 2) - não permitir intervalos de menos de 8 MS, já que menos de 8 MS de intervalo é considerado instantâneo por inúmeros cientistas do ramo.
- 3) - procurar intervalos maiores do que 8 MS que atendam as necessidades, sem causar problemas de roubo de furos.
- 4) - evitar também detonações muito longas.
- 5) - escalonamentos por retardo.

## Aplicações

Das aplicações conhecidas do escalonamento a estéril, podemos citar:

- 1) Garantir melhor distribuição da carga. Como exemplo podemos citar o caso de bolsões e pequenos afastamentos. Outro exemplo é o seu uso para adequar a razão linear de carregamento ao afastamento em furos desviados.
- 2) Proporcionar confinamento do explosivo em horizontes com rocha incompetente, juntas, fissuras.
- 3) Melhorar a fragmentação. Dividir um furo ao meio e retardar a carga de base em relação a carga do topo, produz mais choques dos fragmentos o que vai proporcionar melhor fragmentação.
- 4) Diminuir a vibração.
- 5) Diminuir o impacto de ar.

## Número de Escalonamentos

Para atender a necessidade de diminuir os níveis de vibração, muitas vezes será necessário proceder diversos escalonamentos e o número deles é ilimitado.

## Dimensões

O comprimento depende muito dos seguintes fatores:

- a) Sensibilidade à propagação do explosivo. Quanto maior a sensibilidade do explosivo, maior deverá ser o comprimento do escalonamento.
- b) Presença de água nos furos. O choque se propaga mais facilmente na água e portanto aumenta a probabilidade de propagação entre cargas.
- c) Necessidade de diminuir a carga por escalonamento ou por espera. Neste caso o aumento do escalonamento diminui a carga por espera e poderá conforme a sua dimensão, não afetar a fragmentação.

Testes demonstraram que 15 vezes o diâmetro do furo é a dimensão ideal. Menos do que 6 vezes o diâmetro não deve ser adotado em nenhuma hipótese. Exemplo: um furo de 80 mm de diâmetro deverá ter um escalonamento mínimo de  $80 * 15 = 1200 \text{ mm} = 1,2 \text{ m}$ .

## **Material**

Deve ser de alta resistência dinâmica como o tampão. Para evitar danos aos tubetes do sistema não elétrico de tubo de choque ou aos fios das espoletas elétricas, sua dimensão deve ser menor, ou seja: pedrisco de britagem.

## **Dimensões das cargas divididas**

Para facilitar o trabalho é importante num escalonamento simples dividir a carga por 2. No escalonamento duplo divide-se a carga por 3, e assim por diante. A carga inferior pode ser um pouco menor para compensar o engastamento da subperfuração e portanto, diminuir a vibração causada por esta parte da coluna. Contudo, até hoje nada foi provado a respeito.

## **Ordem de detonação das cargas**

Podemos iniciar pela carga mais superficial ou pela carga mais baixa mas é necessário analisar as vantagens e desvantagens de cada método antes de aplicá-lo. Cada caso vai exigir um determinado método.

### **Iniciação pela carga mais superficial - Vantagens**

- Menor perigo de roubo de furos, principalmente em bancadas altas, diâmetros de furos menores do que 153 mm, muito fraturadas e apresentando planos de fraqueza mergulhantes.

### **Iniciação pela carga mais baixa - Vantagens**

- Pilha menos compacta, o que facilita a limpeza.
- Menor possibilidade de ultralançamento.

### **Retardo entre cargas escalonadas**

Uma boa regra é adotar retardo entre cargas de 0,35 a 0,66 vezes o diâmetro do furo em milímetros. Exemplo: para um furo de 76 mm de diâmetro, teremos  $0,35 \times 76 = 27$  MS ou  $0,66 \times 76 = 50$  MS. Procuramos então dentro do mercado nacional o que nos atende melhor. Se usamos espoletas elétricas ou espoletas não elétricas de tubo de choque, a escolha recai em 42 MS.



### 9.11 Dimensão do fogo

Quanto maior o fogo melhor será a fragmentação. Isto passa a ser claro quando consideramos a costumeira má fragmentação das laterais que em fogos grandes fica minimizada em relação ao volume total. O único inconveniente de um fogo de longa duração é o tempo de ação da vibração que é indesejável em termos de sensibilidade humana.

### 9.12 Formato do fogo

O formato do fogo tem grande influência na produção de blocos daquele fogo e do fogo seguinte. Isto é causado por danos devido ao engastamento e forma do avanço.

