

WILSON SIGUEMASA IRAMINA

DESMONTE DE ROCHA E CONTROLE AMBIENTAL

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo, para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia**

**São Paulo
1997**

FD-2018

DEDALUS - Acervo - EPBC



31200030122

Wilson Siguemasa Iramina

Desmonte de Rocha e Controle Ambiental

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia**

**Área de Concentração:
Engenharia Mineral**

**Orientador:
Prof. Dr. Sérgio Médici de Eston**

**São Paulo
1997**

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo por fomentar todo o estudo realizado.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Sérgio Médici de Eston pelo apoio e incentivo constantes e também pelos comentários e críticas sempre oportunos que permitiram o avanço do meu aprendizado.

Aos engenheiros e amigos Nilson Mar Bartalini e Eduardo César Sansone pelo apoio e incentivo.

À Maria Cristina Martinez Bonesio da Biblioteca de Engenharia de Minas e à Secretaria da EPUSP/PMI.

A todos que de alguma forma contribuíram para a elaboração deste trabalho.

DESMONTE DE ROCHA E CONTROLE AMBIENTAL

SUMÁRIO

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de abreviaturas e símbolos

Resumo

“abstract”

1. Introdução.....	1
1.1. Histórico	1
1.2. Evolução das técnicas de desmonte e dos explosivos.....	1
1.3. Objetivos da pesquisa.....	3
2. Revisão bibliográfica.....	5
3. Problemas ambientais associados ao desmonte de rocha por explosivos.....	11
3.1. Identificação dos principais problemas	12
3.2. Efeitos da vibração do terreno.....	12
3.3. Efeitos da sobrepressão atmosférica ou "air blast".....	15
3.4. Efeitos do ultra-lançamento.....	19
3.5. Efeitos da geração e lançamento de material particulado.....	22
3.6. Medidas de mitigação.....	26
4. Principais métodos de desmonte e componentes.....	31
4.1. Desmonte tradicional.....	31
4.2. O desenvolvimento de técnicas de desmonte tradicional: pré-fissuramento e desmonte cuidadoso.....	34
4.3. A técnica do "air-decking".....	43
4.4. O uso de acessórios como instrumento de controle da detonação.....	44
4.5. Explosivos permissíveis.....	46

5. Alguns métodos alternativos de fragmentação de rocha.....	51
5.1. Fragmentação mecânica de rocha.....	51
5.2. Máquinas de escavação de face cheia - "Tunnel Boring Machines ou TBM's".....	52
5.3. Máquinas de escavação com corte parcial de face - "Roadheaders".....	54
5.4. Desmonte de rocha por meio da queda de bolas de aço - "Drop ball".....	58
5.5. Desmonte de rocha por jato d'água sob alta pressão - "Waterjet".....	60
5.6. Fragmentação eletro-hidráulica via plasma - "Plasma blasting".....	63
5.7. Fragmentação termal induzida por jato de chama - "Flame jet thermal spallation".....	65
5.8. Método de fraturamento de rocha com o uso de material expansivo - "Cardox System".....	67
5.9. Técnica expansiva rápida sem detonação para matacões - "Boulder Buster".....	70
5.10. Uso de material expansivo para desmonte de rocha - "Fract.Ag".....	72
6. Alguns casos de desmontes monitorados no Brasil.....	75
6.1. Alagoas.....	75
6.2. Goiás.....	78
6.3. Minas Gerais.....	81
6.4. Paraíba.....	85
6.5. Paraná.....	87
6.6. Rio de Janeiro.....	88
6.7. Rio Grande do Sul.....	94
6.8. São Paulo.....	96
7. Desmontes monitorados devido à necessidade de controle ambiental.....	112
7.1. Situação atual e perspectivas.....	112
7.2. Conclusões.....	116

Referências bibliográficas

Bibliografia Consultada

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Esquema da distribuição dos problemas associados à detonação.....	12
Figura 3.2. Resposta humana subjetiva às vibrações decorrentes do desmonte por explosivos em gráfico log-log.....	15
Figura 3.3. Efeito das condições atmosféricas sobre a sobrepressão atmosférica.....	17
Figura 3.4. Alguns níveis de ruído a que as pessoas são submetidas.....	19
Figura 3.5. Causas do ultra-lançamento.....	22
Figura 3.6. Figura esquemática de medidas de mitigação adotadas pela SAMA.....	27
Figura 4.1. Efeito da fragmentação no custo de perfuração, carregamento e transporte.....	32
Figura 4.2. Esquema de um desmonte por explosivos e alguns termos utilizados.....	33
Figura 4.3. Desmonte tradicional com lançamento do material para a frente de bancada.....	33
Figura 4.4. Desenho esquemático (em corte e planta) de linhas de furos de pré-fissuramento detonadas antes do desmonte	36
Figura 4.5. Foto de uma parede acabada de pré-fissuramento.....	37
Figura 4.6. Esquema de um pré-fissuramento em paredes altas de uma mina de carvão, com as dimensões típicas, utilizando a técnica do “air-decking”.....	44
Figura 4.7. Corte esquematizado de um tubo de choque para iniciação não elétrica.....	46
Figura 5.1. Elevação (acima) e planta (abaixo) de uma máquina de corte integral.....	53
Figura 5.2. Componentes de uma máquina de corte integral.....	53
Figura 5.3. Máquina de corte parcial e o seu alcance.....	55
Figura 5.4. Esquema de máquinas de corte parcial perfurante (a) e escarificante (b).....	55
Figura 5.5. Rompedor hidráulico para fragmentação de maticos.....	57
Figura 5.6. Esquema de uso de rompedor hidráulico como máquina de corte de face parcial	58
Figura 5.7. Foto de uma operação de “drop ball” realizada em uma pedreira da Inglaterra.....	59
Figura 5.8. Máquina de corte para paredes longas (“longwall”) auxiliada por “waterjet” de modo a reduzir a poeira ou fração respirável.....	63
Figura 5.9. Desenho esquemático de um desmonte por plasma.....	65
Figura 5.10. Esquema de uma perfuração por jato de chama.....	66

Figura 5.11. Desenho esquemático de um tubo de Cardox.....	68
Figura 5.12. Seqüência de fragmentação de um bloco de rocha utilizando o método Cardox.....	70
Figura 5.13. Seqüência de desmonte por meio do "Boulder Buster".....	72
Figura 5.14. Seqüência de quebra de bloco por meio do Fract.AG.....	74
Figura 6.1. Valores medidos para velocidade resultante de partícula (V_r).....	76
Figura 6.2. Valores medidos de sobrepressão atmosférica.....	76
Figura 6.3. Figura da velocidade de partícula em função da distância à detonação.....	77
Figura 6.4. Valores medidos, para cada um dos geofones, de velocidade de partícula resultante para desmontes a céu aberto.....	78
Figura 6.5. Valores medidos, para cada um dos geofones, de velocidade de partícula resultante (V_r) para desmontes subaquáticos.....	79
Figura 6.6. Figura da velocidade de partícula resultante em função da distância da detonação para desmontes a céu aberto.....	79
Figura 6.7. Gráfico da velocidade de partícula em função da distância da detonação para desmontes subaquáticos.....	80
Figura 6.8. Distribuição dos valores monitorados ao longo do período.....	82
Figura 6.9. Distribuição da sobrepressão atmosférica ao longo do período.....	83
Figura 6.10. Gráfico da velocidade de partícula em função da distância à detonação.....	84
Figura 6.11. Distribuição dos valores medidos de vibração ao longo do período.....	85
Figura 6.12. Distribuição da sobrepressão atmosférica medida ao longo do período.....	86
Figura 6.13. Figura da velocidade de partícula em função da distância à detonação.....	86
Figura 6.14. Distribuição das velocidades de partícula resultantes (V_r) ao longo do período de monitoramento.....	87
Figura 6.15. Figura da velocidade de partícula resultante em função das distância às detonações.....	88
Figura 6.16. Valores medidos de velocidade de partícula resultante (V_r) por cada um dos três sensores para os dois eventos distintos.....	89
Figura 6.17. Valores medidos de sobrepressão atmosférica para os dois eventos.....	89

Figura 6.18. Figura da velocidade de partícula resultante de cada sensor em função das distância às detonações.....	90
Figura 6.19. Valores de velocidade de partícula resultante (V_r) medidos para cada sensor	91
Figura 6.20. Valores de sobrepressão atmosférica medidos para cada sensor.....	92
Figura 6.21. Valores de velocidade de partícula resultante (V_r) medidos para cada sensor	93
Figura 6.22. Valores de sobrepressão atmosférica medidos para cada sensor.....	94
Figura 6.23. Distribuição da velocidade de vibração de partícula resultante ao longo do período de monitoramento.....	95
Figura 6.24. Figura da distribuição da velocidade de partícula resultante (V_r) em função das distâncias às detonações.....	95
Figura 6.25. Distribuição das velocidades de partícula resultantes (V_r) ao longo do período de monitoramento.....	97
Figura 6.26. Distribuição das sobrepressões atmosféricas ao longo do período de monitoramento.....	98
Figura 6.27. Distribuição das velocidades de partícula resultante (V_r) de acordo com as faixas e as normas ABNT e CETESB.....	99
Figura 6.28. Distribuição das sobrepressões atmosféricas de acordo com as Normas ABNT e CETESB.....	99
Figura 6.29. Distribuição das velocidades de partícula resultantes (V_r) medidas ao longo do período de monitoramento.....	101
Figura 6.30. Distribuição das sobrepressões atmosféricas medidas ao longo do período de monitoramento.....	101
Figura 6.31. Valores de velocidade de vibração de partícula resultantes (V_r) medidos por cada sensor.....	102
Figura 6.32. Distribuição das velocidades de partícula ao longo do período de monitoramento.....	103
Figura 6.33. Distribuição das sobrepressões atmosféricas ao longo do período de monitoramento.....	104

Figura 6.34. Figura da distribuição das velocidades de partícula resultantes em função da distância.....	104
Figura 6.35. Valores de velocidade de partícula resultante (V_r) medidos para cada evento monitorado.....	106
Figura 6.36. Valores de sobrepressão atmosférica medidos para os eventos monitorados.....	106
Figura 6.37. Valores de velocidades de vibração de partícula resultante (V_r) medidos para os eventos monitorados.....	108
Figura 6.38. Valores de sobrepressão atmosférica medidos para os eventos monitorados.....	108
Figura 6.39. Distribuição das velocidades de vibração de partícula para os eventos monitorados.....	110
Figura 6.40. Distribuição das sobrepressões atmosféricas para os eventos monitorados.....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Níveis de vibração e efeitos associados.....	13
Tabela 3.2. Velocidades seguras de vibração de partícula (Vr) em função do tipo de estrutura.....	14
Tabela 3.3. Critérios de danos segundo alguns autores.....	14
Tabela 3.4. Volume de gás produzido por kg de explosivo.....	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A - afastamento

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANFO - nitrato de amônio misturado a óleo combustível

CO - monóxido de carbono

CO₂ - dióxido de carbono

D - diâmetro do furo perfurado

dB - decibel, medida de sobrepressão atmosférica

dB_L - decibel em escala de ponderação linear

E - espaçamento

EXEL - sistema de iniciação não-elétrica patenteada pela Explo - ICI

FeS - sulfeto ferroso

Fe₂S - Pirita

H - altura da bancada

H₂ - gás de hidrogênio

HSE - Health & Safety Executive

IMBEL - Indústria de Materiais Bélicos do Brasil

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

L_p - nível de pressão sonora

MPa - megapascal, ou seja, 10⁶ Pa

NA - nitrato de amônia

NH₃ - amônia

NO - monóxido de nitrogênio

NO₂ - dióxido de nitrogênio

NONEL - sistema de iniciação não-elétrica patenteada pela Nitro Nobel

Pa - Pascal, unidade de medida de pressão

SAMA - S.A. Mineração de Amianto

TBM - Tunnel Boring Machine

TNT - Tri-nitro-tolueno

USBM - United States Bureau Of Mines

VOD - Velocity Of Detonation - velocidade de detonação

V_p - Velocidade de vibração de partícula, também chamada de velocidade de partícula

V_r - Velocidade de vibração de partícula resultante ou velocidade de partícula resultante

RESUMO

Os métodos de desmonte de rocha têm apresentado um desenvolvimento contínuo nas últimas décadas, ajudando a aumentar a produtividade e a diminuir os custos. Ao mesmo tempo esta evolução técnica tem tido grande influência sobre os efeitos ambientais, ajudando a mitigar os problemas que envolvem poluição e incômodos à comunidade local. Alguns desses métodos já são regularmente aplicados no Brasil ao passo que outros nunca o foram.

A implementação de novas tecnologias no Brasil está quase sempre associado com um melhor controle ambiental e a maioria dos casos críticos envolvem pedreiras em áreas urbanas, construção do metrô, abertura de túneis e implosões de construções civis.

A implementação destas novas tecnologias tem sido acompanhada pelo monitoramento das detonações através de sismógrafos de engenharia, o que possibilita uma solução parcial dos conflitos entre mineração e comunidade e gerando novas normas.

O desmonte de rocha caminha para uma solução conjugada entre eficiência e o controle ambiental, onde as técnicas de desmonte devem apresentar características ambientais positivas associadas ao monitoramento sismográfico de modo a obedecer às normas regulamentadoras.

ABSTRACT

Rock mass excavation techniques have undergone a continuous improvement in the last decades, helping to increase productivity and to lower costs. At the same time this evolution had a great influence on environmental control, helping to mitigate problems involving local communities and pollution. Some of these technologies have already been regularly used in Brazil but others never were used up to now.

The implementation of new techniques in Brazil has almost always been associated with a better environmental control and the most critical cases refer to quarries in urban areas, subway construction, tunnel for roadway traffic and civil construction implosions.

Besides, there is a systematic monitoring of urban quarries with engineering seismographs which have made possible at least partial solution of community conflicts, and gave origin to new regulations..

The developement of rock mass excavation techniques aims solutions which involve technical efficiency and environmental control, being in compliance with the legal standarts.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. HISTÓRICO

Os explosivos têm influenciado a vida cotidiana das pessoas que utilizam produtos que de algum modo requerem o uso do desmonte de rochas. Como por exemplo, a eletricidade que provém da queima do carvão, onde houve a necessidade de desmontar o carvão por meio de explosivos, ou então produtos à base de aço que, para serem fabricados, necessitam de minério de ferro desmontado em bancadas.

O desmonte de rocha vem sendo executado desde que o homem aprendeu a manusear ferramentas, tendo como objetivo suprir suas necessidades. Com o passar do tempo novas técnicas foram sendo desenvolvidas para aumentar a eficiência dos desmontes, sendo que o uso de explosivos pode ser considerado o primeiro grande marco divisório na história dos desmontes de rocha.

Antigamente as minerações normalmente se localizavam longe das concentrações urbanas mas com o passar dos anos tornou-se necessário ocupar novos espaços, gerando a necessidade de uma convivência mútua e diária entre o homem da cidade e a mineração. O crescimento dos centros urbanos em volta das minerações fez com que novos problemas surgissem, como por exemplo, o controle ambiental da propagação indesejada de vibrações do terreno, da sobrepressão atmosférica, de ultra-lançamentos e também a dispersão de material particulado, criando assim novas "dificuldades" para o desmonte de rochas.

Com o aumento das medidas restritivas de poluição ambiental, houve a necessidade de um maior conhecimento sobre os mecanismos que atuam no desmonte de rochas, abrindo-se portas para o desenvolvimento de novas técnicas não convencionais ou alternativas e também para o aperfeiçoamento do desmonte tradicional (com o uso de explosivos), devido à preocupação com a perda de competitividade no mercado.

1.2. EVOLUÇÃO DAS TÉCNICAS DE DESMONTE E DOS EXPLOSIVOS

A utilização da pólvora foi sem dúvida o passo fundamental para o desenvolvimento de quase uma centena de produtos, que hoje em dia são conhecidos como explosivos. A evolução dos explosivos se desenvolveu ao longo dos anos incluindo uma série de utilizações tais como:

- uso pirotécnico;
- uso como propelentes de projéteis e armamentos em geral;
- utilização para fins bélicos específicos.

A partir do uso para fins bélicos é que se inicia o desenvolvimento propriamente dito dos explosivos comerciais, podendo-se citar como eventos mais relevantes:

- 1847: descoberta da nitroglicerina, que apresentava um poder de explosão muitas vezes superior ao da pólvora. Isto criou problemas de segurança e serviu como um fator limitante ao seu uso pelas indústrias;
- 1863: evolução da nitroglicerina para a dinamite feita pelo químico Alfred Nobel, que difundiu o seu uso pelas indústrias;
- descoberta do TNT - Tri-nitro-tolueno, um explosivo bastante potente e mais seguro que a nitroglicerina;
- uso da nitrocelulose;
- gelatinização da nitroglicerina e de outros produtos;
- 1923: uso do Nitrato de Amônio como explosivo;
- uso do ANFO (mistura de nitrato de amônio + óleo diesel) como explosivo;
- utilização das lamas explosivas - "slurry", em 1958;
- adição de certos pós metálicos que em determinadas soluções aumentavam o poder explosivo

A técnica tradicional de desmonte com explosivos começou a ser utilizada no início do século XVII, e ocorreu simultaneamente ao início do desenvolvimento dos explosivos.

Estas técnicas se desenvolveram bastante nos últimos anos, passando de uma não muito complexa operação de caráter manual, onde experiência, habilidade individual e intuição eram suficientes, para uma ciência em que os conceitos fundamentais podem ser ensinados aos estudantes, engenheiros e trabalhadores.

A introdução de novos equipamentos aliados às novas técnicas de desmonte permitiram que o desmonte se tornasse uma ciência dinâmica com aprimoramentos que estenderam seu uso as outras áreas de engenharia. Atualmente as pesquisas no campo dos explosivos se orientam também ao controle ambiental e a segurança no trabalho, criando-se métodos alternativos e técnicas diversas.

Os desmontes tradicionais utilizando explosivos podem ser classificados da seguinte forma:

- desmontes em bancadas a céu aberto;
- desmontes confinados em trincheiras ou valas através de detonações controladas;
- desmontes para abertura de vias subterrâneas;
- desmontes secundários de matacões;
- desmonte de estruturas civis (implosões);
- desmontes subaquáticos;
- desmontes especiais (limpezas de altos fornos, etc.).

Novos métodos surgiram e (continuam surgindo) como alternativas que sejam mais viáveis economicamente ou que proporcionem maior segurança ou ainda que provoquem menores efeitos ao meio ambiente.

Na expressão meio ambiente estão englobados o meio interno à mina (tanto a céu aberto ou em subsolo), e o meio externo circundante. Algumas destas técnicas alternativas (não

convencionais), não são ainda comercialmente competitivas, mas tendem a sê-lo em alguns anos, podendo-se citar:

- desmorte por uso de jatos d'água sob alta pressão - "high pressure water jet blasting".
- desmorte com uso de plasma - "plasma blasting".
- fraturamento com jato de chama - "flame jet induced thermal spallation".

Por outro lado existem métodos não convencionais desenvolvidos relativamente há pouco tempo que já são comercialmente viáveis. São eles:

- desmorte de rochas utilizando a queda de esferas de aço - "drop ball blasting";
- métodos com extração contínua para rochas brandas ("roadheader", "tunnel boring machines", etc.);
- método de fraturamento de rocha com o uso de material expansivo - "cardox system" ;
- técnica expansiva rápida sem detonação para matacões - "boulder buster".

Mesmo dentro do desmorte tradicional novos acessórios têm permitido sensíveis avanços técnicos e o exemplo típico é a substituição do cordel detonante pelo Nonel ou Brinel, o que em muito diminui os efeitos sonoros das detonações.

1.3. OBJETIVOS DA PESQUISA

Um projeto de desmorte de rochas envolve a definição econômica de cargas explosivas, sua distribuição geométrica, o cronograma temporal de deflagração, a definição de acessórios e tipo de utilização de cada um. Um projeto tecnicamente correto é aquele que maximiza a utilização da energia de detonação, canalizando-a para a fragmentação adequada da rocha (incluída aqui a localização da pilha desmontada). Todavia sempre uma parcela da energia explosiva produz efeitos indesejáveis como vibrações de terreno, sobrepressão atmosférica (tanto na faixa audível como na não audível), ultra-lançamentos e emissão de material particulado e gases.