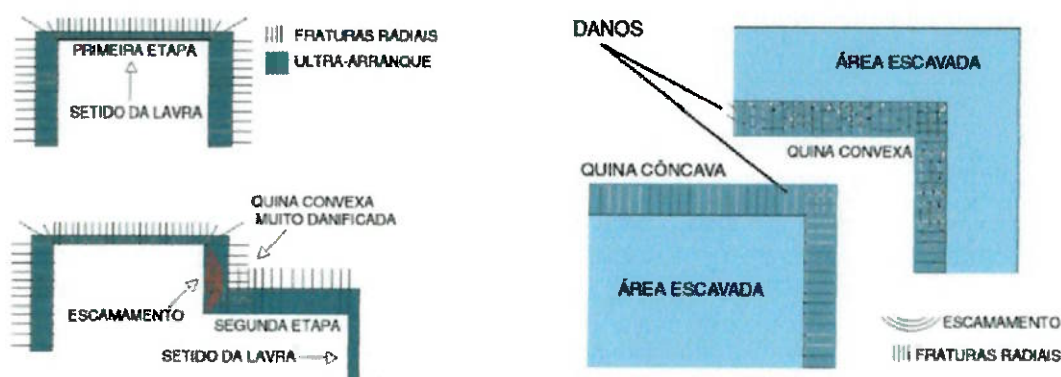
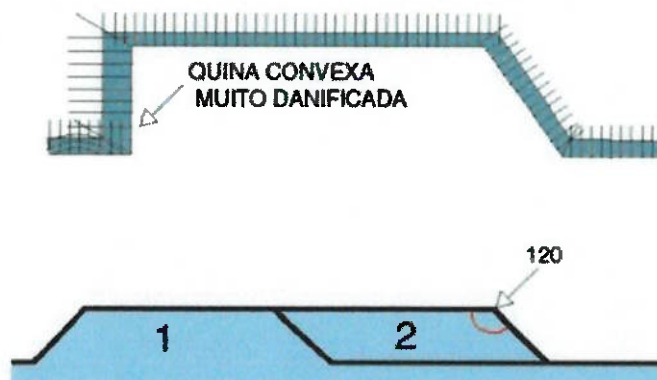


Figura 56 – Formas de avanço

Para garantir o mínimo de dano que possa atuar na fragmentação do fogo e do fogo seguinte, será importante desmontar a frente como mostrado no desenho inferior da figura seguinte.



**Figura 57 – Formas de se desmontar a frente**

Para garantir a minimização de danos em todas as situações, será importante desenvolver método de lavra que garanta o atendimento deste objetivo. Veja figura.



**Figura 58 – Esquema de sequência de detonações para diversos fogos**

## 10. Fotos de desmontes.

---

Mostraremos abaixo duas fotos de desmontes. A primeira é um desmonte não cuidadoso em uma pedreira mineira, e a segunda é o desmonte executado na pedreira Embu utilizando o método de desmonte não agressivo.

Observe as diferença quanto ao ultralancamento e distribuição das rochas desmontadas.



**Figura 59 -Desmonte agressivo**



**Figura 60 -Desmonte não agressivo**

## 11. Conclusões

---

Com o desenvolvimento do trabalho, foi possível chegar a diversas conclusões de como se evitar reclamações, problemas e danos às residências e às áreas sensíveis ao meio ambiente.

É necessário um planejamento constante a cada fogo individualmente sem se esquecer da segurança, do meio ambiente e dos custos envolvidos.

A utilização do método de desmonte não agressivo proporciona aos usuários uma ótima qualidade no desmonte e evita em quase 100% os prováveis danos causados por um desmonte não controlado. O dimensionamento cuidadoso dos afastamentos, espaçamentos, subperfuração e tampão, a escolha da melhor razão de carregamento, do diâmetro do furo ou da malha a ser utilizada, são muito importantes para o desenvolvimento de todo o processo.

Aliado a este dimensionamento está a instrumentação das formas de operação e controle, como a utilização de "softwares" e equipamentos como "Boretrack", acessórios como as espoletas eletrônicas e alternativas como os caminhões aguadores.

Lembramos que é muito importante o monitoramento dos eventos com sismografia e relatórios de todos os fogos, para colher informações e cálculos para futuras análises e aperfeiçoamentos, já que a principal arma deste projeto de dimensionamento foram os ensaios, observações e conclusões retiradas dos relatórios.

Para finalizar ressaltamos que é imprescindível manter boas e cordiais relações com vizinhos, estando sempre pronto para responder perguntas, mostrar o que está sendo planejado e executado durante as detonações, realizar periodicamente ensaios nas residências e em lugares importantes como caixas de água e estabelecimentos comerciais.

O método de desmonte por explosivo não agressivo está sendo aplicado com sucesso na pedreira Embu do grupo Embu S. A. Engenharia e Comércio e em outras empresas de mineração, como : Pedreira Perus (Perus), Pedreira de Itatinga, U.H. Tucuruí (Ceará), Construcap (Pará).

## 12. Bibliografia

---

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Caracterização de cargas poluidoras na mineração: projeto de norma**. Brasília, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Guia para avaliação dos Efeitos Provocados pelo uso de Explosivos nas Minerações em áreas Urbanas: NBR9653**. Brasília, 1987.
- DICK, RICHARD A. **Explosives and Blasting Procedures manual**. United States Department of the Interior, 1983. 105p.
- ESTON, SÉRGIO MÉDICI DE. **Uma análise dos níveis de vibração associados a detonações, São Paulo 1998**. Teste (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas.
- EXPLO, **Técnicas Básicas de desmonte de rochas, V.1 1979**.
- GEODINÂMICA. **Trabalhos geotécnicos para definição do capeamento e qualidade do maciço**, São Paulo, 1999
- HAGAN, TIMOTHY N. **Curso Avançado de Desmonte de Rocha: Orica**. São Paulo, 1998.
- I-KON SYSTEM. <<http://www.i-konsystem.com>>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS MINERAIS RENOVÁVEIS. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, 1990
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Comissão técnica de Meio ambiente. Grupo de Trabalho de redação**. Brasília, 1992
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Mineração e Meio Ambiente: impactos previsíveis e formas de controle**. 2.ed. Belo Horizonte, 1987.
- ORICA. <<http://www.orica.com.au>>
- ORICA. **Catálogo de produtos**, São Paulo, 2001.
- PERSSON, PER-ANDERS, 1993. **Rock Blasting and Explosive Engineering**.
- PLUS, MINIMATE. **Instantel Minimate Plus operator manual**.
- SANVICK, TAMROCK. **Quarry Academy**, São Paulo, 2001.



# Anexo A

---

Relatórios de sismografia para controle de vibrações e impactos de ar

# Controle Ambiental EMBU S A

ne Vert at 12:13:31 November 27, 2001  
 Source Geo: 2.00 mm/s  
 Geo :127 mm/s  
 Time 5.0 sec at 1024 sps

Serial Number 3391 V 2.6 MiniMate  
 Battery Level 6.5 Volts  
 Calibration August 30, 2000 by Instatel Inc.  
 File Name E3918TO4.MJ0

JOB # 2001  
 Embu.  
 ne: OP.MAURICIO  
 d: November 28, 2001 10:19:32 (V4.02)

Notes  
 IB-2  
 11/2001  
 medida: CAIXA D'AGUA.  
 o da EMBU.

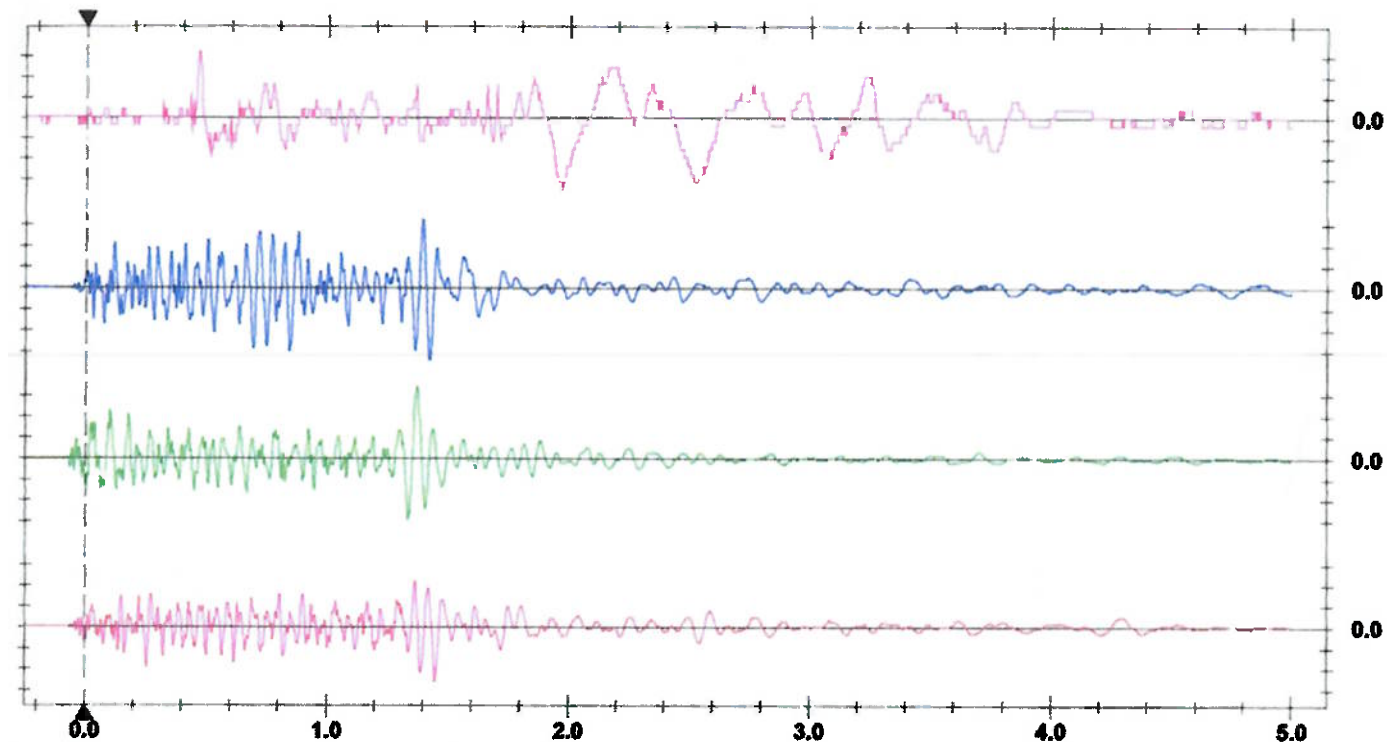
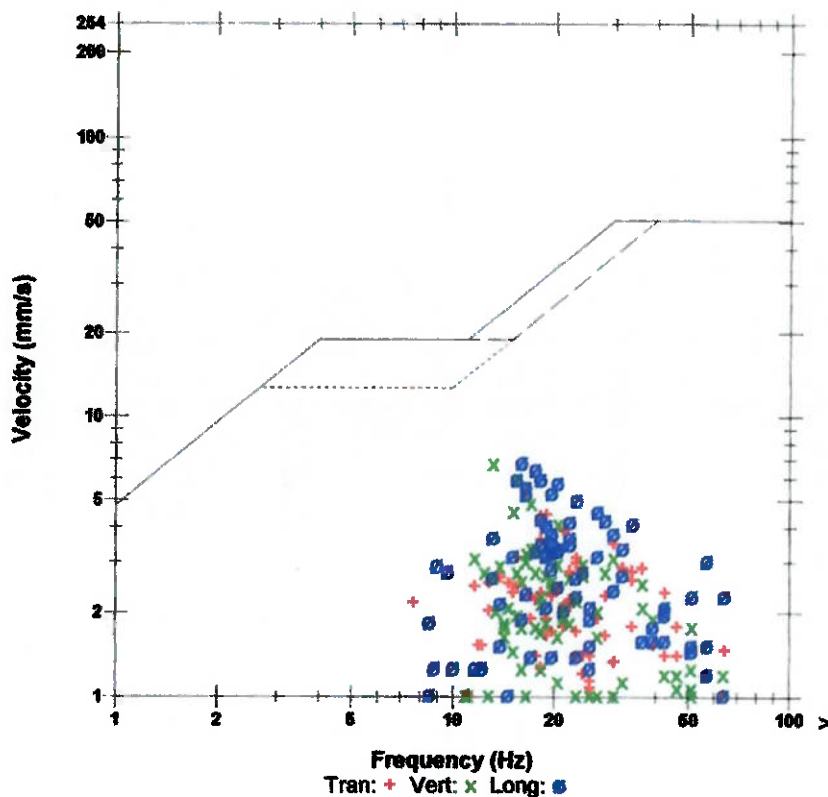
Notes