Em termos de segurança e higiene do trabalho os maiores problemas em subsolo estão associados aos gases de detonação, e este efeito é controlado com detonações bem feitas (combustão completa) e com apropriada ventilação geral diluidora. Técnicas de extração contínua minimizam estes problemas. Para o caso específico de minas com metano foram criados os explosivos permissíveis.

A céu aberto os maiores problemas ambientais estão associados à segurança estrutural de edificações vizinhas, que podem ser casas, indústrias, barragens, etc. No aspecto de incômodo à população os principais problemas estão associados aos ruídos, vibração e poeiras.

Esta pesquisa teve como objetivo realizar um estudo das diversas técnicas de desmorte, fazendo uma análise dos métodos tradicionais de desmorte e a evolução da tecnologia empregada ao longo dos anos com vistas à preocupação com o controle ambiental. Procurar-se-á fazer uma análise comparativa com os métodos alternativos de desmorte de rochas e se analisará a viabilidade de aplicação destes métodos sob o ponto de vista técnico ambiental. Através deste estudo

comparativo poderá ser obtido um quadro das tendências mundiais atuais e das perspectivas tecnológicas para o Brasil.

No nosso país a grande maioria dos desmontes ainda é executada por meio do uso de explosivos e salvo algumas exceções ainda não há uma preocupação geral das empresas com o controle ambiental associado ao desmonte. Todavia as empresas de mineração devem e estão adquirindo uma mentalidade ambientalista, principalmente aquelas com minerações dentro de áreas urbanas que requerem os chamados desmontes controlados ou cuidadosos ("smooth blastings") e monitoramentos sismográficos das detonações.

Portanto nesta pesquisa se estudaria:

- a. métodos alternativos de desmonte;
- b. técnicas de desmonte tradicional que diminuam os efeitos ambientais indesejáveis;
- c. algumas ações que mitiguem os efeitos ambientais e que não estejam incluídas no planejamento dos planos de fogo (tais como barreiras sonoras).

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a pesquisa bibliográfica partiu-se de um tema abrangente, ou seja o desmorte de rocha para depois enfocá-lo sob o aspecto do tema da dissertação, que trata dos **métodos de desmorte de rochas e a sua influência sobre o meio ambiente.**

Uma grande parte dos trabalhos pesquisados sobre os métodos de desmorte e a sua evolução se concentra na década de 80 e 90 e portanto estes poderiam estar mais balizados de uma razoável preocupação ambiental. No entanto, nem sempre o fator ambiental recebe um tratamento diferenciado, com os autores discorrendo sobre experimentos em determinados lugares e os aspectos relevantes à sua viabilidade, não atribuindo, algumas vezes, um valor de destaque à questão ambiental.

Quanto às características relevantes dos explosivos ALMEIDA (1992) fez uma descrição completa dos aspectos físico-químicos dos explosivos e da termodinâmica envolvidos no processo de detonação dos explosivos.

Alguns dos efeitos do desmorte por explosivos são abordados por DOWN e STOCKS (1978) em capítulos específicos. Para a vibração o autor discorre sobre a sua natureza, o seu monitoramento, a previsão dos níveis de vibração, os efeitos da vibração e os critérios de danos e padrões adotados. Para a sobreprensão atmosférica o mesmo autor faz uma breve introdução do que vem a ser um "air blast", a sua previsão, os efeitos e as medidas de mitigação a serem adotadas. No entanto não faz nenhum comentário a respeito do ultra-lançamento ("flyrock") e da geração e lançamento de poeira na atmosfera. Estes são os quatro aspectos ambientais fundamentais relacionados ao desmorte de rocha por explosivos. Trata-se também de uma publicação antiga, que no entanto, contém aspectos e considerações muito relevantes a alguns dos efeitos do desmorte de rocha por explosivos.

OLOFSSON (1990) também faz uma abordagem específica para a vibração e sobrepressão atmosférica muito semelhante a DOWN e STOCKS (1978), sendo que o diferencial é o tratamento teórico mais apurado dispensado para a vibração e sobrepressão. O autor divide as ondas sísmicas em ondas de superfície e ondas de volume analisando os parâmetros relacionados a elas. Explica também o funcionamento do sistema de um sismógrafo e os parâmetros relacionados a ele,

mostrando os fatores que afetam a vibração e como eles podem ser controlados. Cita também os padrões adotados por diversos autores, alguns deles diferentes dos adotados por DOWN e STOCKS (1978). O mesmo ocorre com a sobrepressão atmosférica que recebe um tratamento teórico mais aprimorado, mostrando os critérios de danos e padrões adotados por alguns autores. Por ser uma publicação mais recente do que a dos autores citados acima possui algumas considerações mais atuais.

O ultra-lançamento é discutido por KONYA (1995) e por FLETCHER e D'ANDREA (1990) sendo que estes últimos fazem uma descrição bem consistente, dando uma introdução precisa do que vem a ser um ultra-lançamento.

BERGER et al. (1993) fazem uma discussão sobre as preocupações ambientais associadas ao desenho, desenvolvimento e operação de uma mineração ou pedreira. Divide estas preocupações em seis categorias: qualidade do solo; qualidade do ar; qualidade e uso da água; preocupações com o desmonte de rocha; ruído e relação com a comunidade e gerenciamento ambiental contínuo. No item desmonte de rocha os autores discorrem sobre os aspectos ambientais e de ordem sociológica envolvidos no processo de desmonte de rocha por explosivos. Dando relevância a três dos quatro aspectos ambientais mais importantes (vibração, sobrepressão e ultra-lançamento). O quarto aspecto relacionado a problemas ambientais, a geração de poeiras, é citado no item qualidade do ar.

ORGANISCAK (1989), por sua vez, relata um estudo interessante, ainda que não diretamente relacionado ao desmonte de rocha por explosivos, comparando a geração de material particulado respirável durante o emprego de dois métodos distintos de escavação de rocha em minas de carvão. São estes os métodos: *a mineração contínua e a mineração convencional*.

SISKIND e CRUM (1993) realizaram uma pesquisa para o USBM na qual se estudou sete casas próximas a Evansville, no estado de Indiana, onde segundo os moradores, os danos encontrados nas casas eram atribuídos aos desmontes de rochas nas minas de carvão a céu aberto. É um estudo interessante que lida com as percepções de pessoas "leigas" que interpretam as situações de forma diferenciada e subjetiva como o fizeram NICHOLLS et al (1971), que apresentaram em seu trabalho para o USBM, um gráfico da resposta humana subjetiva à vibração e que é utilizado até hoje, com algumas variações, por vários autores.

CRUM et al (1995) realizaram também um estudo para o USBM, tendo como base as mesmas características do trabalho citado no parágrafo anterior. Trata-se, no entanto, de um trabalho mais extensivo, onde 5 (cinco) casas, no estado da Pennsylvania, foram monitorados num período aproximado de um ano e meio, quando foram realizados 106 detonações que resultaram em 206 eventos captados nas casas, sendo um estudo em conjunto com a Universidade Villanova com gráficos, resultados, tabelas e tratamentos estatísticos, relacionados à velocidade de vibração de partícula e sobrepressão atmosférica. Novamente, como em diversos trabalhos relacionados ao desmonte de rocha, não há maiores informações relativas à geração de material particulado e gases.

A ausência de uma referência à geração de material particulado em diversos artigos pode ser explicada, em parte, pelo fato destes estudos terem sido conduzidos na superfície e alguns autores como BERGER et al. (1993) consideram a geração deste material como sendo emissões de poeiras fugitivas e que podem ser agrupadas, quanto ao seu controle, juntamente com o material dispersado pelas estradas e equipamentos.

No item efeitos do desmonte de rocha por explosivos, ROSENTHAL e MORLOCK (1987) descrevem com bastante clareza o que vem a ser um “dano” causado pela detonação de um desmonte por explosivos. Dividem ainda o dano em: danos causados pela sobrepressão atmosférica; danos causados por ultra-lançamento de fragmentos e danos causados pela movimentação do terreno (vibração). Outro capítulo interessante é a abordagem que se faz para a subjetividade da tolerância humana para a vibração do terreno e para a sobrepressão atmosférica, citado também pela GOLDER ASSOCIATES, s.d.

O controle e recuperação ambiental de uma mina é tratado por ALMEIDA (1992). Apesar de se tratar de um controle especificamente feito para uma mineração de amianto, a abordagem do autor, ainda que de forma sintetizada, dos problemas mais comuns decorrentes deste tipo de empreendimento serve perfeitamente para caracterizar de uma maneira geral os problemas ambientais de uma mineração, trazendo um fluxograma didático dos efeitos de uma detonação e esquematizando algumas das medidas de mitigação aplicáveis.

A preocupação ambiental às vezes entra de forma não muito visível como no caso da utilização de acessórios como o Nonel (IMBEL / NITRO NOBEL, 1992) e também no uso de explosivos permissíveis (ALMEIDA, 1992) que estão mais preocupados com a questão da segurança dos

trabalhadores, e que, no entanto, podem influenciar indiretamente nos riscos ambientais como a diminuição de ruído e menor quantidade de gases tóxicos.

Dois dos métodos tradicionais de desmonte por explosivos foram bem descritos por FORSTER e MCGOFF (1993): o pré-fissuramento e o desmonte cuidadoso com a descrição dos aspectos técnicos e operacionais (ambientais) que limitam a sua performance. MOXON et al (1993) e CHIRONIS (1990) descrevem a técnica do "air decking" como forma de otimização do desmonte da rocha, onde por meio da diminuição da quantidade de explosivos pode-se diminuir a probabilidade de ocorrência de efeitos ambientais adversos, principalmente o ultra-lançamento.

Quanto aos métodos alternativos de desmonte de rocha há alguns artigos que citam a técnica de "water-jet" e que foram publicados pelo U.S. Bureau of Mines (USBM). Pode-se citar autores como TAYLOR e FURNO (1989) e KOVSCEK et al (1988). Estes, no entanto, abordam a técnica para aplicações mais específicas. CICCU e MAZURKIEWICZ (1993), fizeram um estudo sobre a aplicabilidade desta técnica em mineração de carvão e lavra de rochas ornamentais.

SILVA (1994) afirma que o desmonte secundário de rocha com explosivos "estaria com os dias contados" em função de uma série de fatores de ordem operacional, econômica e ambiental. Parece ser uma afirmação um tanto forte, pelo menos para o Brasil, onde através de monitoramentos sismográficos executados pelo LACASEMIN pôde-se observar que os desmontes secundários de rochas com explosivos estão longe de desaparecer por uma série de razões como a falta de uma fiscalização mais rigorosa para os limites de vibração e ruído, desconhecimento de novas técnicas e despreparo econômico e operacional para a implantação de novas técnicas. No artigo citado por ele há uma breve descrição dos métodos alternativos utilizados para desmonte secundário entre os quais cita o "drop ball" e o "plasma blasting" entre os métodos mais viáveis. O primeiro foi descrito em um artigo da revista Rock Products (UNATTACHED DROP BALLS BREAKS OVERSIZE, 1991) enquanto que o plasma blasting ou desmonte eletro-hidráulico foi abordado em diversos artigos por KITZINGER et al (1992) e NANTEL e KITZINGER (1992).

SUMMERS (1986) discorre sobre o estado da arte na fragmentação mecânica de rocha, fazendo um resumo da evolução do desmonte executado por equipamentos como os "TBMs", "roadheaders" e "waterjet". Para os fins desta dissertação, esta breve descrição pode ser considerada com sendo

suficiente, com as informações dos dois primeiros equipamentos sendo completados por HENNIES e AYRES DA SILVA (1995).

Catálogos específicos para o "Cardox System" (LONG - AIRDOX, 1995), o "Boulder Buster" (BLAST with Boulder Buster, 1995 e BOART SCS, s.d.) e o "Fract.Ag" (CHIMICA EDILE ARTIGIANA, s.d.). apregoam as inúmeras vantagens de ordem operacional, econômica e ambiental destes sistemas que no entanto não puderam ser confirmadas através de artigo isentos com apreciações favoráveis ou não a respeito destas duas técnicas.

Não se encontrou publicações do USBM com análises dos métodos alternativos de desmonte como a aplicação de plasma, a fragmentação termal induzida por jato de chama e o desmonte por queda de esfera de aço. O estudo do desmonte por jato de chama foi o mais difícil, uma vez que a descrição (muito resumida) deste método foi encontrada em apenas um artigo (WILKINSON ; TESTER, 1993) e que pode ser considerado, na opinião do pesquisador, o item mais fraco desta dissertação.

Para a análise de viabilidade de aplicação de novos métodos de desmonte de rocha no Brasil, partiu-se da experiência e dos Relatórios Técnicos do LACASEMIN (RELATÓRIOS LACASEMIN, 1992 a 1996), o que no momento atual tem indicado uma tendência na manutenção, ao menos nos locais visitados, dos desmontes tradicionais por explosivos com melhorias nos acessórios e dispositivos de detonação assim como o uso de novos produtos ou misturas explosivas para garantir maior segurança e confiabilidade quanto aos resultados da fragmentação e ambientais.

Ainda no aspecto de tendências para o desmonte de rocha, RUKAVINA (1989) cita a evolução dos sistemas de detonação, descrevendo sistemas de iniciação, acessórios e equipamentos de monitoramento sismográfico e outros dispositivos que garantem uma melhoria na segurança e aumento de confiabilidade nos uso de explosivos. Um monitoramento eficiente das detonações pode fornecer dados para um melhor planejamento do desmonte quanto aos fatores ambientais.

Um levantamento do consumo anual de explosivos consumidos anualmente nos Estados Unidos feito pelo USBM (ESTADOS UNIDOS, 1993 e 1994) forneceu também dados importantes a respeito da evolução (acréscimo ou decréscimo) no consumo dos vários tipos de explosivos.

Pôde-se observar, até este momento, que a maioria dos artigos e trabalhos são de autores estrangeiros, que trazem informações bastante interessantes a respeito dos experimentos

conduzidos e do tratamento estatístico adequado dado aos valores obtidos. Isto, no entanto, não foi observado nos (poucos) trabalhos (encontrados por este pesquisador) de autores brasileiros que abordaram o tema.

CAPÍTULO 3**PROBLEMAS AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO DESMONTE DE ROCHA POR EXPLOSIVOS****3.1. IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS PROBLEMAS AMBIENTAIS**

Os principais problemas ambientais decorrentes da detonação segundo ALMEIDA (1992) são:

- emissão de gases tóxicos (monóxido de carbono e gases nitrosos, entre outros) e partículas sólidas na atmosfera, podendo comprometer a qualidade do ar;
- emissão e propagação de ondas sísmicas transientes (de pequena duração, com frequência e amplitude variadas) através dos maciços de solo e rocha, ocasionando vibrações de suas partículas. As vibrações podem ocasionar danos materiais, como trincas e fraturas em edificações, e incômodos ao ser humano;
- emissão e propagação de energia pela atmosfera, provocando deslocamento do ar (sobrepessão) ocasionando ruídos e mesmo vibrações em faixas de frequência não-audíveis, com a possibilidade de provocar danos materiais e incômodos ao ser humano;
- ultra-lançamento de fragmentos rochosos de dimensões, em geral, centimétricas (lançamento excepcional além dos limites da área prevista pelas normas de segurança), que podem provocar danos materiais no caso de atingirem construções ou máquinas, e mesmo acidentes com vítimas;
- indução de escorregamento para o interior das cavas e taludes, podendo ocasionar acidentes com trabalhadores e/ou prejudicar o andamento da atividade.

A figura 3.1 mostra um esquema didático relacionando estes problemas:

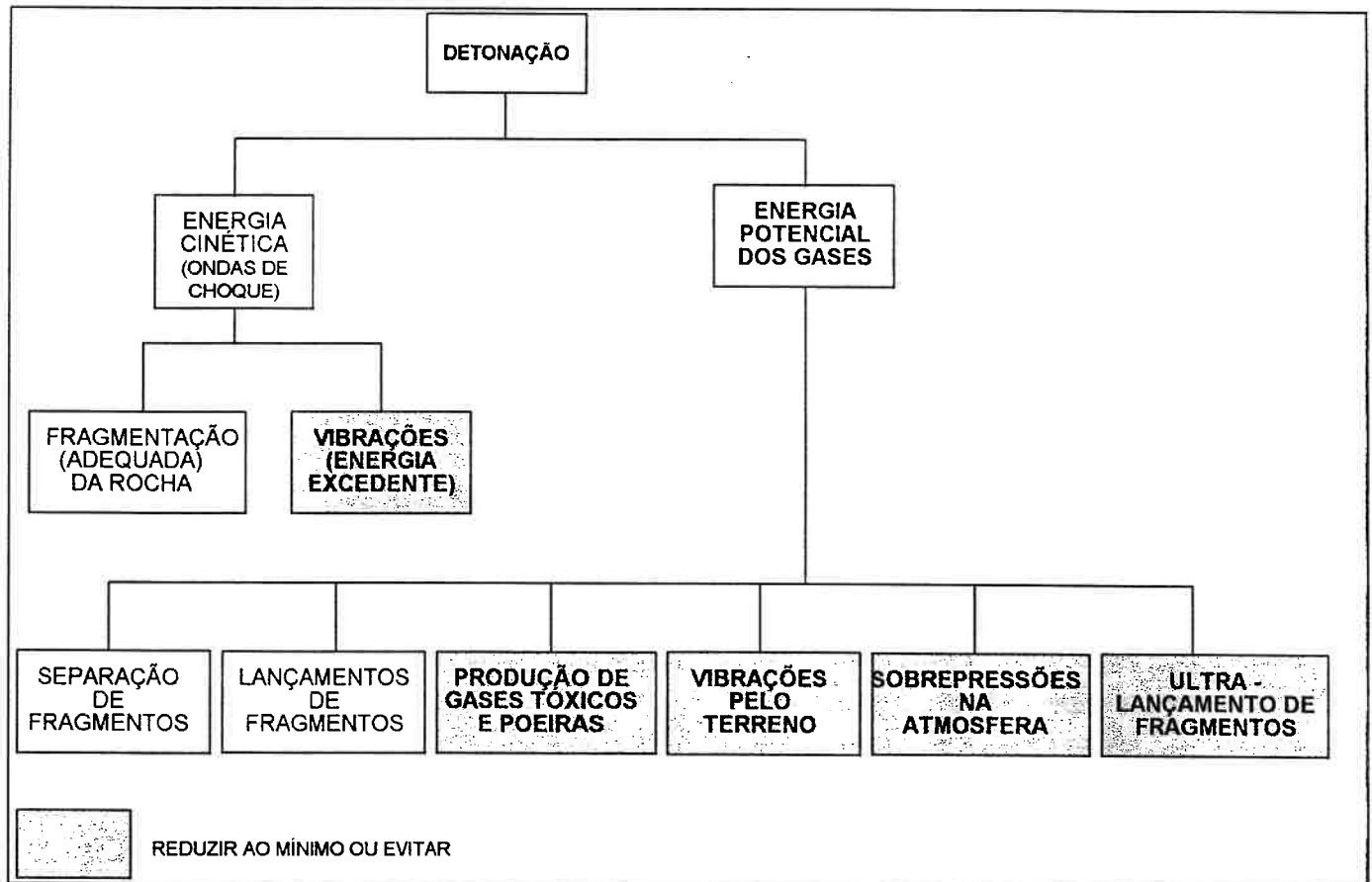


Figura 3.1. Esquema da distribuição dos problemas associados à detonação (ALMEIDA, 1992).

3.2. EFEITOS DA VIBRAÇÃO DO TERRENO

3.2.1. Danos estruturais

A reclamação mais comum da população a respeito de uma detonação é a probabilidade de dano a um edifício. Com o aumento da severidade da vibração decorrente da detonação, existe uma seqüência na qual geralmente o dano ocorre, que é a seguinte (DOWN; STOCKS, 1978):

- 1 - pó saindo das rachaduras;
- 2 - aumento na extensão das rachaduras;
- 3 - a formação de novas rachaduras;
- 4 - deslocamento e formação de esfoliações;
- 5 - grandes áreas de deslocamentos;
- 6 - fissuras em estruturas de alvenaria e pequenos deslocamentos;
- 7 - danos maiores e mais severos, e, por último, o colapso do edifício.

Existe uma preponderância maior de relatos de reclamações concernentes às categorias 1 a 4.