one Linear Weighting  
 119 dB(L) at 1.968 sec  
 3.0 Hz  
 Test Passed (Freq = 20.0 Hz Amp = 467 mv)

	Tran	Vert	Long	
	5.33	6.79	6.86	mm/s
	16	13	16	Hz
l. to Trig)	1.451	1.374	1.424	sec
celeration	0.0928	0.0994	0.0994	g
placement	0.0458	0.0799	0.0672	mm
heck	Passed	Passed	Passed	

ctor Sum 9.43 mm/s at 1.367 sec

## USBM RI8507 And OSMRE



Time Scale: 0.20 sec/div Amplitude Scale: Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 5.00 pa.(L)/div  
 Trigger =

November 30, 2001 (V 4.02 - 4.02)

Format Copyrighted 1996-1999

# Controle Ambiental EMBU S A

Time Tran at 12:06:01 September 19, 2001  
 Source Geo: 2.00 mm/s  
 Mic: 110 dB(L)  
 Geo :127 mm/s  
 Time 5.0 sec at 1024 sps

Serial Number 3391 V 2.6 MiniMate  
 Battery Level 6.3 Volts  
 Calibration August 30, 2000 by Instanet Inc.  
 File Name E3918Q4C.A10

Job: JOB # 2001  
 Location: Embu.  
 Name: OP.MAURICIO  
 Date: September 19, 2001 16:03:36 (V4.02)

Notes  
 3C-3  
 19/09/2001  
 de medida: H-08  
 eño da Embu.

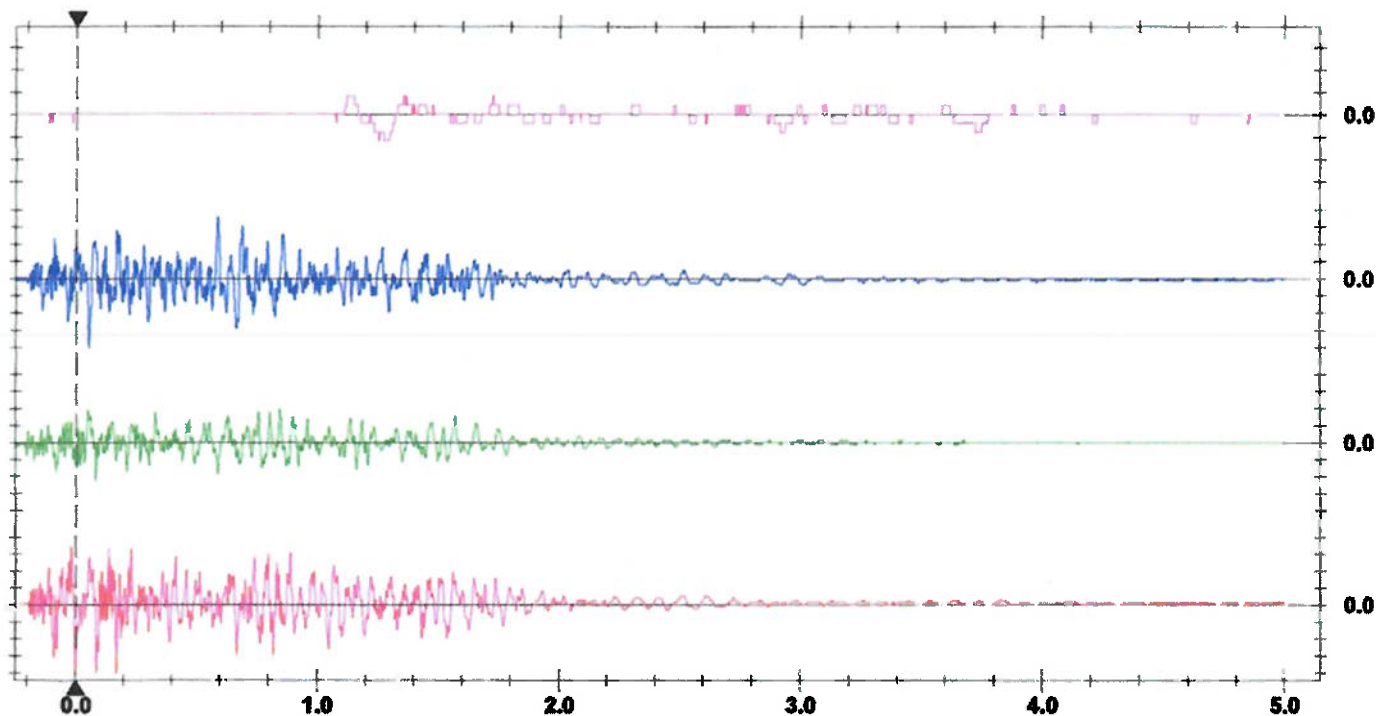
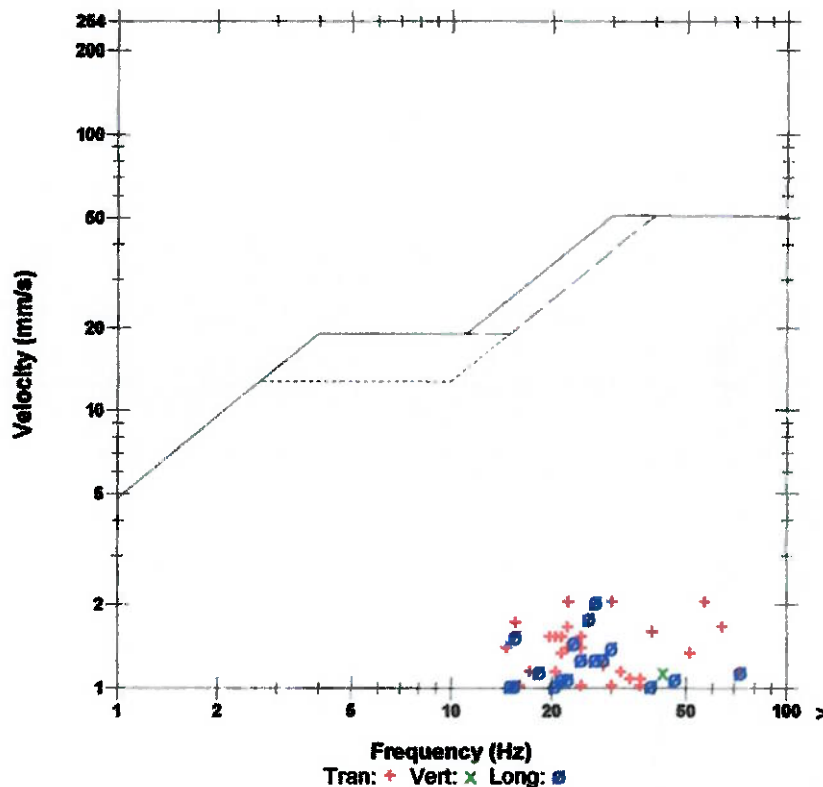
## Event Notes

Phone Linear Weighting  
 110 dB(L) at 1.253 sec  
 req 5.0 Hz  
 Test Passed (Freq = 20.0 Hz Amp = 467 mv)