3.2.2. Alguns critérios de danos estruturais e alguns limites adotados

Na literatura pode-se encontrar limites admissíveis de velocidade de vibração de partícula e de sobrepressão atmosférica relacionados aos danos estruturais para:

- a. maciços rochosos;
- b. edificações civis;
- c. atividades industriais.

Encontram-se também limites admissíveis de sobrepressão atmosférica associados ao desconforto humano.

Velocidade de vibração de partícula e danos estruturais

As tabelas a seguir apresentam valores de velocidade de partícula e feitos que podem ser ocasionados ou observados.

Tabela 3.1. Níveis de vibração e efeitos associados. O nível de vibração é caracterizado pelo parâmetro velocidade de vibração de partícula, expresso pelo seu vetor resultante V_r em mm/s (Franklin e Dussault, 1989, citados no RELATÓRIO LACASEMIN MI/587-19/93, 1993).

Velocidade de vibração de partícula V_r (mm/s)	Efeitos observáveis
600	geração de novas descontinuidades na própria rocha
300	quedas de blocos de rocha em galerias e túneis sem revestimento
190	queda de reboco e formação de trincas em prédios
140	criação de pequenas novas trincas e abertura de antigas trincas
100	limite "seguro" para túneis revestidos e para concreto reforçado
50	limite "seguro" para prédios residenciais de bom estado (construção e manutenção)
30	severa percepção humana
10	incômodo para grande parte da população
5	incômodo para parte da população, algumas reclamações
1	vibrações apenas perceptíveis
<1	praticamente imperceptível na maioria dos casos

Tabela 3.2. Velocidades seguras de vibração de partícula (V_r) em função do tipo de estrutura (CHAE, 1978, citado no RELATÓRIO LACASEMIN MI/587-19/93, 1993).

Velocidade V_r (mm/s)	Tipo de estrutura
100	Classe A: grandes estruturas com reforço
50	Classe B: edificações novas, bem construídas e em bom estado
25	Classe C: edificações não novas e com conservação sofrível
13	Classe D: edificações antigas e em péssimo estado de conservação

Tabela 3.3. Critérios de danos segundo alguns autores.

Autor	Velocidade V_r (mm/s)	Efeitos
Langefors et al. (1957)	71	dano não perceptível
	109	pequenas trincas e queda leve de reboco
	160	fraturas em reboco e em paredes de alvenaria
	231	sério fraturamento
Edwards et al. (1959)	$V_r < 51$	seguro, sem dano
	$51 < V_r < 102$	cuidado, precaução
	$V_r < 102$	dano
Nicholls et al. (1971)	≤ 51	nenhum dano
	$51 < V_r \leq 102$	pequenas trincas em reboco, argamassa ou estuque
	$102 \leq V_r < 178$	pequenos danos
	≥ 178	grandes danos a estruturas

A norma brasileira

A nível federal a norma brasileira é a da ABNT (NBR-9653), denominada de "Minerações em áreas urbanas com o uso de explosivos: redução de riscos". Ela preconiza o valor máximo de 15 mm/s para a velocidade de vibração de partícula e o valor máximo de 134 dB para a sobrepressão atmosférica.

3.2.3. Resposta humana para vibração decorrente da detonação de explosivos

A figura 3.2.3 mostra os resultados de um trabalho citado pela Golder Associates, 1996, baseado em trabalho experimental do USBM no qual foram conduzidos testes usando-se vibrações mecânicas senoidais de frequências diferentes e velocidades de vibração de partícula em testes humanos. Uma vez que a frequência das detonações utilizadas nos desmontes situa-se numa faixa média de 10 a 30 Hz, estes dados podem ser utilizados para se determinar o efeito da distância escalar em função da velocidade de vibração de partícula decorrente de uma detonação sobre as

limitações de certas reações humanas. Isto pode ser visto na figura 3.2, onde pode se ver que as vibrações de um desmonte tornam-se intoleráveis para os humanos em níveis apreciavelmente abaixo dos níveis relacionados a danos estruturais. O resultado mostra que as reclamações ocorrem freqüentemente devido à resposta humana e não devido às situações que possam oferecer perigo, sendo que nestes casos a redução do limite de velocidade de vibração de partícula para se controlar a situação é uma boa filosofia, particularmente se tal mudança não produzir dificuldades operacionais. Limites de velocidade de vibração de partícula (V_p) de menores ou iguais a 12,7 mm/s (0,5 pol/s) reduzem as reclamações por um fator de três comparado com um limite de 50,8 mm/s. Segundo o USBM, a porcentagem de pessoas que reclamam sobre vibrações decorrentes de detonações em um local de construção era superior a 30% para Velocidades de vibração de 50,8 mm/s, de 10% para 12,7 mm/s e 1% para 2 mm/s que está no limiar da faixa de percepção humana. Em alguns momentos a resposta humana pode se tornar o elemento principal a se considerado em um plano de fogo. (DU PONT DO CANADÁ, 1979).

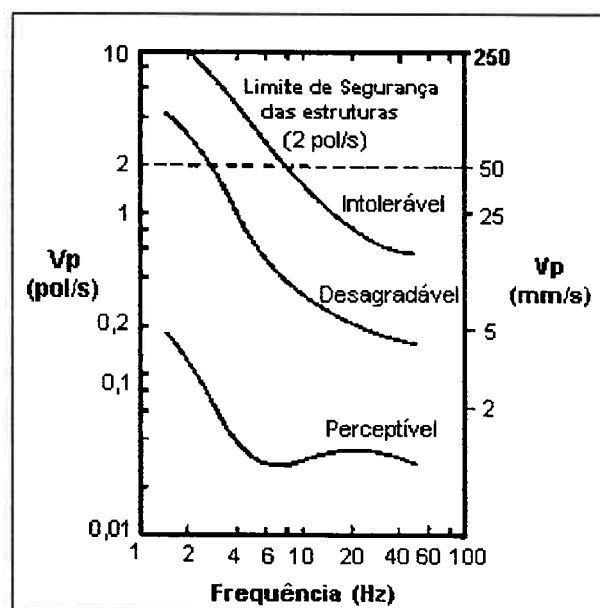


Figura 3.2. Resposta humana subjetiva às vibrações decorrentes do desmonte por explosivos em gráfico log-log (GOLDER ASSOCIATES, s.d., adaptado do USBM)

3.3. EFEITOS DA SOBREPRESSÃO ATMOSFÉRICA OU "AIR BLAST"

O "air blast" ou sopro de ar consiste de uma onda de concussão inicial que dura poucos milissegundos aumentando rapidamente para um pico e caindo mais lentamente, seguido por uma

rarefação de longa duração porém com pouca mudança na pressão. Como o dano é relacionado com a onda de concussão, normalmente se caracteriza o "air blast" pelo pico de sobrepressão criado.

3.3.1. Causas da sobrepressão atmosférica

As causas primárias de uma sobrepressão atmosférica ou sopro de ar podem ser resumidas em:

- O pulso de pressão do ar: causado pelo deslocamento direto da rocha da face livre ou da boca do furo;
- O pulso de pressão da rocha: causado pela vibração do terreno;
- O pulso da liberação de gás: causado pelo escape de gás da detonação pelas fissuras na rocha fraturada;
- O pulso da liberação do tamponamento: causado pelo escape de gás através do tamponamento mal feito.

Outra causa comum da sobrepressão é a detonação de cordel detonante sem a cobertura apropriada de material inerte e o desmonte secundário ("fogacho").

Os principais fatores que governam os efeitos do air blast são :

- a) o tipo e a quantidade de explosivo;
- b) o grau de confinamento;
- c) o método de iniciação;
- d) a geologia local e a topografia;
- e) a distância e a condição das estruturas;
- f) as condições atmosféricas.

Os fatores (a), (b) e (c) são variáveis que dependem do controle do operador da mina enquanto que os fatores (d), (e) e (f) são na sua essência incontroláveis em qualquer tipo de localidade, embora por meio da variação do tempo de espera e observações das condições climáticas o operador possa parcialmente diminuir a influência das condições atmosféricas.

A propagação da onda de pressão depende das condições atmosféricas, incluindo-se a temperatura, os ventos e a relação pressão barométrica-altitude. Coberturas de nuvens também podem causar a reflexão da onda de pressão de volta para a superfície a uma certa distância do local

de detonação. A Figura 3.3 dá uma indicação de como a propagação da onda de choque é afetada pela variação da temperatura com a altitude. Por isso é que os problemas de sobrepressão atmosférica podem ser mais severos durante as inversões térmicas.

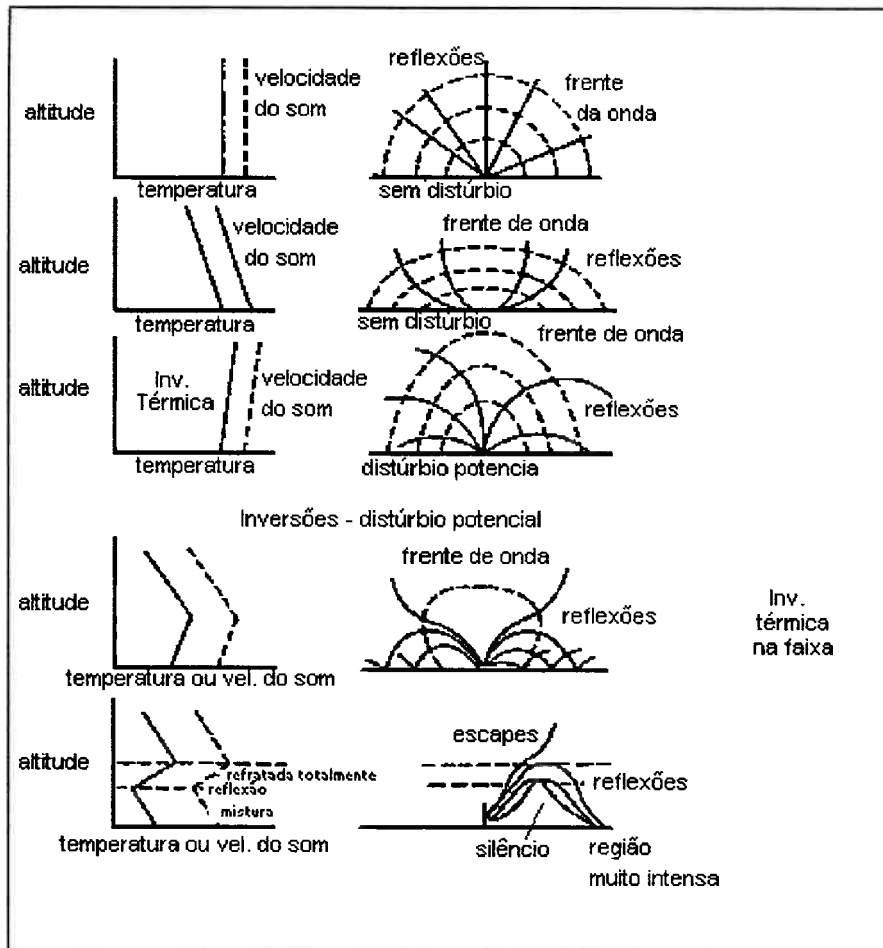


Figura 3.3. Efeito das condições atmosféricas sobre a sobrepressão atmosférica (Golder Associates, 1996)

Normalmente, o objetivo em uma detonação de uma mina é utilizar a energia do explosivo para realizar trabalho útil e, portanto, a energia escapando na forma de sobrepressão representa ineficiência da detonação. É difícil derivar uma fórmula para se prever a sobrepressão a uma dada distância de uma explosão, uma vez que a energia disponível para a depende em parte do plano de fogo. Todavia já existem no mercado programas computacionais que fornecem estimativas do ruído no ambiente mineiro (RIDER; BURKS, 1993).

3.3.2. Danos decorrentes da sobrepressão atmosférica.

Segundo ROSENTHAL e MORLOCK (1987) há consenso geral entre os especialistas em vibração, órgãos governamentais regulatórios e consultores, de que o primeiro efeito de dano decorrente da sobrepressão atmosférica se dá sob a forma de vidros de janelas quebradas. Janelas grandes e com grande área envidraçada, frentes envidraçadas de lojas, etc. estão mais propensos aos danos do que vidraças de janelas pequenas. Vidraças mal colocadas, pré-tensionadas ou soltas estão mais propensas a quebrar do que vidraças bem colocadas e que não estejam tensionadas. Danos estruturais como o fissuramento de rebocos devido à sobrepressão atmosférica são muito raros, sendo que quando estes ocorrem estão sempre acompanhados da quebra de janelas.

Sobrepressões causam freqüentemente preocupação, aborrecimento e, logicamente, reclamações. Segundo estes mesmos autores quase todos os dados relativos a danos estruturais extensos devidos às sobrepressões atmosféricas são derivados ou de eventos nucleares, ou de acidentes calamitosos como o desastre de Texas City, onde uma carga inteira de nitrato de amônio foi detonada a bordo de um navio em decorrência de um incêndio.

Danos menores como trincas e rachaduras podem ocorrer em conjunção com a quebra extensiva dos vidros da janela. Uma pesquisa do mesmo autor demonstrou que um dano ocasional para uma placa de vidro, que é mais sensível a danos do que um reboco, pode ocorrer a aproximadamente 141 dBL (224 Pa). Uma quebra de uma janela de tamanho normal pode ocorrer ocasionalmente a 151 dBL como pode ser visto na figura 3.4.

Segundo os mesmos autores o estudo a respeito dos incômodos decorrentes de detonação são subjetivos, não existindo nenhum "número" que possa quantificar estes incômodos. Os danos imaginários decorrentes da sobrepressão atmosférica devido à natureza altamente perceptível do seu efeito sonoro são extremamente comuns. Considerando o aborrecimento provocado pelo estrondo da detonação, pode-se dizer que se a sobrepressão puder ser mantida a 120 dB ou abaixo, então as reclamações serão mínimas.

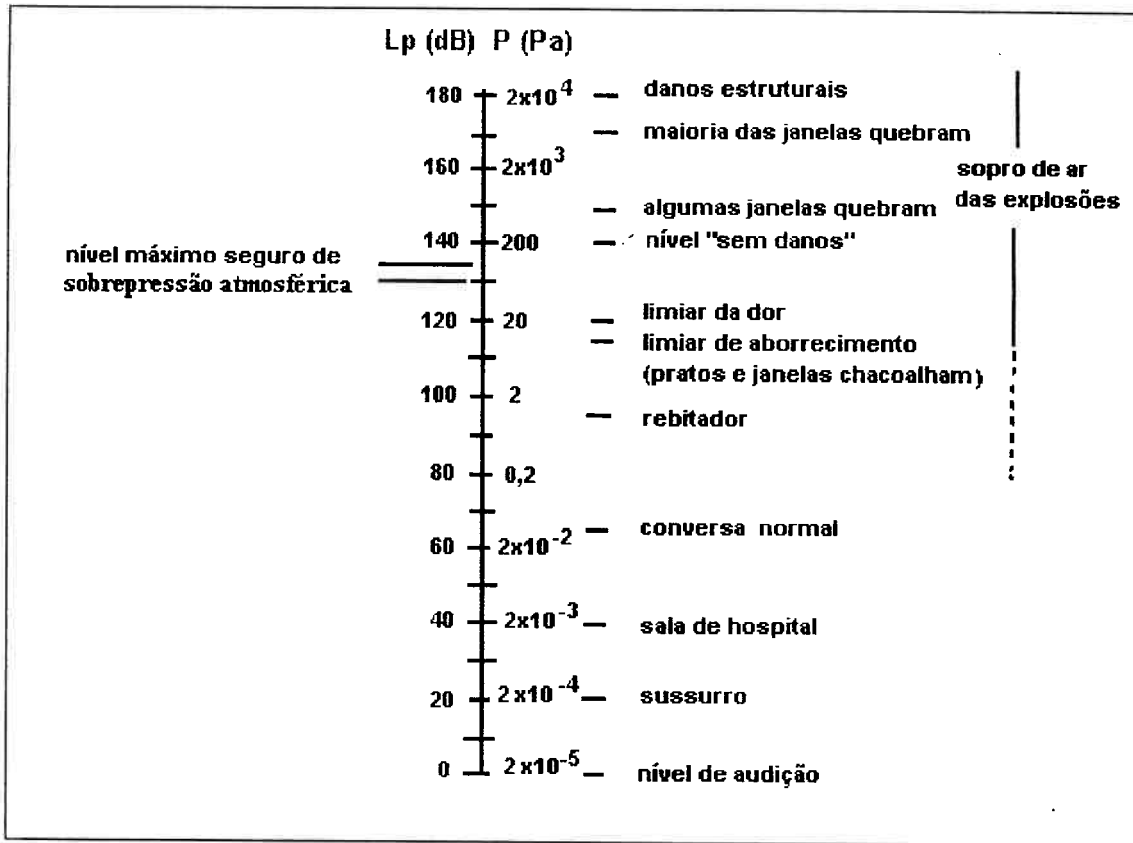


Figura 3.4. Alguns níveis de ruído a que as pessoas são submetidas segundo o USBM (GOLDER ASSOCIATES, s.d.)

3.4. OS EFEITOS DO ULTRA-LANÇAMENTO

O ultra-lançamento consiste de um fragmento de rocha lançada ao ar durante uma detonação (FLETCHER; D'ANDREA, 1990). Todas as detonações geram algum tipo de lançamento, cujas distâncias variam de alguns metros até centenas ou mesmo mais de 1 km. Em uma mina a céu aberto há uma faixa onde deve haver necessariamente um deslocamento da rocha propelida, uma faixa normal de escape e uma área segura para a detonação. Quando um fragmento ultrapassa a área segura para a detonação considera-se que houve um ultra-lançamento. Os ultra-lançamentos são a maior causa de danos a equipamentos de mineração.

3.4.1. Danos decorrentes do ultra-lançamento

ROSENTHAL e MORLOCK (1987) afirmam que os danos decorrentes do ultra-lançamento são mais óbvios ou visíveis do que os outros danos. Como foi discutido por diversos autores, o ultra-lançamento geralmente não se torna assunto para argumentação. O ultra-lançamento é um dos efeitos decorrentes da detonação onde os danos menores e cosméticos não estão em discussão. A

evidência mais comum de um dano de ultra-lançamento é um furo no telhado ou um fragmento de rocha no piso da casa. “Probabilidades”, ou graus de danos estão fora de questão: se um fragmento decorrente de ultra-lançamento de qualquer tamanho significativo atingir uma estrutura, ele deverá causar um dano localizado sério.

O ultra-lançamento pode causar danos sérios como o lançamento de blocos sobre fios suspensos, principalmente de eletricidade mas também de telefonia. Pode também ser objeto de preocupação em locais próximos às instalações de antenas de microondas, estações retransmissoras e outras antenas de comunicação e TV.

Os danos “imaginários” decorrentes do ultra-lançamento não ocorrem da mesma forma que os danos “imaginários” decorrentes da vibração ou sobrepressão. No entanto, no caso de quebra dos vidros protetores dos veículos pode ser mais difícil para se diferenciar a causa: uma chuva de fragmentos ou sobrepressão. Esta é uma razão pela qual o tráfego de veículos deve ser estritamente controlado dentro da área permitida, e o porquê do ultra-lançamento ser estritamente controlado fora da área permitida.

O efeito mais sério do ultra-lançamento é sem dúvida o fato de que ele, por si só, e a despeito dos outros efeitos adversos de uma detonação para o desmonte, pode não apenas causar lesões ou danos sérios às pessoas, mas também morte. Casos fatais tem sido reportados no Brasil, e um dos casos conhecidos foi o acidente ocorrido na cidade de São Vicente. A vibração do terreno não afeta a vida ou a parte corporal do ser humano com tal intensidade; e também não o faz, sob circunstâncias normais, a sobrepressão atmosférica. O ultra-lançamento sim, e esta possibilidade deve estar sempre presente na mente das pessoas responsáveis pelo desmonte. Ele é o único efeito adverso de um desmonte de rocha a céu aberto pelo qual o responsável pela operação de desmonte (o engenheiro de minas) sempre deve ser responsabilizado, uma vez que ele deve levar sempre em consideração todos parâmetros e possibilidades de uma detonação e nunca negligenciar qualquer possibilidade de lançamento.

3.4.2. As causas do ultra-lançamento

A1. Geologia e condições da rocha

Geologia e condições da rocha podem favorecer o ultra-lançamento. As características geológicas da rocha como juntas naturais, fraturas no plano de acamamento (xistosidade), regiões preenchidas com material de baixa competência e existência de cavidades podem resultar em ultra-lançamentos. Preenchimentos e fraturas são planos de fraqueza através do qual os gases explosivos podem fluir rapidamente e acelerar a fragmentação da rocha. As cavidades podem ser acidentalmente preenchidos por explosivos, superando a quantidade de carregamento e resultando em grandes distâncias de lançamento. Outros fatores são o encontro dos furos com minas subterrâneas e a ultra-quebra ("overbreak" e o "backbreak") que podem causar planos de fraqueza perigosos.

A2. Desenho do plano de fogo

Ultra-lançamentos podem ocorrer se o desenho do plano de fogo não for feito de forma apropriada. Qualquer característica do plano de fogo que resulte num confinamento insuficiente do explosivo ou na rápida fuga dos gases explosivos pode criar um problema. Erros no plano de fogo como uma razão de carregamento muito alta, um tampão pequeno, falhas no tamponamento, seqüências de retardos ou retardos impróprios podem resultar no ultra lançamento.

A3. Falta de checagem dos parâmetros do plano de fogo

Infelizmente a falta de atenção é a principal causa do ultra-lançamento. O descuido com qualquer parte do plano de fogo (dimensionamento, carregamento ou iniciação) pode provocar uma situação crítica. O carregamento de explosivos próximo ao topo do furo é também uma causa bastante comum do ultra-lançamento.

A figura 3.5 apresenta uma série de desenhos que mostram alguma das causas do ultra-lançamento.

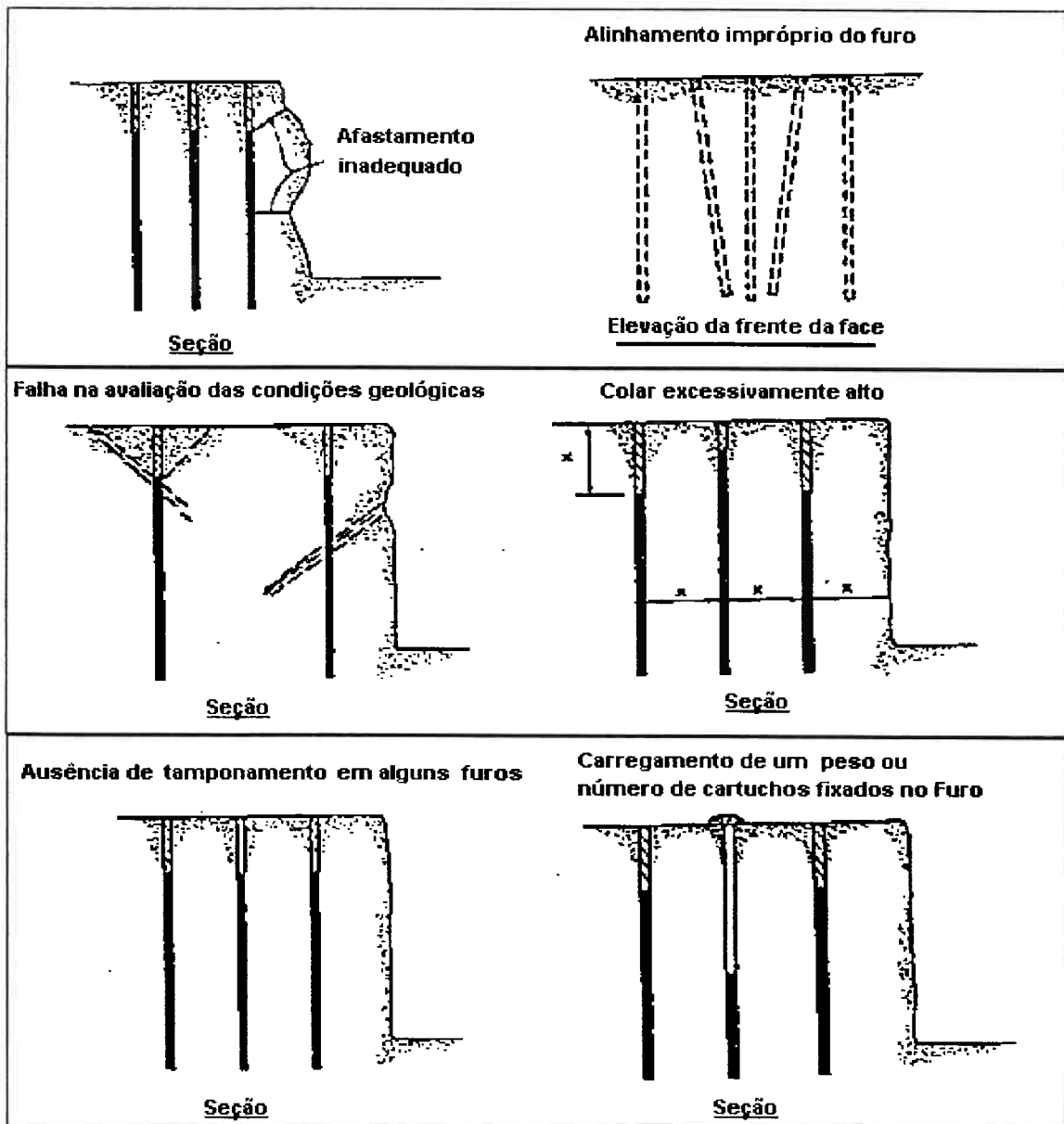


Figura 3.5. Causas do ultra-lançamento (GOLDER ASSOCIATES, s.d.)

3.5. EFEITOS DA GERAÇÃO DE GASES E MATERIAL PARTICULADO

Neste item procurou-se dividir os efeitos do material particulado (frações respiráveis de poeira, gases, fumos, etc) para ambientes abertos (mineração a céu aberto) e fechados (mineração subterrânea).

3.5.1. Ambientes abertos.

A geração de material particulado em operações de superfície (pedreiras e minas), devido a uma série de fatores como ventos e umidade não oferece riscos muito grandes se tomadas as devidas precauções. No entanto, há uma exceção: a mineração de amianto, onde todos os cuidados

possíveis e especiais devem ser tomados para o máximo controle da qualidade do ar respirado, principalmente para os trabalhadores da mina.

Alguns autores consideram o material particulado oriundo da detonação de explosivos como sendo *emissões de poeira fugitiva* e esta pode ser agrupada, quanto ao seu controle, com o material particulado gerado pelas vias de transporte e pilhas de estocagem.

No entanto, podem ocorrer alguns efeitos adversos relacionados a uma detonação na superfície (não necessariamente no exato momento da detonação) principalmente para as pessoas envolvidas na operação. Estes efeitos podem ocorrer antes, no momento do carregamento, onde certas pessoas podem sentir tonturas, dores de cabeça, náuseas e ardor na vista e nas vias respiratórias em função do manuseio de certos produtos explosivos; e também imediatamente após a detonação, onde muitas vezes o cabo-de-fogo e/ou seus encarregados se aproximam da pilha de material desmontado para verificar o resultado do desmonte antes que os gases, fumos e poeiras produzidos pela explosão não tenham se dissipado e atingido concentrações aceitáveis. Todavia a intensidade destes efeitos vai variar em função do grau de sensibilidade de cada pessoa.

3.5.2. Ambientes fechados

A. Gases gerados pela detonação de explosivos

O volume de gases produzido por explosivos varia de acordo com as condições de uso, a dureza da rocha, a quantidade de água existente nos furos e de outros fatores. Sob condições ótimas em rochas resistentes os volumes típicos dos principais gases produzidos pelos diversos tipos de explosivos em uso são indicados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Volume de gás produzido por kg de explosivo (m^3 , $0^\circ C$ e 101 kPa) (GREIG, 1989).

TIPO DE EXPLOSIVO	Gases			
	CO	NO & NO ₂	CO ₂	NH ₃
Dinamites amoniacaais	0,03	0,004	0,06	0,003
gelatinas amoniacaais	0,05	0,006	0,07	0,003
ANFO	0,03	0,007	0,05	0,009
Dynagel	0,03	0,005	0,07	0,003
Explosivos à base de "water gel"	0,009	0,002	0,05	-----

O monóxido de nitrogênio (NO) é o principal óxido de nitrogênio encontrado nos fumos gerados pela detonação, e este é lentamente oxidado para dióxido de nitrogênio pelo oxigênio presente no ar. No entanto, a taxa de oxidação é tão lenta, para níveis de baixa concentração e temperaturas encontradas tipicamente nos fumos gerados, que menos de 50 % do total de óxidos estarão presentes depois de um período de duas horas. Neste momento os fumos são geralmente retirados por exaustão da mina. É possível remover os óxidos de nitrogênio de fumos de detonação por meio de filtros de fumos mas o monóxido de carbono permanece e uma diluição suficiente com ar fresco deve ser providenciado para que a sua concentração esteja abaixo dos níveis preconizados pela legislação vigente na mineração.

Onde o ANFO é utilizado em substituição aos explosivos encartuchados, o carregamento do explosivo nos furos pode resultar em bolsões localizados de nitrato de amônio, óleo combustível e poeira de carvão. Esta mistura pode irritar a pele uma vez que o nitrato de amônio tem uma forte afinidade com a água. O óleo combustível normalmente recobre as partículas de nitrato de amônio por completo mas novas superfícies descobertas podem aparecer quando os minerais são fraturados. A quantidade de vapor de hidrocarboneto que sai juntamente com o ar no carregamento de ANFO nos furos é baixa, uma vez que a proporção no explosivo é menor do que 6 % e também devido ao uso de óleo combustível com pressão de vapor muito baixa. No entanto, parte do gás de amônia pode ser encontrada no ar de ventilação. As concentrações típicas de amônia no ar que retorna das frentes de lavra em minas de ouro variam de 0,2 a 1,5 ppm. Estes são valores médios para o turno todo e a fonte deste gás de amônia parece ser o uso de explosivos. O nitrato de amônio é muito solúvel em água, mas ainda assim haverá liberação de gás de amônia em quantidade considerável se o pH da água for igual ou maior a 6 e se a água for aerada. Pode-se, portanto, esperar que a amônia seja liberada em algum momento durante uma detonação parcial de explosivos ou quando a água recirculada da mina é utilizada para a perfuração, preenchimento dos furos, etc. O limite máximo para exposição contínua ao gás de amônia para um turno é de 25 ppm, o que indica que os níveis encontrados nas minerações subterrâneas podem ser consideradas como relativamente baixos.

O ANFO é frequentemente utilizado como agente de detonação em minas basicamente metálicas onde os minerais são principalmente sulfetos presentes em altas concentrações. Em temperaturas elevadas o ANFO reage exotermicamente com os minerais de sulfeto e a temperatura a

qual a reação exotérmica se torna auto-sustentável é abaixada na presença de produtos de oxidação ácida de minerais sulfetados. Por exemplo, no caso da pirita (Fe_2S), o ANFO reage exotermicamente com o material e a reação se torna auto-sustentável a uma temperatura de 110°C . Se 2, 5 % do sulfeto ferroso (FeS) estiver presente com a pirita, esta temperatura crítica é reduzida de 110°C para 80°C . Se 5% de uréia estiver incorporado ao explosivo, então os efeitos nocivos do sulfeto ferroso podem ser considerados importantes.

B. Geração de poeira respirável

O USBM conduziu entre 1988 e 1989 uma investigação sobre a quantidade de pó e quartzo respiráveis gerados durante a escavação de rochas em duas minas de carvão que eram mineradas por métodos contínuos e convencionais (ORGANISCAK, 1989). Entende-se por método contínuo como uma única operação que substitui as operações cíclicas de corte ("undercutting"), perfuração da face, carga de explosivos, detonação e carregamento do mineral e/ou rocha. Estas são operações características de uma mineração dita convencional.

Segundo o estudo, a mineração contínua gerou maior quantidade de pó e quartzo respiráveis, produzindo de 1 a 3 vezes mais poeira respirável, e 7 a 15 vezes mais quartzo respirável do que a mineração convencional. Esta diferença foi atribuída aos diversos tipos de métodos de extração. O minerador contínuo promove uma "moagem" ou fragmentação maior do carvão e da rocha produzindo assim maior quantidade de finos. O desmonte por explosivos (método convencional) fragmenta o carvão e a rocha em tamanhos maiores e produz menos finos e pós. Portanto do ponto de vista de geração de particulados este método de extração é o mais eficiente. Estes resultados confirmam experiências anteriores que mostraram que a eficiência dos equipamentos rotativos de corte diminuía quando estes cortavam rocha mais resistentes, ao passo que agentes químicos (explosivos) proporcionavam meios melhores de se escavar materiais (rochas) mais resistentes.

Apesar destas conclusões, o estudo não sugere que todas as minas devam utilizar o método convencional para se controlar o pó. Ele diz apenas que a mineração convencional produziu menos pó nas duas minas estudadas. A exposição dos mineiros ao pó em seções de operação contínua podem ser efetivamente controladas através da implantação de tecnologia de controle de pó. Embora a mineração convencional produza menor quantidade de poeira, a negligência de tecnologia básica de controle de poeira (ventilação, aspersão) pode expor os seus trabalhadores a níveis de poeira

maiores do que os preconizados pela legislação, uma vez que estes níveis de poeira são cumulativos dentro da múltiplas faces de operações.

3.6. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

O carregamento com explosivos deve seguir um conjunto de normas adotado pela empresa para manuseio seguro de produtos desta natureza.

Os efeitos decorrentes da detonação geralmente têm sua origem ligada ao plano de fogo: seu dimensionamento e a distribuição das cargas explosivas. Neste sentido, deve-se buscar o desempenho ótimo através da adoção de técnicas fundamentadas em:

- fatores econômicos; questões de custo, para a obtenção de fragmentação em conformidade com as demais operações da lavra (perfuração, carregamento transporte e britagem);
- fatores ambientais: questões relacionadas à minimização dos problemas ambientais identificados.

Para o dimensionamento do plano de fogo visando evitar excessos de energia na forma de emissão de gases, propagação de vibrações, sobrepressão atmosférica e ultra-lançamentos de fragmentos, deve-se conhecer:

- as propriedades fundamentais do explosivo (velocidade de detonação, força, formação de gases, sensibilidade, etc.);
- as características da rocha (fraturamento, densidade e presença de água, entre outras).

Um exemplo de medidas de mitigação e também de controle dos efeitos adversos pode ser observado na figura a seguir e que foi adotado pela SAMA, que possui uma mina de amianto em Goiás.

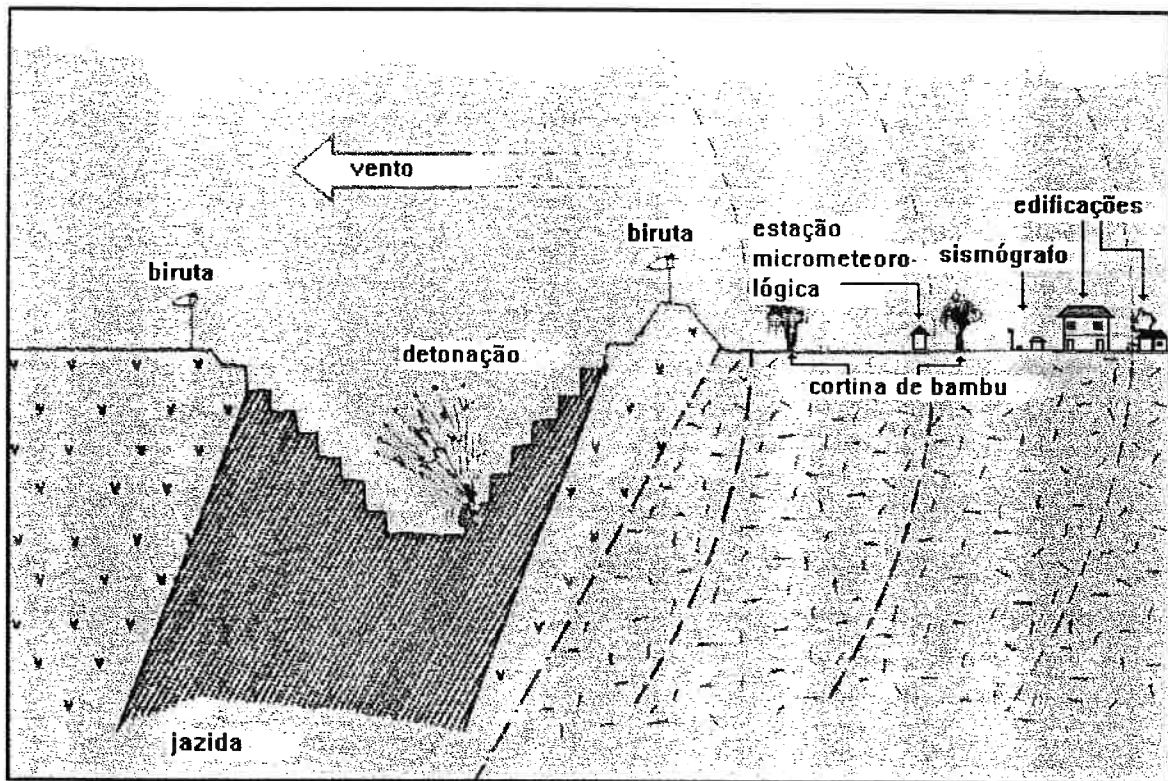


Figura 3.6. Figura esquemática de medidas de mitigação adotadas pela SAMA (ALMEIDA, 1992)

3.6.1. Controle da vibração

A magnitude das vibrações decorrentes do desmonte em um determinado local depende da distância em relação ao desmonte e da carga máxima por espera (em massa). Há também fatores do plano de fogo que devem ser considerados. Destes, o mais importante é o uso de retardos e a seqüência correta de detonação para assegurar que cada furo, ou linha de furos, faça o lançamento na direção de pelo menos uma face livre.

Para-se controlar os níveis de vibração a uma determinada distância, é necessário limitar a carga de explosivos detonada por retardo, chamada de carga máxima por espera. Isto pode ser feito por meio de uma relação denominada de "levantamento de equação carga-distância", onde se monitora cerca de 10 ou mais pontos para uma mesma detonação, com todos os locais de captação alinhados. Isto permite a obtenção de pontos num gráfico que por ajuste de curva originam uma equação relacionando carga máxima por espera, distância ao ponto de detonação e velocidade de vibração de partícula. Com esta expressão pode-se estimar as cargas que deverão gerar um dado nível de vibração a uma dada distância, ou estimar o nível de vibração conhecendo-se as cargas e a

distância. Se a carga em um furo é maior do que o permitido, então, ou furos menos profundos devem ser perfurados ou uma carga menor deve ser usada. Em uma carga dividida, o explosivo carregado é separado em duas metades por algum tipo de material ou espaçador e cada carga é detonada em retardos separados. O intervalo de retardo entre as cargas ou os furos de modo a assegurar que não exista interferência da vibração produzida por uma carga em outra deve ser no mínimo de aproximadamente 15 a 20 ms.

Outra medida bastante eficiente é passar um comunicado à população vizinha avisando-a dos dias e horários programados para as detonações e seguir à risca este cronograma. Se ela for avisada antecipadamente as reclamações tendem a diminuir.

3.6.2. O controle da sobrepressão atmosférica

São dois os problemas decorrentes de uma detonação: a sobrepressão atmosférica e o ruído. A sobrepressão atmosférica ou sopro de ar, que ocorre próxima à área de detonação de explosivos, como já foi discutido, pode causar danos estruturais como a quebra de vidros das janelas de edificações próximas. O ruído, que é a parte audível da sobrepressão atmosférica pode causar incômodo e dá motivos para reclamações daqueles que vivem próximos à propriedade da mina/pedreira.