	Tran	Vert	Long	
	2.03	1.14	2.03	mm/s
req	22	43	27	Hz
(Rel. to Trig)	0.000	0.082	0.053	sec
Acceleration	0.0729	0.0331	0.0530	g
Displacement	0.0122	0.00722	0.0124	mm
check	Passed	Passed	Passed	

Vector Sum 2.35 mm/s at 0.055 sec

## USBM R18507 And OSMRE



# Anexo B

---

**Relatórios de fogo preparados para registros e coleta de informações importantes das operações de desmonte.**



RELATÓRIO: 269  
DATA: 13/11/2001  
CABO DE FOGO: CARMO  
ASS. TÉCNICO: MAURICIO  
ENGENHEIRO: CINTRA  
PESSOAS ENVOLVIDAS: 8

HORA: 12:04:53  
TEMPO: BOM  
ROCHA: GRANITO

FRENTE/BANCADA: 3A-LAT

FUROS	62
NORM.	60
CORTE	2
MATACOS	nd
FRAGMENT.	nd
CARGA/ESPERA	34,41

MALHA	AfastxEspaç	Tampão	Graus	Subperf.
1a Linha :	2,70	2,20	2,8	10
2a Linha :	2,30	2,20	2,4	10
				0,4

VOLUMES	
COMPACTO	2.374,4
EMPOLADO	4.273,9
TONELADA	6.410,8

FURO	DIAM do FURO (mm)	PROF. dos FUROS (m)	Furos de Corte ? (sq)	AFAST. de MARC. (m)	AFAST REAL (Av) (m)	ESPAÇAMENTO (m)	AREA POR FURO (m2)	VOLUME POR FURO (m3)	AMFLEX 150g (un)	AMFLEX 250g (un)	CA \$5100ms (un)	HTD 17MS (un)	NAOC (canecas)	BANANA de 27x14 (un)	BANANA de 1"x25 (m)	NAOC (kg)	BANANA de 27x14 (kg)	BANANA de 1"x25 (kg)	TOTAL DE EXP. (kg)	TOTAL DE EXP. (m)	TAMPÃO (m)	AR (m)	RAZO LINEAR (Ric) (kg/m)	FATOR: Ric/Ar^2	RAZO DE FLEXIBILIDADE	RAZO DE CARGA (kg/m3)
TOT:	447,3	150,0	132,0	330,0	2,374	2,374	330,0	2,374	3	59	62	116	785	128	15,3	1,169,7	266,2	9,3	1,445,2	286,1	155,0	24,8				
MÉD:	87,4	7,21			2,4	2,4		4,274					12,7	2,1	0,2	18,9	4,3	0,2	23,3	4,6	2,5	0,4	6,1	0,9	3,0	0,609
MÁX:	91,3	7,86						6,411					17,0		4,7	25,3	18,7	2,8	29,5	5,3			6,6	1,1	3,3	0,762
PRIMEIRA LINHA																										
1	84,4	7,07	n	2,7	2,7	2,2	5,94	42	1		1		7	2	4,1	10,4	2,1	2,5	4,6	4,3	2,6	0,4	1,1	0,15	2,6	0,109
2	87,0	7,11	n	2,7	2,7	2,2	5,94	42		1	1	2	12	2	2,0	17,9	4,2	1,2	15,8	4,3	2,6	0,4	3,7	0,60	2,6	0,374
3	87,0	7,07	n	2,7	2,7	2,2	5,94	42		1	1	2	12	2		17,9	4,2		22,0	4,3	2,6	0,4	5,2	0,71	2,6	0,526
4	87,0	7,16	n	2,7	2,7	2,2	5,94	43		1	1	2	12	2		17,9	4,2		22,0	4,4	2,6	0,4	6,1	0,69	2,7	0,518
5	90,8	7,26	n	2,7	2,7	2,2	5,94	43		1	1	2	16	2		23,8	4,2		28,0	4,5	2,6	0,4	6,3	0,86	2,7	0,649
6	90,8	7,35	n	2,7	2,7	2,2	5,94	44		1	1	2	14	2		20,9	4,2		25,0	4,6	2,6	0,4	5,5	0,75	2,7	0,673
7	90,8	7,34	n	2,7	2,7	2,2	5,94	44		1	1	2	14	2		20,9	4,2		25,0	4,5	2,6	0,4	5,5	0,76	2,7	0,674
8	90,8	7,26	n	2,7	2,7	2,2	5,94	43		1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,5	2,6	0,4	5,3	0,72	2,7	0,646