Alguns dos procedimentos adotados para o controle da sobrepressão atmosférica e/ou ruído já fazem parte dos procedimentos para controle da vibração. Basicamente são procedimentos do tipo:

- evitar a detonação de explosivos que não estejam confinados;
- evitar o excesso de carga, prevendo ou procurando cavidades e vazios por onde os explosivos possam penetrar e aumentar a razão de carregamento do furo;
- uso de um tamponamento adequado;
- uso de um sistema de retardamento (do tipo furo a furo) para evitar sobreposição de sobrepressão atmosférica;
- cobrir a rede de conexão feita pelos cordéis detonantes com material inerte como pedriscos e areia;
- otimizar a fragmentação do desmonte primário, através de técnicas adequadas, para se evitar o desmonte secundário por explosivos, o chamado "fogacho", que resulta em uma

- série (chegando a dezenas ou mesmo centena) de detonações menores, sendo uma das principais fontes de reclamação por parte da população vizinha;
- passar um comunicado à população avisando-a dos dias e horários programados para as detonações. Isto pode evitar os sustos e diminuir as reclamações;
 - deixar as janelas abertas (de edifícios localizados muito próximos) para diminuir a área envidraçada exposta à onda de choque;
 - evitar detonações quando as condições climáticas estiverem adversas (inversões, tempo nublado, ventos com direção favorável, etc.);
 - uso de coberturas vegetais ao redor da mina/pedreira para o amortecimento da onda sonora, ou em casos extremos, barreiras sonoras mais sofisticadas.

3.6.3 O controle do ultra-lançamento

O controle do ultra-lançamento começa com um desenho apropriado do plano de fogo. Um carregamento adequado de explosivos deve ser utilizado, uma vez que um pequeno carregamento resulta em pouca energia explosiva, ao passo que uma carga maior resulta na formação de crateras e/ou estouro da boca de furo (tampão). A altura da bancada, a carga e o tamponamento devem ser dimensionados de tal forma que o movimento da rocha detonada seja horizontal e para frente e não para cima. São práticas comuns aos outros tipos de controle como vibração e sobrepressão atmosférica.

Na prática, o controle total do ultra-lançamento é difícil, mesmo se o desmonte for projetado com as dimensões recomendadas de tamponamento e afastamento. Portanto, em áreas onde há uma possibilidade de dano a estruturas, medidas de proteção devem ser tomadas para o controle de ultra-lançamento. Estas proteções consistem de pneus amarrados ou malhas de tiras de correias transportadoras ou mesmo telas de aço ou lonas, que em condições extremas, devem ser cobertos por terra, ou então ancorados ao leito de rocha.

3.6.4. O controle da geração de material particulado

O controle para a geração de material particulado deve ser feito de modo que a poeira da detonação não atinja a população vizinha. Isso pode ser feito através de coberturas vegetais ao redor da cava e também molhando-se as bancadas antes da sua detonação. Basicamente a intensidade e a necessidade deste controle vai depender das condições climáticas como vento e umidade.

No caso da mineração subterrânea, o controle deve ser mais rigoroso e exige o uso de equipamentos específicos para dissipar os gases gerados pela detonação, aspersão de água sobre a face desmontada e monitoramento das concentrações dos gases presentes. A vazão mínima de ar fresco nas frentes de lavra é um parâmetro básico para o sistema de ventilação.

CAPÍTULO 4

PRINCIPAIS MÉTODOS DE DESMONTE E COMPONENTES

4.1. DESMONTE TRADICIONAL

No início dos trabalhos em uma mina nova ou em uma área nova de uma mina existente, é necessário desenvolver um ou mais planos de fogo iniciais de desmontes de produção. Nesta situação, alguns métodos empíricos, resultantes de muitos anos de experiência prática, devem ser usados para desenvolver estes planos. Se uma avaliação detalhada das propriedades do maciço rochoso é realizada, o método de modelagem pode ser usado para avaliar a adequabilidade dos planos desenvolvidos e a possibilidade de indicação de uma alternativa melhor.

Os planos de fogo iniciais devem ser progressivamente melhorados até eles estarem otimizados. Planos de fogo ótimos são um pré-requisito para minimização dos custos de uma mineração e para um melhor controle sobre os efeitos ambientais adversos. Estes planos ótimos ajudam na obtenção da fragmentação desejada, na liberação do material desmontado em pilhas, no perfil da pilha de fragmentos, nas condições do pé da bancada e no controle da inclinação. Estes planos devem ajudar:

- (a) a minimizar a probabilidade de ultra-lançamentos, e
- (b) diminuir a energia canalizada para o maciço e atmosfera.

Os custos de escavação de rocha com o uso de explosivos é mostrada na Figura 4.1. A produção de uma boa fragmentação e de uma pilha adequada de material facilitam as operações de carregamento e transporte. Esta condição refere-se ao ponto mínimo do custo total apresentado no gráfico. Entretanto, para se concluir as faces finais, os custos de perfuração e de desmonte deverão aumentar pois serão necessários furos mais próximos e carregados com maior cuidado. Para se conseguir resultados ótimos em ambas as condições, e para um maior controle sobre os efeitos adversos, é necessário um completo conhecimento dos seguintes parâmetros:

- altura da bancada
- natureza da face livre
- propriedades da rocha a ser desmontada
- tipo de explosivo

- diâmetro do furo
- inclinação do furo
- carga efetiva
- espaçamento efetivo
- subfuração efetiva
- afastamento efetivo
- tamponamento
- seqüência de iniciação das cargas explosivas
- retardo entre furos sucessivos /ou linhas de furos

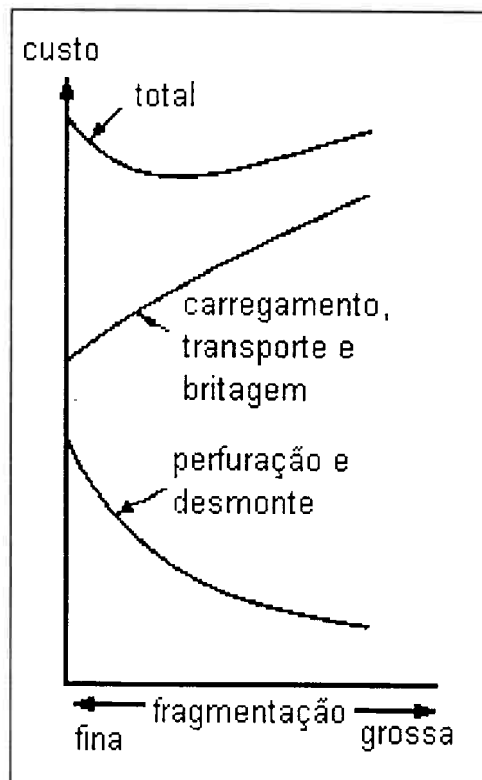


Figura 4.1. Efeito da fragmentação no custo de perfuração, carregamento e transporte (Hoek & Bray, 1977 mostrado em GOLDER ASSOCIATES, s.d.)

A figura 4.2 ilustra a terminologia utilizada para um desmonte típico em bancadas. A figura 4.3 mostra a detonação de uma bancada.

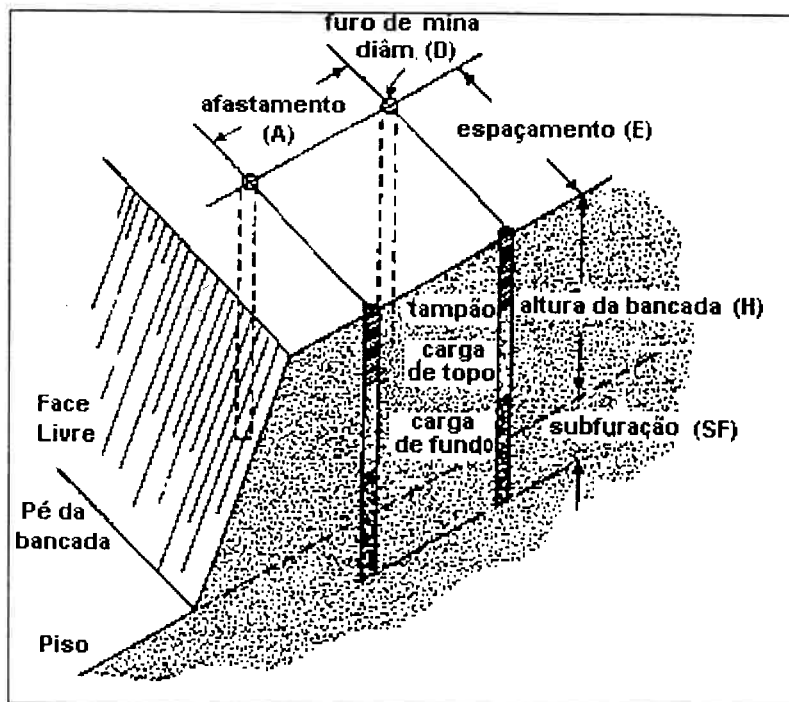


Figura 4.2. Esquema de um desmonte por explosivos e alguns termos utilizados (GOLDER ASSOCIATES, s.d.)



Figura 4.3. Desmonte tradicional com lançamento do material para a frente de bancada (GOLDER ASSOCIATES, s.d.)

4.2. O DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICAS DE DESMONTE TRADICIONAL: PRÉ-FISSURAMENTO E DESMONTE CUIDADOSO

A escavação de rocha tem sido uma necessidade em toda a história da engenharia civil e de minas. Para se remover qualquer rocha necessita-se de um método que cause um mínimo de distúrbio à face da rocha que irá permanecer exposta após o término da escavação.

Com o advento dos explosivos, seguiu-se um período em que devido à uma falta de tecnologia apropriada, esta necessidade de escavação em rocha não foi suprida totalmente. No entanto, foi apenas uma questão de tempo até o surgimento da técnica de desmonte de perímetro e que atualmente é um método aceito para o desenvolvimento de taludes em rocha para estradas de ferro, rodovias, barragens e muitas outras obras civis e mineiras. O **pré-fissuramento ("presplitting")** e o **desmonte cuidadoso ("smooth blasting")** são duas das técnicas de desmonte de perímetro normalmente utilizadas e como existem vários elementos essenciais comuns, poderiam até mesmo ser analisados conjuntamente.

O objetivo principal destas técnicas é desenvolver um perfil de desenho que seja inerentemente estável e que portanto, necessite de pouca ou nenhuma manutenção. O uso destas técnicas se torna atrativo tanto pelo aspecto técnico como pelo financeiro, mas para a sua utilização deve-se levar em conta também a natureza do meio, para se evitar erros dispendiosos.

4.2.1. Pré-fissuramento

Definição

Segundo FORSTER e McGOFF (1993) o **pré-fissuramento ("presplitting")** pode ser definido como "um procedimento que emprega cargas explosivas para induzir um plano de fratura, em um perfil de desenho exigido, que isola a rocha a ser desmontada do maciço rochoso circundante". Estas cargas devem ser detonadas simultaneamente e em avanço com todas as cargas no maciço rochoso adjacente. Isto é feito pela detonação das cargas de pré-fissuramento numa operação em separado no avanço do maciço rochoso a ser desmontado, ou pelo emprego de seqüências de retardo para separar a carga de pré-fissuramento das cargas no maciço rochoso em um mesmo evento de desmonte, (normalmente por um período de tempo não menor do que 50 ms).

Mecanismos envolvidos

No pré-fissuramento, o objetivo é induzir uma rede de conexão de fraturas entre os furos precisamente alinhados. Este plano de fratura induzido irá prevenir as expansões de gases das operações subseqüentes de desmonte da massa rochosa que causam a dilatação das fraturas naturais na porção anterior ao perfil de desenho.

Dois mecanismos estão envolvidos neste processo; primeiramente, a onda de choque produzida na detonação das cargas explosivas induz micro-fraturas na rocha ao redor do furo. Levando-se em conta que o diâmetro ótimo para a razão de espaçamento do furo seja utilizada e que um carregamento suficiente esteja presente para confinar as cargas, estas fraturas irão desenvolver direções preferenciais adjacentes aos furos. Em segundo lugar, a rápida expansão de gás no furo durante a reação explosiva, é acompanhada pela pressão crescente que se dilata e se propaga por estas fraturas causando a sua inter-conexão.

As fraturas locais em torno da periferia do furo podem ser minimizados por um tamponamento mais leve na região em torno do furo.

Uma característica do pré-fissuramento é a de que nenhum movimento na massa rochosa possa ocorrer quando as cargas são detonadas. A figura 4.4 mostra um desenho esquemático de um plano de fogo utilizando a técnica de pré-fissuramento.

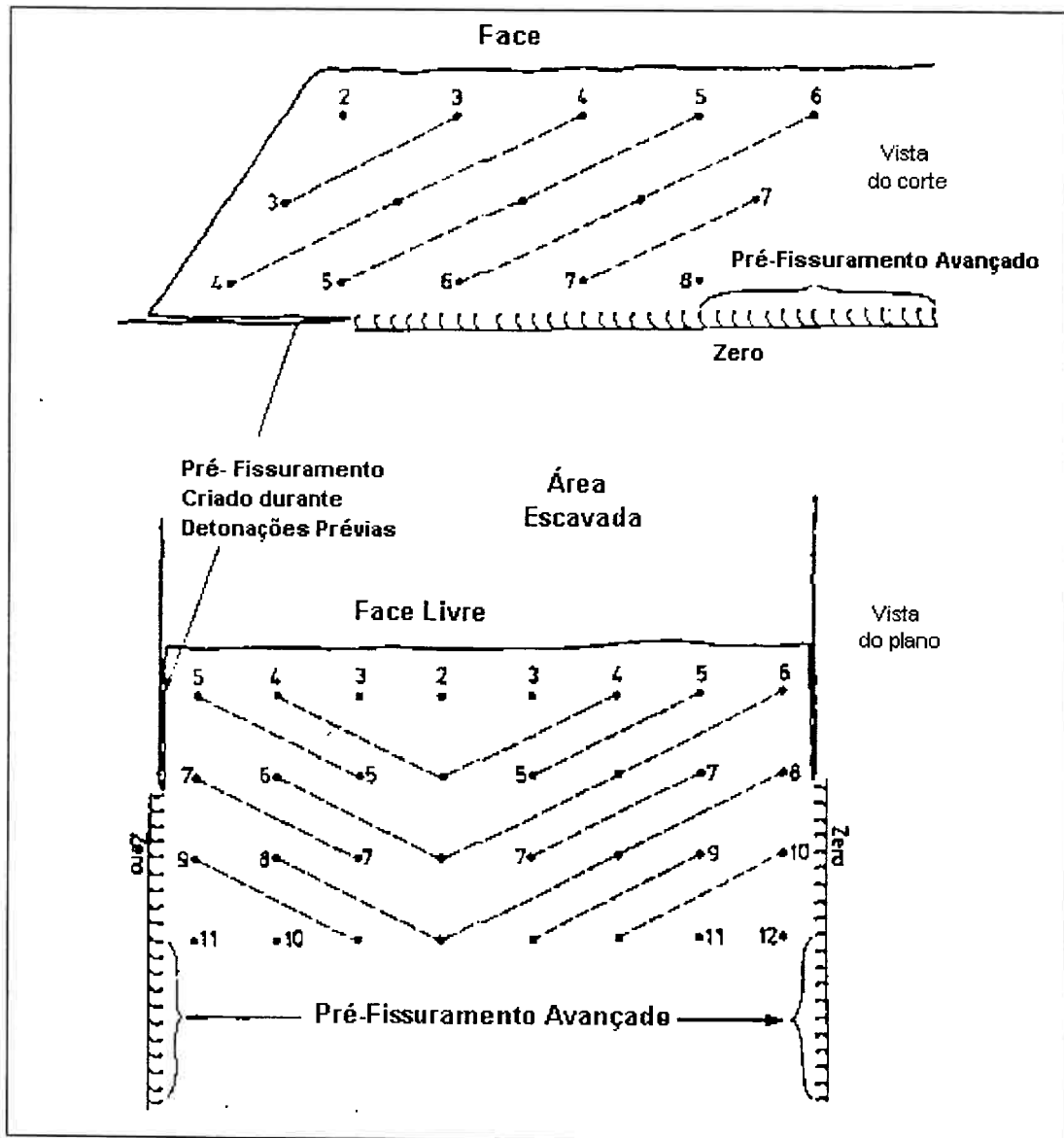


Figura 4.4. Desenho esquemático (em corte e planta) de linhas de furos de pré-fissuramento detonadas antes do desmonte. Cada número corresponde a uma seqüência (tempo) de detonação (GOLDER ASSOCIATES, s.d.)

A figura 4.5 apresenta o resultado de um pré-fissuramento.

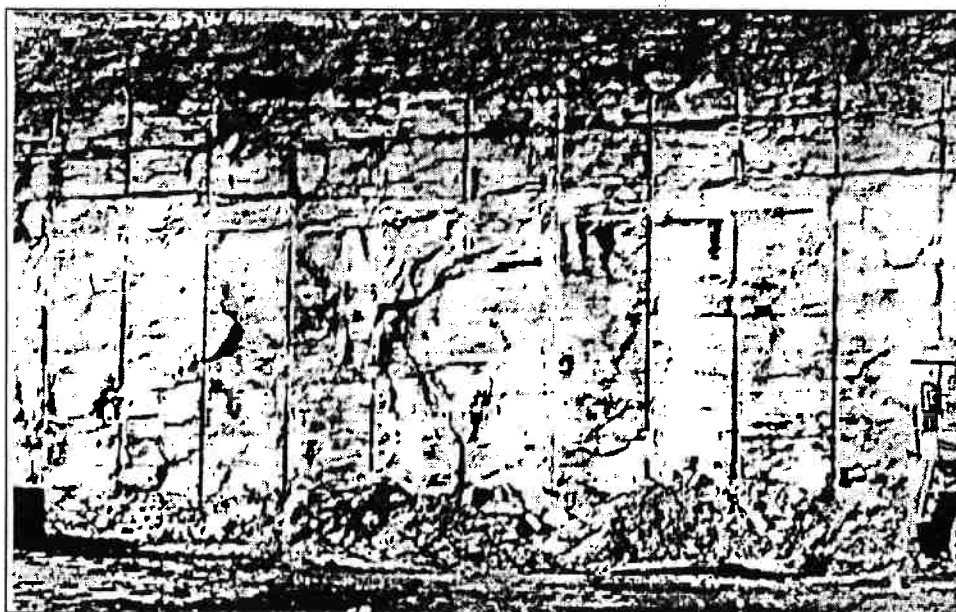


Figura 4.5. Foto de uma parede acabada de pré-fissuramento (GOLDER ASSOCIATES, s.d.)

Fatores que afetam a performance

A) Fatores geotécnicos

Qualquer profissional envolvido com a geomecânica deve estar consciente da grande diversidade de materiais que se deslocam no decorrer de uma escavação em rocha. Cada ocorrência de rocha é única mas existem fatores comuns em qualquer maciço rochoso que irão afetar a performance das técnicas de desmonte e que podem ser agrupados da seguinte forma:

- Características da rocha - resistência e dureza;
- Descontinuidades - juntas, planos de acamamento e foliações;
- Características estruturais - Falhamentos e dobramentos;

Uma vez que cada ocorrência rochosa contém uma variedade de características dos grupos supracitados, será a combinação de efeitos que irá contribuir para o grau de sucesso ou fracasso de qualquer técnica de desmonte aplicada ao perímetro da rocha.

Características da rocha - devido ao sucesso do pré-fissuramento ou do desmonte cuidadoso dependerem da formação inicial das fraturas pela onda de choque de detonação, a resistência e a dureza da rocha irão influenciar a escolha do tipo de explosivo com uma atenção para a velocidade de detonação (VOD). Quando a dureza da rocha aumenta, o VOD deve aumentar para produzir uma onda de choque capaz de superar a sua resistência à tensão.

Descontinuidades - Uma fase secundária do pré-fissuramento e do desmonte cuidadoso envolve a pressão de confinamento das fraturas pela ação de expansão dos gases. Esta pressão de confinamento estará presente em todas as fraturas naturais e induzidas e, portanto pode se observar que qualquer junta, plano de acamamento ou foliação estarão sujeitos a este efeito. Se as fraturas naturais são aleatórias ou interrelacionadas por materiais intemperizados, muito dos gases de expansão podem ser desperdiçados na dilatação destas fraturas naturais sem atingir a desejada inter-conexão entre os furos.

Além disso, a presença de descontinuidades sub-paralelas extensas, com inclinação de até 20 graus em relação ao perfil de desenho, irá resultar inevitavelmente em condições instáveis, com a rocha deslizando ou se desprendendo.

Características estruturais - o efeito das características estruturais depende da sua escala. Assim, uma falha pequena correndo perpendicularmente ao perfil de desenho pode resultar em uma pequena área de desenvolvimento da face que irá exigir medidas substanciais de estabilização, enquanto que a mesma falha, se coincidir com o perfil de desenho, pode obviamente resultar no uso de qualquer técnica de desmonte no perímetro.