9	91,0	7,17	n	2,7	2,7	2,2	5,94	43		1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,4	2,6	0,4	5,4	0,74	2,7	0,652
10	91,0	6,94	n	2,7	2,7	2,2	5,94	41		1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,1	2,6	0,4	5,7	0,78	2,6	0,571
11	91,0	6,81	n	2,7	2,7	2,2	5,94	40		1	1	2	12	2		17,9	4,2		22,0	4,0	2,6	0,4	5,6	0,75	2,6	0,546
12	84,6	6,79	n	2,7	2,7	2,2	5,94	40		1	1	2	11	2		16,4	4,2		20,6	4,0	2,6	0,4	5,2	0,71	2,5	0,510
13	84,6	6,69	n	2,7	2,7	2,2	5,94	40		1	1	2	11	2		16,4	4,2		20,6	3,9	2,6	0,4	5,3	0,72	2,5	0,517
14	84,6	6,69	n	2,7	2,7	2,2	5,94	40		1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	3,9	2,6	0,4	5,0	0,83	2,5	0,592
15	85,0	6,93	n	2,7	2,7	2,2	5,94	41		1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,0	2,6	0,4	5,8	0,80	2,5	0,580
16	85,0	7,03	n	2,7	2,7	2,2	5,94	42		1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,2	2,6	0,4	5,6	0,76	2,6	0,563
17	85,0	7,02	n	2,7	2,7	2,2	5,94	42		1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,2	2,6	0,4	5,6	0,76	2,6	0,564
18	85,4	7,08	n	2,7	2,7	2,2	5,94	42		1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,3	2,6	0,4	5,6	0,76	2,6	0,560
19	85,4	7,11	n	2,7	2,7	2,2	5,94	42		1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,3	2,6	0,4	5,6	0,76	2,6	0,567
20	85,4	7,15	n	2,7	2,7	2,2	5,94	42		1	1	2	12	2		17,9	4,2		22,0	4,4	2,6	0,4	5,1	0,70	2,6	0,519
21	86,4	7,16	n	2,7	2,7	2,2	5,94	43		1	1	2	14	2		20,9	4,2		25,0	4,4	2,6	0,4	5,7	0,79	2,7	0,588
22	86,4	7,18	n	2,7	2,7	2,2	5,94	43		1	1	2	14	2		20,9	4,2		25,0	4,4	2,6	0,4	5,7	0,78	2,7	0,587
23	86,4	7,20	n	2,7	2,7	2,2	5,94	43		1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,4	2,6	0,4	5,3	0,73	2,7	0,560
24	87,6	7,21	n	2,7	2,7	2,2	5,94	43		1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,4	2,6	0,4	5,3	0,73	2,7	0,549
25	87,6	7,17	n	2,7	2,7	2,2	5,94	43		1	1	2	14	2		20,9	4,2		25,0	4,4	2,6	0,4	5,7	0,79	2,7	0,587
26	87,6	7,25	n	2,7	2,7	2,2	5,94	43		1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,5	2,6	0,4	5,3	0,73	2,7	0,548
27	87,6	7,32	n	2,7	2,7	2,2	5,94	43		1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,5	2,6	0,4	5,2	0,71	2,7	0,541
28	91,3	7,37	n	2,7	2,7	2,2	5,94	44		1	1	2	17	2		25,3	4,2		29,5	4,6	2,6	0,4	6,5	0,89	2,7	0,674
29	91,3	7,40	n	2,7	2,7	2,2	5,94	44		1	1	2	17	2		25,3	4,2		29,5	4,6	2,6	0,4	6,4	0,88	2,7	0,671
30	91,3	7,56	n	2,7	2,7	2,2	5,94	45		1	1	2	16	2		23,8	4,2		25,0	4,8	2,6	0,4	5,9	0,81	2,8	0,624
30A	90,0	7,56	s						1					1	4,6		2,1	2,8	4,9	4,8	2,6	0,4	1,0			