Similarmente o dobramento, que reorienta as descontinuidades naturais, pode diminuir ou aumentar o seu efeito de forma localizada ou generalizada, dependendo da escala.

Portanto a geologia de uma área na qual o perímetro de desmonte está sendo considerado deve ser estimada para se determinar se ela será efetiva no geral e se for, qual a técnica e a tecnologia será a mais apropriada.

B) Fatores tecnológicos

Inúmero de fatores tecnológicos podem afetar a performance do pré-fissuramento e do desmonte cuidadoso. Os principais são:

- diâmetro correto do furo para a razão de espaçamento do furo, em relação à profundidade de escavação;
- escolha da tecnologia de perfuração;
- exatidão na perfuração;
- escolha do tipo de explosivo;
- escolha do sistema de iniciação.

C) Diâmetro do furo : Razão de Espaçamento

Uma fórmula de uso comum é $E = 10 \times D$, onde E é o espaçamento entre os furos e D é o diâmetro do furo. Esta pode ser uma boa base para o início de um plano de desmonte. Entretanto, a razão ótima será ditada pela geologia local, topografia e profundidade de escavação. Por isso, a razão ótima não pode ser "fixada" se os melhores resultados ainda não foram obtidos. Por exemplo, podem ser feitas escavações superficiais de 2 m de profundidade com sucesso através do pré-fissuramento, apesar de se utilizar furos de 105 mm e espaçamento que não seja de 1m. É necessário uma flexibilidade para permitir uma adequação da razão de espaçamento sob condições particulares em qualquer local.

D) Escolha da tecnologia de perfuração

Muitas das especificações para o desmonte de perímetro exigem o uso de métodos de perfuração chamados de perfuração de furo-abaixo ("down-the-hole drilling"). Infelizmente, este uso limita a faixa de diâmetros do furo disponíveis para que o empreiteiro execute o serviço e, particularmente em escavações menores do que 6 m de profundidade, há uma limitação maior para o uso do diâmetro ótimo do furo e portanto, da razão de espaçamento ótima. No passado, as perfuratrizes de furo-abaixo eram escolhidas porque elas obtinham melhores resultados de perfuração do que os equipamentos que utilizavam um martelo no topo do furo (top-hammer). No entanto, o desenvolvimento da tecnologia de perfuração do tipo "top-hammer" tem produzido máquinas que são atualmente capazes de dar precisão comparável aos de perfuratrizes de furo-abaixo em profundidades de até 10 m. Além disso eles permitem uma faixa de escolha mais ampla para o diâmetro do furo e proporcionam taxas de perfuração mais altas. Assim, qualquer restrição como a escolha da tecnologia de perfuração pode ter um efeito direto sobre o resultados obtidos.

E) Exatidão na perfuração

A importância da exatidão na perfuração não pode ser entendida como sendo um exagero quando se considera o perímetro de desmonte. Os dois objetivos deste procedimento são (i) remover a rocha para a linha e o nível do perfil de desenho, e (ii) para minimizar os efeitos da massa a ser detonada sobre as faces expostas da rocha. Para se atingir estes objetivos, as cargas devem ser colocadas de forma exata no perfil de desenho e cuidadosamente distribuídas. Qualquer erro na

supervisão do início ou término da execução da linha de perfuração irá resultar num aumento da magnitude do erro numa proporção direta à profundidade de escavação.

O controle cuidadoso, tanto do mergulho e como do azimute, é essencial. Entretanto, mesmo se o controle de supervisão e o arranjo forem precisos, a geologia local pode influenciar a posição final dos furos. Este efeito tem sido observado particularmente em tipos de rocha com micro-foliações. Enquanto um desvio comum no azimute implica num efeito pouco significativo sobre a eficiência, um desvio similar no mergulho pode ter um efeito dramático no perfil obtido.

F) Escolha do tipo de explosivo

Há duas características principais do explosivo que devem ser consideradas para o desmonte de perímetro; a VOD (velocidade de detonação) e o volume de gás. Como foi mencionado anteriormente, as características da rocha irão influenciar esta escolha, mas deve-se fazer uma ressalva ao número limitado de explosivos comercialmente disponíveis e que sejam adequados ao desmonte de perímetro.

Para os principais explosivos encartuchados são usados tubos de plástico ômega (ocos) para se obter uma melhor distribuição ao longo do furo. Existem também explosivos empacotados de forma contínua, mas estes dão pouca flexibilidade para a variedade de pesos das cargas.

G) Escolha do Sistema de Iniciação

Para melhores resultados, é aceito que todas as cargas de desmonte de perímetro devem ser detonadas simultaneamente. Na prática, no entanto, esta idealização não pode ser obtida com a tecnologia atual, e pode ser mostrado que retardos entre os furos com tempos de até 10 ms têm efeito pouco significativo nos resultados produzidos.

Um acréscimo no tempo acima de 10 ms, terá o efeito de uma detonação separada para cada furo, transformando estas detonações em eventos sísmicos separados, podendo-se antecipar assim uma redução significativa na eficiência do desmonte. Isto ocorre normalmente quando o número de desmontes de perímetro são executados e limitados em um intervalo de tempo qualquer, em contraste com as especificações, obtendo-se deste modo resultados indesejáveis que podem ser observados nas interfaces irregulares dos painéis de desmonte.

Os sistemas de iniciação normalmente disponíveis permitem que um grande número de furos possam ser detonados com diferença de 10 ms, e uma vez que o desenho de desmonte tenha sido

aprovado, não haverá nenhuma justificativa para limitar o número de furos no painel de desmonte de perímetro a menos que uma mudança significativa na geologia, topografia ou profundidade de escavação seja encontrada.

H) Fatores Ambientais

O desmonte de perímetro, como qualquer outra atividade de construção, tem conseqüências ambientais. Estas incluem ruído, sobre-pressão atmosférica, vibrações do terreno e ultra-lançamento de materiais.

Em muitos casos, faz-se necessário limitar estas conseqüências a um nível mensurável que tenha aceitação pela sociedade e, infelizmente, tais medidas de limitação têm se tornado exigências padrões em muitas especificações de contrato ao invés de serem adaptados para cada necessidade específica de uma determinada situação.

Deve-se levar em conta que qualquer tentativa em limitar os efeitos secundários do desmonte de perímetro vai necessariamente causar alterações nos efeitos primários. Se considerarmos as duas medidas limitantes mais comuns pode-se visualizar como cada uma delas irá afetar toda a performance.

1) Forte tamponamento e cobertura dos furos de pré-fissuramento para limitar o ruído, a sobre-pressão atmosférica e ultra-lançamentos.

Esta medida confina a carga de explosivos e não permite a saída do excesso de gás expandido. Devido à largura do carregamento, a superfície da rocha age como uma face livre e isto pode resultar num craqueamento ao redor do furo na área do tamponamento. Como conseqüência, isto irá resultar numa face cheia de falhas e condições instáveis numa espessura de 1m sobre o topo ou então sobre a inclinação do pré-fissuramento.

Além disso pode ocorrer a dilatação excessiva das fraturas naturais no desenvolvimento da face da rocha e craqueamento local ao redor dos furos.

2) Imposição dos limites de vibração do terreno.

Um limite na vibração do terreno impõe via de regra um limite na carga máxima de explosivos que pode ser detonada num dado instante. Isto limita o tamanho de qualquer desmonte de perímetro desde que todas as cargas do perímetro sejam detonadas simultaneamente.

Os resultados obtidos nos pontos de interface de um painel são normalmente mais pobres do que outros e qualquer redução no tamanho do painel criará mais interfaces em uma dada extensão do perfil de desenho.

Um balanço apropriado entre considerações ambientais e expectativas de desenho deve ser alcançado para um desmorte de perímetro. Pode-se visualizar situações onde limitações impostas invalidariam o uso do desmorte de perímetro simplesmente porque o mecanismo necessário para o seu sucesso não estaria de acordo com certas proposições impostas.

4.2.2. Desmorte cuidadoso

Segundo FORSTER e McGOFF (1993) o **desmorte cuidadoso** ("smooth blasting") pode ser definido como "um procedimento que emprega cargas explosivas para remover uma fina camada de rocha em frente a um perfil de desenho com um mínimo de distúrbio para o mesmo perfil". Esta "fina camada" de rocha é deixada intencionalmente pela detonação das cargas de desmorte cuidadoso no último retardo do desmorte de um maciço rochoso, mas pode ocorrer naturalmente, por ocasião do corte de faces muito inclinadas onde o carregamento em frente ao perfil de desenho exigido é pequeno.

Mecanismos envolvidos

No desmorte cuidadoso, uma zona de proteção é intencionalmente criada entre a massa rochosa e o perfil de desenho. Isto assegura que a dilatação das fraturas pela expansão dos gases não se estenda para o maciço rochoso atrás do perfil de desenho. Esta zona de proteção é então removida pela detonação de cargas no desmorte cuidadoso dos furos. Devido à face livre criada quando este método é utilizado, os mecanismos envolvidos são muito similares aos do desmorte simples por bancadas, embora a perfuração e a distribuição de cargas sejam muito similares ao do pré-fissuramento.

Em comum com o pré-fissuramento, os furos do desmorte cuidadoso devem ser precisamente alinhados com o perfil de desenho, assim como as cargas explosivas devem ser desacoplados da parede de furos de carga para minimizar a fragmentação local.

No desmorte cuidadoso, no entanto, toda a expansão dos gases é necessária para a fragmentação e portanto um sistema de tamponamento normal é usado. Assim como no pré-fissuramento, a detonação das cargas de desmorte cuidadoso produz uma onda de choque que

induz a fraturas ao redor do furo. Enquanto que estas fraturas irão se propagar preferencialmente em direções adjacentes aos furos de desmonte cuidadoso devido a um carregamento maior do que o normal, o efeito delas não será tão dramático quanto o obtido pelo pré-fissuramento. Além disso a onda de choque será refletida pela face livre, colocando a rocha na zona de proteção sob tensão e causando assim o micro-fraturamento. A expansão subsequente de gases irá produzir acunhamento da pressão de todas as fraturas resultando na inter-conexão dos furos.

Fatores que afetam a performance

São os mesmos relativos ao pré-fissuramento

4.3. A TÉCNICA DO "AIR DECKING"

4.3.1. A teoria do "air - decking"

A teoria do air decking, se baseia naquela proposta por Melnikov (MOXON et al, 1993) diz respeito ao uso de uma carga puntual rodeada por um anulo de ar (conhecida como detonação por ejeção) ou uma coluna de explosivo que contém um número de vazios ou lacunas preenchidos com ar, que funcionam como um meio de maximização da fragmentação para um dado comprimento de carga. Embora a teoria tenha sido inicialmente relacionada aos materiais homogêneos esta técnica pode ser empregada em desmontes de rocha para minerações de superfície.

Quando uma coluna de explosivo é detonada, um pulso de grande amplitude ou uma onda de tração é transferida para o meio circundante, produzindo uma série de microfraturas. A energia desta onda de tração decresce rapidamente até o estado quase-estático (logo abaixo da tensão de compressão do material ao redor do furo). Melnikov sugere que os "air-decks" proporcionam meios onde uma segunda onda de tração pode ser gerada prontamente e sem muito gasto. A teoria postula que as reflexões das ondas de choque no furo produzem uma onda secundária de tração que estende a rede de microfraturas anteriormente à pressurização do gás. Embora isto reduza a pressão final produzida pelo explosivo no furo, o grau de fraturamento aumenta através da propagação da rocha, repetidas vezes, por uma série de ondas posteriores (o "air deck" não afeta a pressão de detonação do explosivo). Estas ondas posteriores surgem de distâncias diferentes e com diferentes velocidades viajando dentro do "air deck" por três principais fontes de pressão: a frente de choque; a frente de

pressão resultante da formação dos produtos do explosivo atrás da frente de detonação; e ondas de reflexão do fundo do furo e/ou da base do sistema de tamponamento.

A rede de microfaturas dentro da rocha seria estendida através destes choques posteriores proporcionando à pressão um valor mínimo que seja maior do que o relativo à resistência ao fraturamento do material. Como consequência, o comprimento de um "air deck" é considerado como sendo o fator crítico na efetividade final do processo. A Figura 4.6 ilustra a aplicação do "air decking".

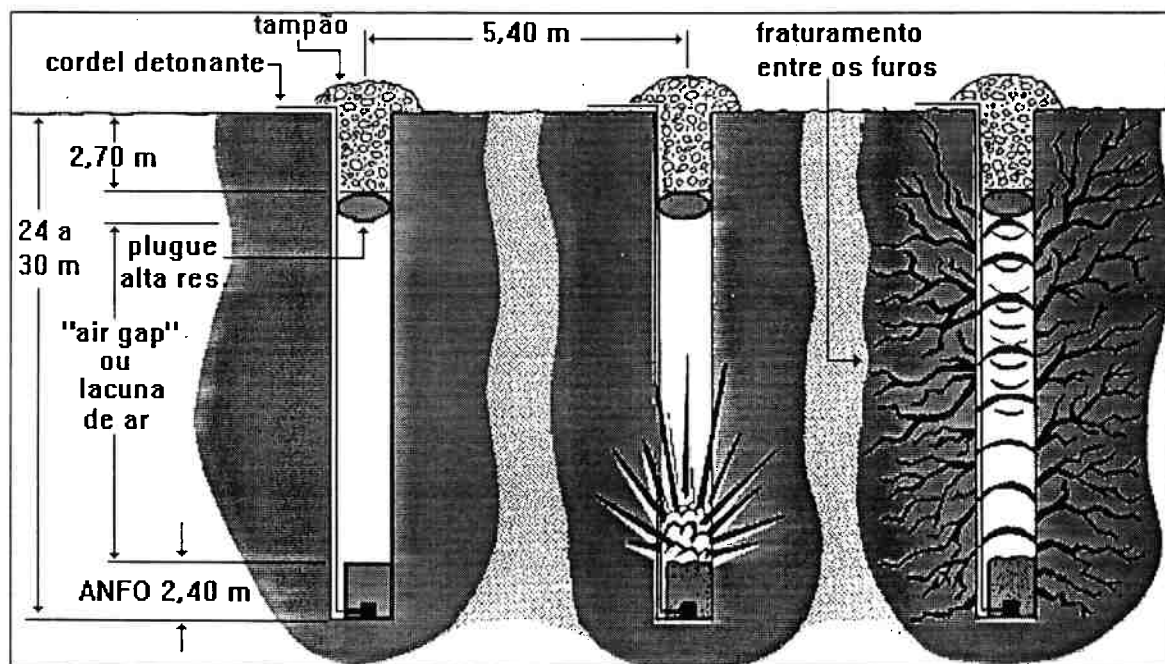


Figura 4.6. Esquema de um pré-fissuramento em paredes altas de uma mina de carvão, com as dimensões típicas, utilizando a técnica do "air-decking". Pode-se notar o desenvolvimento da rede de fraturas com o uso do plugue de alta resistência. (CHIRONIS, 1990).

4.4. O USO DE ACESSÓRIOS COMO INSTRUMENTO DE CONTROLE DA DETONAÇÃO

4.4.1. Sistema de tubo de choque para iniciação não elétrica

O sistema de tubos de choque foi apresentado comercialmente para a mineração e indústria de construção no meio da década de 1970 nos EUA. No início, este sistema foi apresentado como uma alternativa segura para as cápsulas elétricas de detonação. Por ser insensível à frequência de rádio ou qualquer outra fonte de corrente estática encontrados normalmente em minas e na construção civil este sistema pode ser usado de modo seguro em áreas onde estas condições perigosas estejam presentes.

No entanto, foi a habilidade dos tubos de choque em permitir cabo de fogo (ou o responsável pelo desmonte da rocha) a possibilidade de desenhar diversos planos de fogo com uma grande quantidade de períodos de retardo que fez com que houvesse um aumento na sua popularidade.

O tubo de choque é constituído de um tubo plástico de pequeno diâmetro revestido no interior com uma pequena camada de material reativo. Esta tubulação atua como um percurso ("path") que transmite um "sinal de detonação" de detonador para detonador. Este sinal de detonação pode ser retardado por elementos inseridos neste percurso; e por elementos de retardo nos detonadores que também fornecem atrasos no tempo antes da detonação. Este tubo plástico é feito de um material com resistência à abrasão e tensão suficientes de modo a suportar as condições severas a que são expostos rotineiramente os materiais que são utilizados nos furos e na superfície das rochas. O tubo é selado para prevenir qualquer tipo de contaminação que possa insensibilizar o material reativo de modo a evitar qualquer mal funcionamento, o que significa que ele nunca deve ser cortado na parte aberta e nem cortado em partes, a menos que o fabricante providencie conexões especiais.

Uma vez que o tubo é iniciado, o material reativo "explode" e propaga uma onda de choque que viaja a uma velocidade que varia entre 1800 a 2100 m/s através do tubo. O fenômeno da onda de choque dentro do tubo é similar em natureza a uma explosão de pó. Enquanto que o valor de 1800 m/s pareça, à primeira vista, uma velocidade elevada, em termos de explosivos ela é relativamente baixa.

Ao contrário dos cordéis detonantes, que atuam como um detonador ao longo do comprimento total e que por isso têm a desvantagem do ruído, os tubos de choque têm uma quantidade extremamente pequena de material reativo na qual a onda de choque é gerada e confinada dentro do tubo, o que faz com que a superfície externa ao tubo não seja afetada e que, como consequência, não se gere ruído. Ainda que por si só não gere ruído, o mesmo não vale para as conexões de retardo na superfície. Estas unidades podem provocar ruído significativo a menos que sejam devidamente cobertas com material apropriado.

Como o tubo permanece intacto durante a iniciação, obviamente, a onda de choque viajando dentro dele não terá nenhum efeito sobre qualquer tipo de material explosivo que possa eventualmente estar em contato. Além disso, a onda de choque não pode ser transmitida de um tubo para outro através de uma amarração como os cordéis detonantes. Estas duas características de

segurança marcam o contraste mais óbvio com os cordéis detonantes. A Figura 4.7 mostra um corte esquematizado de um tubo de choque.

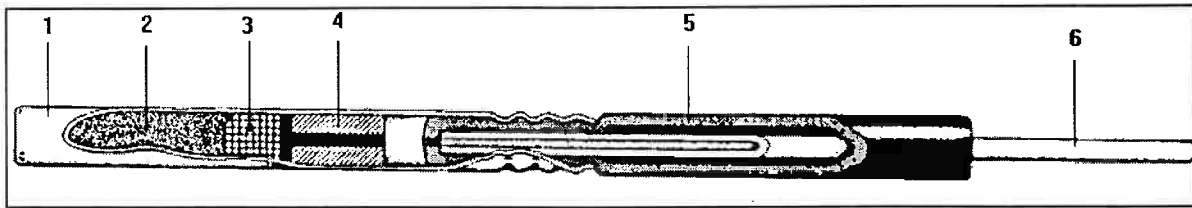


Figura 4.7. Corte esquematizado de um tubo de choque para iniciação não elétrica (IMBEL / NITRO NOBEL, 1992).

Na figura 4.7 tem-se:

1. A parte visível é uma cápsula de alumínio cujo comprimento pode variar em função do comprimento do elemento de retardo. Note-se que o comprimento de da cápsula não está relacionado ao tempo de retardo;
2. Carga principal: um alto explosivo que dá à espoleta uma potência de detonação;
3. Carga iniciadora: um explosivo sensível à chama;
4. O retardo desejado é fornecido por um tubo de alumínio (elemento de retardo) contendo uma composição pirotécnica, parte da qual é comprimida diretamente na cápsula;
5. A espoleta é amolgada sobre um tubo obturador de borracha que também protege uma parte do tubo de choque;
6. Tubo de choque que tem a sua extremidade livre selada.

4.5. EXPLOSIVOS PERMISSÍVEIS

Os explosivos civis têm evoluído constantemente buscando a otimização de importantes fatores dos quais se destacam a segurança, poder de fragmentação das rochas, facilidade no manuseio e diminuição dos custos de produção.