PRIMEIRA LINHA - 1



FURO	DIAM do FURO (mm)	PROF. dos FURROS (m)	Furos de Corte ? (sn)	AFAST. de MARC. (m)	AFAST REAL (Ar) (m)	ESPAÇAMENTO (m)	ÁREA POR FURO (m2)	VOLUME POR FURO (m3)	AMPLEX 150g (un)	AMPLEX 250g (un)	CA SS100ms (un)	HTD 17MS (un)	NAOC (canecas)	BANANA de 2"x1/4 (un)	BANANA de 1"x25 (m)	NAOC (kg)	BANANA de 2"x1/4 (kg)	BANANA de 1"x25 (kg)	TOTAL DE EXP. (kg)	TOTAL DE EXP. (m)	TAMPAO (m)	AR (m)	RAZÃO LINEAR (Rlc) (kg/m)	FATOR Rlc/Ar^2	RAZÃO DE FLEXIBILIDADE	RAZÃO DE CARGA (kg/m3)	
SEGUNDA LINHA																											
1	83,8	7,24	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	12	2		17,9	4,2		22,0	4,8	2,4	0,4	4,6	0,86	3,1	0,602	
2	83,9	7,17	n	2,3	2,3	2,2	5,06	36	1	1	1	2	12	2		17,9	4,2		22,0	4,8	2,4	0,4	4,6	0,87	3,1	0,607	
3	83,9	7,26	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,9	2,4	0,4	4,9	0,92	3,2	0,641	
4	83,9	7,28	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,9	2,4	0,4	4,8	0,91	3,2	0,639	
5	84,9	7,34	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,9	2,4	0,4	4,8	0,90	3,2	0,634	
6	84,9	7,45	n	2,3	2,3	2,2	5,06	38	1	1	1	2	14	2		20,9	4,2		25,0	5,1	2,4	0,4	5,0	0,94	3,2	0,664	
7	84,9	7,51	n	2,3	2,3	2,2	5,06	38	1	1	1	2	15	2		22,4	4,2		26,5	5,1	2,4	0,4	5,2	0,98	3,3	0,698	
8	90,4	7,47	n	2,3	2,3	2,2	5,06	38	1	1	1	2	14	2		20,9	4,2		25,0	5,0	2,4	0,4	5,1	0,96	3,2	0,701	
9	90,7	7,35	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,8	2,4	0,4	4,9	0,92	3,1	0,645	
10	90,7	7,21	n	2,3	2,3	2,2	5,06	36	1	1	1	2	12	2		17,9	4,2		22,0	4,5	2,4	0,4	4,9	0,92	3,0	0,663	
11	90,9	7,01	n	2,3	2,3	2,2	5,06	35	1	1	1	2	12	2		17,9	4,2		22,0	4,4	2,4	0,4	5,0	0,94	3,0	0,629	
12	85,9	6,92	n	2,3	2,3	2,2	5,06	35	1	1	1	2	12	2		17,9	4,2		22,0	4,5	2,4	0,4	4,9	0,93	3,0	0,631	
13	90,9	6,84	n	2,3	2,3	2,2	5,06	36	1	1	1	2	13	2		19,4	4,2		23,5	4,6	2,4	0,4	5,1	1,00	3,0	0,680	
14	85,9	6,90	n	2,3	2,3	2,2	5,06	35	1	1	1	2	12	2		17,9	4,2		22,0	4,8	2,4	0,4	4,6	0,87	3,1	0,605	
15	90,1	7,20	n	2,3	2,3	2,2	5,06	36	1	1	1	2	12	2		17,9	4,2		22,0	4,8	2,4	0,4	4,6	0,86	3,1	0,602	
16	85,3	7,24	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	12	2		19,4	4,2		23,5	4,9	2,4	0,4	4,8	0,90	3,2	0,634	
17	90,1	7,34	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	13	2		20,9	4,2		25,0	4,9	2,4	0,4	5,1	0,96	3,2	0,676	
18	90,1	7,32	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	14	2		22,4	4,2		26,5	4,9	2,4	0,4	5,4	1,02	3,2	0,715	
19	90,1	7,33	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	15	2		22,4	4,2		26,5	4,9	2,4	0,4	5,4	1,02	3,2	0,715	
20	85,3	7,32	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	16	2		23,8	4,2		28,0	4,9	2,4	0,4	5,7	1,07	3,2	0,764	
21	90,1	7,33	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	15	2		22,4	4,2		26,5	4,9	2,4	0,4	5,7	1,07	3,2	0,764	
22	85,7	7,34	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	16	2		23,8	4,2		28,0	4,9	2,4	0,4	5,4	1,02	3,2	0,715	
23	90,4	7,34	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	16	2		23,8	4,2		28,0	4,9	2,4	0,4	5,7	1,08	3,2	0,766	
24	90,4	7,33	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	16	2		23,8	4,2		28,0	4,9	2,4	0,4	5,7	1,07	3,2	0,755	
25	88,1	7,32	n	2,3	2,3	2,2	5,06	37	1	1	1	2	16	2		23,8	4,2		28,0	5,1	2,4	0,4	5,5	1,04	3,3	0,738	
26	88,1	7,33	n	2,3	2,3	2,2	5,06	38	1	1	1	2	16	2		23,8	4,2		28,0	5,2	2,4	0,4	5,4	1,01	3,3	0,726	
27	84,4	7,60	n	2,3	2,3	2,2	5,06	39	1	1	1	2	16	2		23,8	4,2		28,0	5,3	2,4	0,4	5,3	1,01	3,3	0,722	
28	88,1	7,62	n	2,3	2,3	2,2	5,06	39	1	1	1	2	16	2		23,8	4,2		28,0	5,3	2,4	0,4	5,6	1,06	3,3	0,762	
29	88,1	7,66	n	2,3	2,3	2,2	5,06	39	1	1	1	2	17	2		25,3	4,2		29,5	5,3	2,4	0,4	5,6	1,06	3,3	0,762	
30	88,1	7,65	S				5,06	39	1	1	1	2	17	2		25,3	4,2		29,5	5,3	2,4	0,4	5,6	1,06	3,3	0,762	
30B	80,0	7,65												1	4,7		2,1	2,8	4,9	5,3	2,4	0,4	0,9				