Quanto ao aspecto da aplicação dos explosivos, o fator segurança é fundamental, particularmente no caso das minas subterrâneas de carvão ou minas com presença de gases ou poeiras inflamáveis. Um explosivo que se destine a estes ambientes dever ser seguro o suficiente de modo a possibilitar o manuseio, a operação juntamente com materiais de fácil ignição (grisú, H_2 , poeira, etc) como nas minas de carvão e evaporitos. O risco existente deve ser o mínimo possível, de

modo a se evitar ou diminuir a probabilidade de ocorrência de acidentes. Inúmeros desastres, cujas causas prováveis foram atribuídas ao fenômeno de ignição espontânea, foram registrados ao longo da história da evolução da lavra subterrânea, com grande variação no grau de gravidade. Em função destes graves acidentes, pesquisas intensas vem sendo desenvolvidas em vários países desde o século passado no sentido de melhorar a segurança na aplicação dos explosivos nas minas subterrâneas que apresentam estas características.

Uma classificação dos explosivos que se relaciona com a ordem de sensibilidade à iniciação é a seguinte:

- explosivos primários ou de iniciação (perigosos de se manusear e com alta sensibilidade);
- explosivos secundários ou altos explosivos (atingem o estado de detonação com maior dificuldade, oferecendo menores riscos do que os primários);
- explosivos terciários ou baixos explosivos (possuem riscos reduzidos em virtude de maior dificuldade em detoná-los).

Os **explosivos permissíveis** consistem em produtos intermediários, que são obtidos através da mistura entre altos explosivos e outras substâncias que permitem "ajustar" a composição final das condições necessárias.

Apesar dos enfoques físico-químicos e termodinâmico serem muito importantes, estes serão apenas citados sob a forma de parâmetros e propriedade. Algumas das propriedades consideradas fundamentais para a utilização dos explosivos em atividades de desmonte de rocha, e que se relacionam de alguma forma com o aspecto da segurança são:

- força relativa;
- velocidade de detonação;
- densidade;
- resistência à água;
- formação de gases tóxicos;
- sensibilidade à iniciação;
- sensibilidade à transmissão;
- estabilidade;
- brisância;

- permissibilidade.

Esta última é fundamental para se evitar acidentes envolvendo a ignição de atmosferas contendo gases ou partículas potencialmente inflamáveis. As causas desta ignição podem ser sintetizadas em:

- a) - ação direta da onda de choque de expansão originada a partir do ponto de colocação da carga explosiva;
- b) - ação indireta da onda de choque após a sua reflexão nas superfícies sólidas nos limites da explosão;
- c) - ignição através do contato direto entre os produtos gasosos originados da detonação com temperatura elevada, e as moléculas de gases da mistura;
- d) - lançamento de partículas em reação com alta temperatura para as regiões circunvizinhas, e que eventualmente entre em contato com a mistura inflamável.

É provável que todos estes mecanismos ocorram em maior ou menor grau, dependendo das condições de aplicação, havendo ainda a possibilidade de combinação de vários.

A avaliação do caráter permissível é conduzida numa galeria de ensaio quando é detonado na presença de atmosferas inflamáveis, podendo-se simular condições reais.

A condução destes estudos experimentais leva ao estabelecimento de uma série de critérios reunidos na forma de normas, e que indicam o grau de segurança do produto. Caso o explosivo apresente características de comportamento adequado ele será aprovado para a aplicação em ambientes subterrâneos perigosos.

Dentre os explosivos permissíveis destacam-se três componentes:

- nitratos;
- percloratos;
- cloratos.

A probabilidade da ocorrência de uma ignição não depende exclusivamente do explosivo, mas também da geometria e distribuição das cargas, bem como das condições de utilização. Portanto está diretamente relacionada com o desenvolvimento das operações na mina, e um procedimento importante em termos de segurança é o delineamento das condições favoráveis. Os explosivos

deflagrantes (queimam por períodos longos) e os altos explosivos (velocidade e temperatura de reação elevadas) são extremamente impróprios para uso em minas perigosas.

A otimização da segurança quanto ao risco de ignição depende significativamente do explosivo encontrar-se ou não tamponado e também do método de iniciação. Outro procedimento fundamental é o fornecimento de ventilação suficiente e adequada, com o intuito de diminuir e dispersar a concentração dos gases naturais inflamáveis liberados para a atmosfera da mina. Os principais aspectos relativos ao caráter permissível e ao risco de ignição podem ser resumidos da seguinte forma:

- composição do explosivo;
- massa envolvida na detonação;
- forma de iniciação;
- características termodinâmicas e propriedades gerais do explosivo (velocidade de detonação, calor de explosão, pressão de explosão, temperatura de explosão, chama de detonação, entre outros);
- invólucros adequados para o explosivo;
- geometria do plano de fogo;
- seqüência e tempos de detonação das cargas;
- influência do tamponamento;
- fatores da própria rocha, tais como a existência de fraturas, falhas e grau de resistência do material;
- características da atmosfera, salientando-se a natureza dos gases inflamáveis, concentrações, características físicas e químicas dos pós em suspensão;
- ventilação para dispersão de concentrações perigosas;
- determinação sistemática de concentrações dos gases;
- isolamento de áreas de risco;
- cumprimento de normas no manuseio de explosivos no ambiente de trabalho

Os explosivos permissíveis possuem algumas características que podem ser vistas como um aperfeiçoamento em relação aos não-permissíveis. Podem ser destacadas:

- decréscimo da temperatura de explosão (em torno de 2000° C);

- otimização do balanço de oxigênio;
- redução da velocidade de detonação (da ordem de 300 m/s);
- melhoria na composição com os agentes de refrigeração e inibidores, onde se destaca o NA (nitrato de amônia) como substância básica nos explosivos permissíveis;
- força reduzida à medida que aumenta o grau de segurança;
- melhoria nos sistemas de iniciação;
- formação de chamas de detonação adequadas;
- prevenção do fenômeno de deflagração e falhas em geral;
- otimização da energia mínima suficiente para produzir os efeitos de fragmentação necessários;
- resistência a efeitos externos (como a umidade);
- boa estabilidade física e química, bem como a conservação das propriedades após o período de estocagem.

CAPÍTULO 5

ALGUNS MÉTODOS ALTERNATIVOS DE FRAGMENTAÇÃO DE ROCHA

5.1. FRAGMENTAÇÃO MECÂNICA DE ROCHA

Historicamente, o método usado para a escavação em larga escala, seja para a mineração, construção de túneis ou construções de superfície, tem envolvido sempre o uso de explosivos. Nos últimos anos no entanto, as desvantagens desta técnica, primeiramente devido à natureza cíclica e aos problemas que surgem decorrentes da extensão de danos causados às paredes pelas detonações, do aumento do tempo de suporte e dos gastos, têm levado a se considerar cada vez mais a escavação mecânica, em base contínua, como uma séria candidata para a utilização em muitos trabalhos.

Para escavações subterrâneas, o aumento dos custos de suporte de rocha, particularmente quando uma região fraturada fora do perfil de desenho ("overbreak") está envolvida, e a necessidade de técnicas que permitirão uma escavação contínua, levaram ao desenvolvimento de dois tipos de equipamentos para operações mineiras e de túneis. Genericamente estes podem ser classificados, em primeiro lugar como máquinas de escavação de face cheia (**TBM - Tunnel Boring Machine**) utilizadas tipicamente de modo horizontal (para abertura de túneis) ou abertura de chaminés e poços ("**raise borers**") para escavação vertical ascendente ou descendente. Em segundo lugar, existem máquinas que apenas atacam uma parte da face de cada vez, com uma cabeça cortante montada na ponta de uma lança móvel. Estes equipamentos são tipicamente referidos como "**Roadheaders**".

Existe também o uso de jatos d'água sob alta pressão, uma das inovações mais marcantes para escavações em grande escala, para aumentar a performance de sistemas de corte.

Outra forma de fragmentação mecânica de rochas, que porém não se insere no contexto de escavação em grande escala, é a técnica de fragmentação de blocos de rocha por meio da queda de esferas de aço

Desde o início do século, numerosas técnicas de fragmentação de rochas não convencionais têm sido investigadas de modo a se reduzir os riscos à segurança e ao ambiente associado aos explosivos químicos. Nos anos recentes, tais técnicas têm incluído o corte por jato d'água sob alta pressão, corte por uso de chama, fragmentação termo-mecânica, aquecimento com energia elétrica

de alta frequência, aquecimento resistivo de baixa frequência, fragmentação por método sônico, fragmentação eletro-hidráulica via plasma ("plasma blasting") e fragmentação impactante (martelo rompedor hidráulico).

5.2. MÁQUINAS DE ESCAVAÇÃO DE FACE CHEIA - "TUNNEL BORING MACHINES OU TBM's"

5.2.1. Descrição e evolução das TBMs

O desenvolvimento de máquinas de escavação de face cheia (também chamadas de máquinas de corte integral) é dispendioso uma vez que a máquina deve ser feita para a dimensão exata de uma face que vai ser perfurada e escavada. O equipamento ocupa um grande volume do túnel e é relativamente difícil suportar a face até que a máquina tenha passado (sem existir uma provisão especial e cara para conter a face sobre o corpo da máquina). Por estas razões as TBMs, a despeito dos benefícios proporcionados, não são utilizadas a menos que os túneis sejam de comprimento suficiente, geralmente com vários quilômetros, para que os custos sejam amortizados em um nível aceitável para cada metro do túnel.

As TBMs têm a vantagem de poderem cortar uma rocha extremamente resistente e lidar com as variações de resistência da rocha por meio da mudança da geometria de corte. Deste modo um progresso contínuo pode ser feito através de um maciço com uma grande variedade de tipos litológicos enquanto se mantém uma parede relativamente bem cuidada e sem danos.

Recentes inovações incluem a adaptação das vantagens do uso do conceito de disco de corte para a construção de túneis e avanço de poços, que por sua vez têm sido direcionados para serem aplicados de forma mais generalizada. Uma forma de se alcançar isto é permitir que a cabeça cortante oscile, de modo que se possa trabalhar em túneis e poços com diferentes diâmetros.

Estas máquinas têm uso muito restrito para a mineração, sendo utilizadas mais para a construção civil. As figuras 5.1 e 5.2 fazem uma descrição da aplicação de uma máquina de escavação de corte integral e de seus componentes.

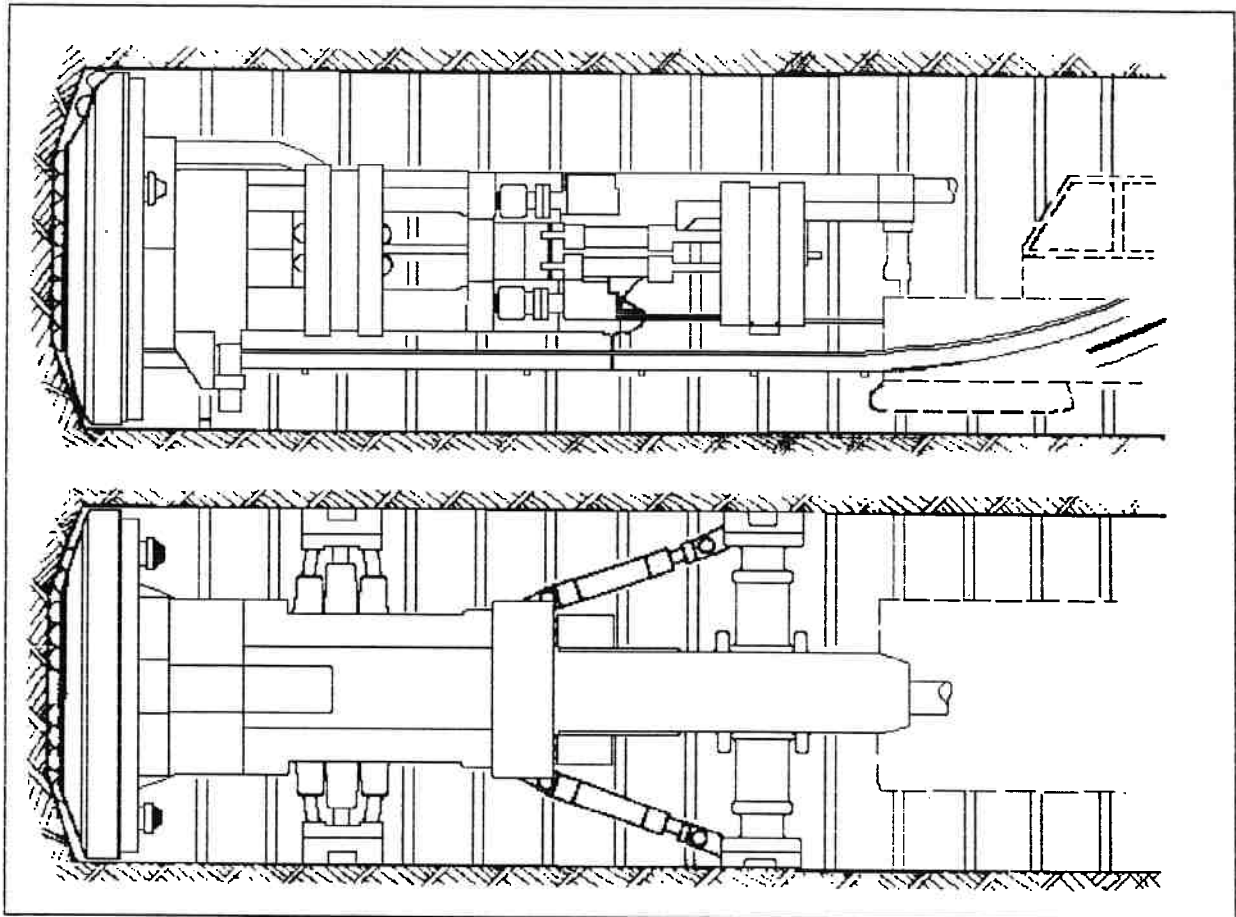


Figura 5.1. Elevação (acima) e planta (abaixo) de uma máquina de corte integral. (HENNIES; AYRES DA SILVA, 1995)

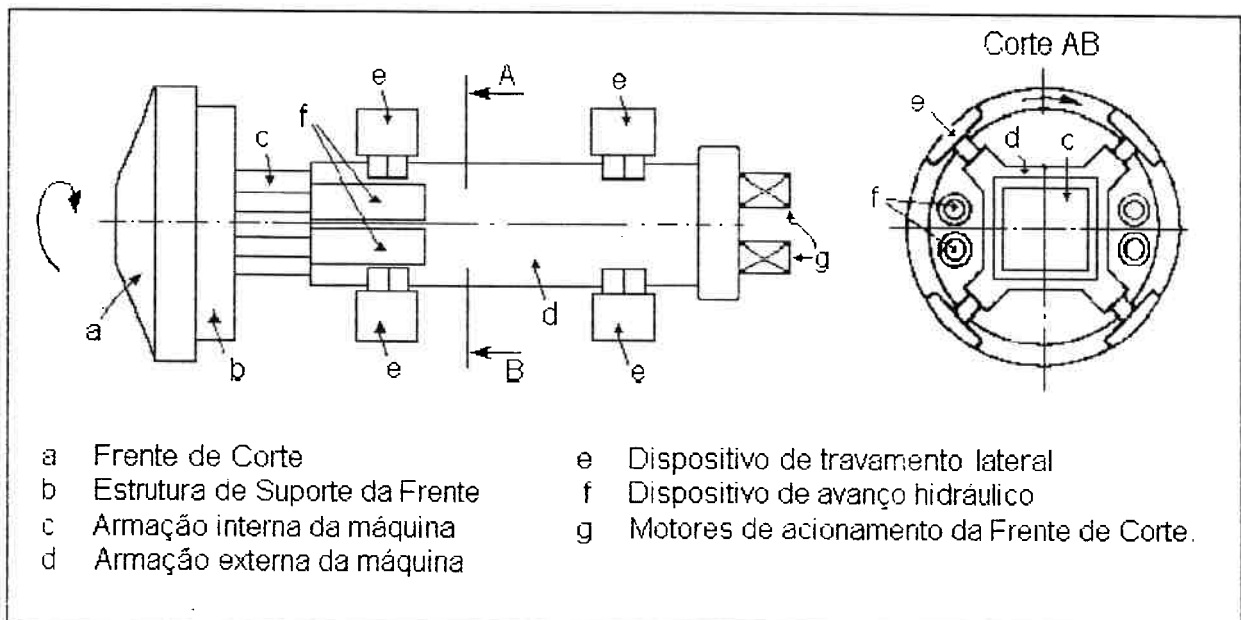


Figura 5.2. Componentes de uma máquina de corte integral (HENNIES; AYRES DA SILVA, 1995)

5.2.2. Características ambientais positivas.

Uma das vantagens destes equipamentos, despeito do seu alto custo de emprego no desmonte de rochas, é a possibilidade de uso em regiões metropolitanas onde o uso de explosivos não é permitido, restringindo os efeitos adversos da fragmentação de rocha ao ambiente interno da galeria ou túnel.

Estas máquinas possuem alguns dispositivos de controle ambiental para preservar a saúde e a segurança dos trabalhadores, uma vez que efetivamente não há efeitos adversos ao ambiente externo do túnel ou galeria. Deste modo os problemas referentes à fragmentação da rocha se resumem à ventilação adequada e a geração de poeira. Todas as máquinas de corte integral são dotadas de equipamentos de ventilação e de desempoeiramento.

5.3. MÁQUINAS DE ESCAVAÇÃO COM CORTE PARCIAL DE FACE - "ROADHEADERS"

O equipamento de escavação mais presente e aceito pela indústria mineral é o "roadheader" (ou máquina de corte parcial de face). Três tipos diferentes de roadheader estão atualmente em uso, o tipo cabeça perfurante, o tipo cabeça cortante ou escarificante e o tipo martelo ou rompedor hidráulico (HENNIES; AYRES DA SILVA, 1995), e cada um dos quais proporciona taxas de escavação aceitáveis para materiais mais brandos.

5.3.1. Máquinas de corte parcial perfurante e escarificante

O desenvolvimento histórico desta máquina, cujo início se deu na Hungria, se move na direção do aumento do tamanho e do peso. Isto ocorre porque, ao invés das TBMs, que se agarram aos lados dos furos e podem aplicar um golpe de magnitude muito alta para se cortar a superfície da rocha, os "roadheaders" não se agarram normalmente às paredes da abertura. Preferencialmente a força do golpe obtida pela cabeça cortante é aplicada apenas em uma porção selecionada da face, e este golpe é contrabalanceado pela força friccional exercida pelo peso da máquina fixada sobre o piso da abertura. Deste modo a dureza da rocha que pode ser perfurada influencia a quantidade de golpes aplicada à rocha por meio de uma lança cortante que é, por sua vez, controlada indiretamente pelo peso da máquina. A tendência se move, portanto, para a criação de "roadheaders" capazes de perfurar através de rochas cada vez mais duras, com dimensões cada vez maiores. A flexibilidade de um "roadheader" em sua variedade de aplicações tem significado que, apesar do seu uso se

restringir a 80% das rochas encontrados em minas de carvão, já existem vantagens suficientes para seu uso na redução dos custos de suporte e no aumento da taxa de penetração na rocha. As figuras 5.3 e 5.4 mostram uma máquina de corte parcial ou "roadheader" operando e os dois tipos de corte.

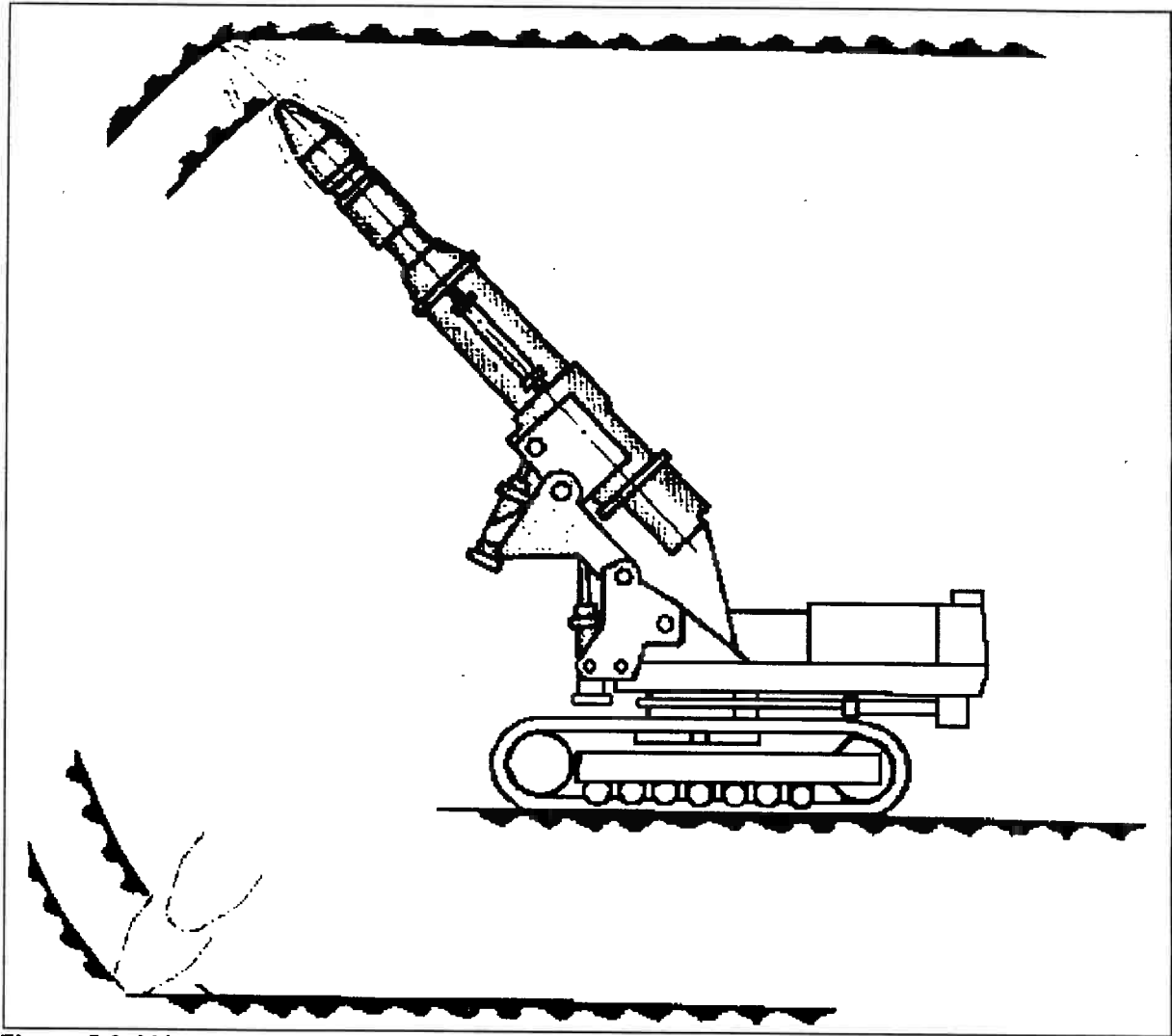


Figura 5.3. Máquina de corte parcial e o seu alcance (HENNIES; AYRES DA SILVA, 1995)

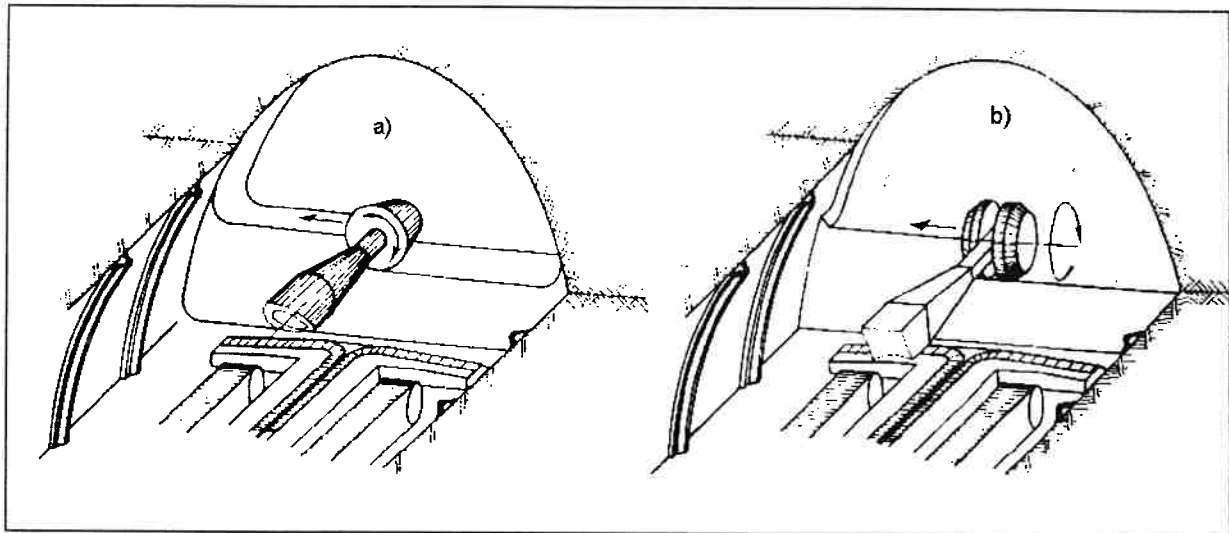


Figura 5.4. Esquema de máquinas de corte parcial perfurante (a) e escarificante (b) (HENNIES; AYRES DA SILVA, 1995)

5.3.2. Martelos ou rompedores hidráulicos

Na prática a utilização de máquinas de escavação de face cheia ou parcial da secção têm apresentado temperaturas elevadas e grandes quantidades de poeira. Por isso surgiu a idéia de se fragmentar a rocha e carregá-la em uma única fase. O uso de rompedores hidráulicos tem se mostrado bastante adequado para a operação de corte parcial da face. Este equipamento é muito conhecido e utilizado para operações a céu aberto onde é montado sobre uma carregadora para executar serviços de rompimento de maticos (figura 5.5) e que também podem ser aplicado em alguns tipos de desmontes secundários (fogachos). A figura 5.6 mostra o desenho de um rompedor hidráulico para uso em subsolo.

Os rompedores hidráulicos possuem uma série de características que permitem o seu uso em subsolo, entre as quais podemos citar:

- pode-se aplicar um grande esforço através da pancada para a rocha sem oferecer riscos à máquina;
- a rocha é fragmentada em grandes blocos, sendo alto o aproveitamento energético;
- o trabalho de fragmentação gera poeiras em menores quantidades, sendo necessário apenas a aspersão de água para a sua eliminação;

- possibilidade de fragmentação por impacto hidráulico de rochas onde não é possível o uso de máquinas de corte parcial ou total, ou então em áreas urbanas onde não é possível o uso de explosivos para o desmonte de rocha;
- custos de operação menores do que as demais máquinas de corte parcial.

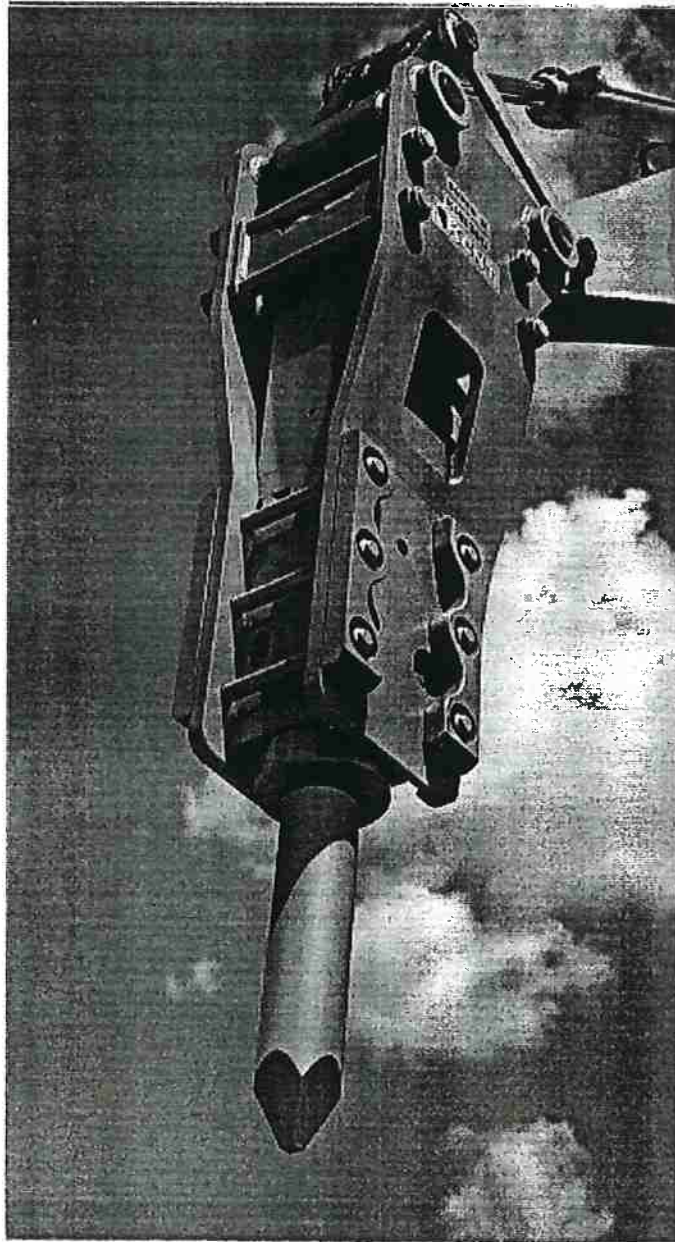


Figura 5.5. Rompedor hidráulico para fragmentação de maticos (KENT, s.d.).

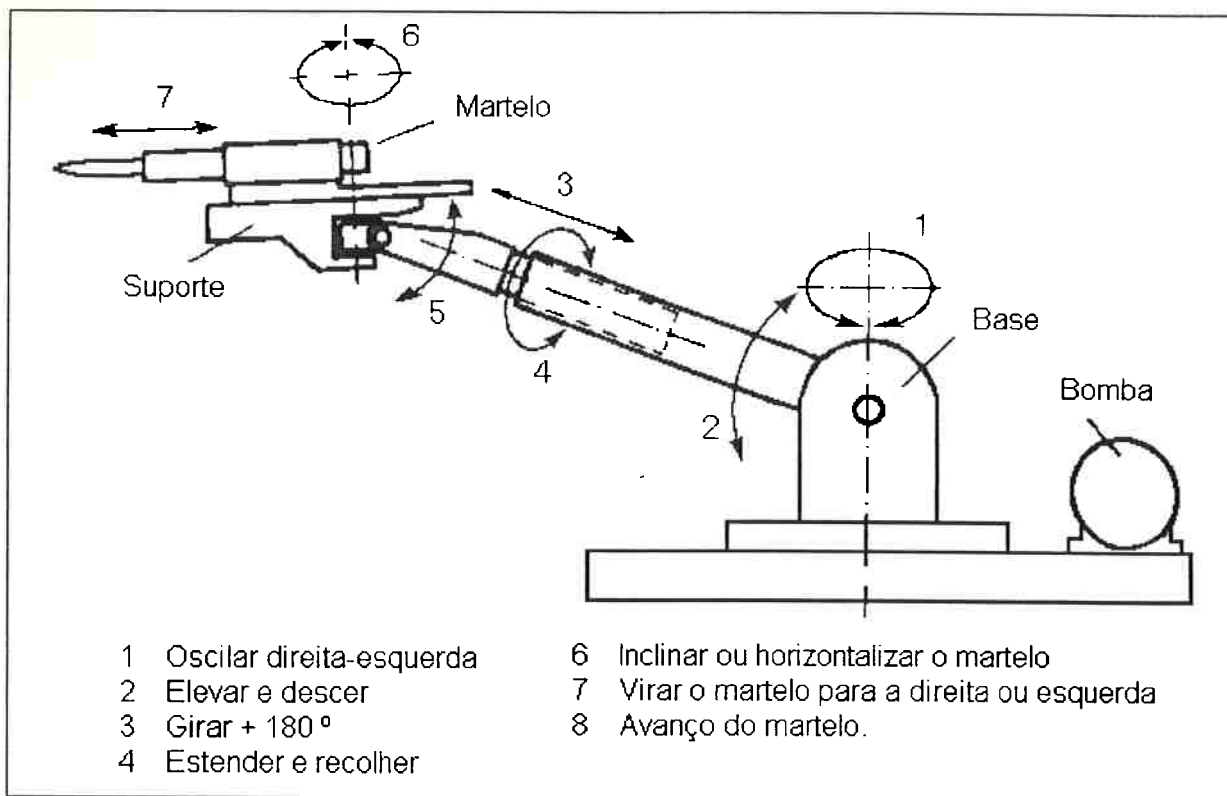


Figura 5.6. Esquema de uso de rompedor hidráulico como máquina de corte de face parcial (HENNIES; AYRES DA SILVA, 1995)

5.3.3. Características ambientais positivas

A exemplo das TBMs, as máquinas de corte parcial também podem ser usadas em áreas metropolitanas onde o uso de explosivos é proibido. Outra característica ambiental positiva é o controle da geração de poeira através do uso combinado dos "roadheaders" com os waterjets.

5.4. DESMONTE DE ROCHA POR MEIO DA QUEDA DE BOLAS DE AÇO - "DROP BALL"

A técnica do desmonte de rocha por meio da queda de esferas de aço ("drop ball") é utilizada atualmente na quebra de matoções em pedreiras de granito, gnaiss, basalto, calcário, etc, nas chamadas operações de desmonte secundário. Esta é a operação subsequente ao desmonte primário quando este não conseguiu reduzir os blocos de rocha para as dimensões desejadas. É usada também para demolições de edifícios.

5.4.1. Descrição do método

O sistema consiste basicamente de uma escavadeira hidráulica, com abertura traseira na caçamba, trabalhando com uma esfera de aço. O operador prende a esfera com a caçamba e

levanta à sua frente a uma altura pouco abaixo da cabine com as costas da caçamba em posição vertical; a esfera é solta e a energia cinética, adquirida pela esfera durante a queda, é utilizada na quebra dos blocos.

As vantagens do sistema "drop ball" podem ser resumidas em:

- baixo custo operacional;
- ciclos rápidos;
- alta disponibilidade mecânica;

5.4.2. Características ambientais positivas

Este método tem as seguintes características ambientais positivas:

- eliminação dos problemas ambientais gerados pelo "fogacho" (desmonte secundário com uso de explosivos);
- eliminação das interrupções que ocorriam durante o fogacho (não há necessidade de se evacuar a área em torno dos matacões);

Uma variação deste método é mostrado na figura 5.7, onde a esfera de aço é presa firmemente à caçamba da escavadeira hidráulica por meio de um "dente" alongado que possui uma junta flexível para fixar e soltar a esfera. A caçamba realiza o movimento de elevação e então o dente solta a esfera para que ela possa cair e fragmentar as rochas.

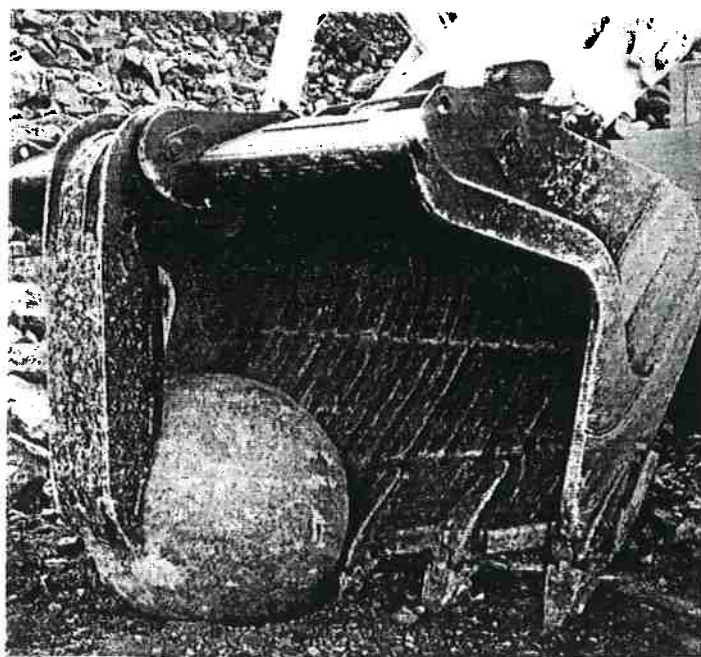


Figura 5.7. Foto de uma operação de "drop ball" realizada em uma pedreira da Inglaterra. (UNATTACHED DROP BALL BREAKS OVERSIZE, 1991)

5.5. DESMONTE DE ROCHA POR JATO D'ÁGUA SOB ALTA PRESSÃO - "WATERJET"

5.5.1. Desenvolvimento do método

O desenvolvimento do jato d'água sob alta pressão para a fragmentação de rochas não é por si só particularmente novo. Os jatos d'água foram utilizados nos tempos dos Romanos e dos Antigos Egípcios para a remoção de grandes volumes de material de mineração. A técnica foi ressuscitada em 1852 quando se tornou o método mais popular para a mineração de depósitos de ouro aluvionar e de placer nos estados da Califórnia, Idaho e Alaska (Yukon). Enquanto este uso da água se baseava em uma pressão relativamente baixa com grandes fluxo d'água para remover o material mais brando dos aluviões, um desenvolvimento iniciado em 1935 na antiga União Soviética usou jato d'água a alta pressão e com baixos fluxos como um meio de se escavar carvão.

Esta técnica foi se desenvolvendo gradualmente, sendo adaptado para uso na China, Japão, Canadá, e mais recentemente nos Estados Unidos. Uma das aplicações mais bem sucedidas ocorreu em Sparwood, B.C., onde um monitor conseguiu por um período superior a dez anos, uma produção de mais de 3000 toneladas de carvão por turno de 6 horas. A adaptação para o uso em uma escavação de rocha mais generalizada, no entanto, tornou-se problemática, uma vez que seria necessário obter pressões consideravelmente mais altas, maiores do que 138 MPa para serem usadas em uma mineração de grandes volumes de carvão.

O desenvolvimento inicial do corte por jato d'água sob alta pressão nos Estados Unidos dependeu do desenvolvimento de equipamentos capazes de gerar pressões extremamente altas. Experimentos preliminares mostraram que o corte ótimo ocorria com uma pressão do jato d'água com aproximadamente dez vezes a resistência à compressão do material. Isto levou ao desenvolvimento de equipamentos capazes de gerar jatos d'água com pressão de impacto de até 1.379 MPa. Desenvolvimentos subsequentes aumentaram o potencial de pressão para 34.470 MPa. Todavia esta tecnologia, para escavações de grandes volumes de rocha, tem sido amplamente contestado. Uma grande variedade de programas de testes, feitos desde que esta aproximação inicial foi obtida, tem mostrado que os dados nos quais esta conclusão (a do aumento do potencial de pressão) se baseou eram muito limitados, e atualmente, é aceito que é viável e mais realístico usar pressões de jatos d'água mais baixos do que a resistência à compressão das rochas, mas com maiores taxas de fluxo do que os inicialmente considerados.

Em aplicações industriais os jatos d'água foram suficientemente aceitos, tanto que nos anos 80 mais de 400 instalações comerciais começaram a utiliza-los, com pressão de até 380 MPa, para o uso no corte de materiais que variam de produtos alimentares a kevlar, plástico duro e metal.

Na escavação de rocha, experimentos contínuos para se desenvolver equipamentos de mineração de carvão utilizando jato d'água, foram iniciados pelo U.S. Bureau of Mines e pelo Departamento de Energia nos anos 70 e início dos anos 80 e esta tecnologia foi direcionado para a área comercial por fabricantes da antiga Alemanha Ocidental. O objetivo inicial era o corte de carvão via canhão único de jato d'água. No entanto, isto foi sobrepujado pela combinação do uso do jato d'água e cortadores mecânicos que se tornou conhecido como programa de auxílio por jato d'água . Devido ao mercado limitado para equipamentos de paredes longas (longwall) sob alta pressão, esta tecnologia, apesar de ter mostrado capacidade de extrair uma fatia de carvão de 1,7 m de altura por 0,5 m de largura e 20 m de comprimento em um minuto, ainda encontra-se em reavaliação.

5.5.2. Características ambientais positivas

Enquanto que o uso de jatos d'água como um meio de melhorar o corte de equipamentos de frente longa ("longwall") está sendo constantemente investigado por países como os Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, China e pelas repúblicas da antiga União Soviética, o maior progresso em seu desenvolvimento tem ocorrido na sua aplicação para equipamentos de corte parcial ou "roadheaders". A razão para isso é que o "roadheader" é parte de um equipamento que se suporta sozinho, não requerendo uma infra-estrutura muito grande como o exigido pela máquina de minerar carvão em "longwall". Também não necessita de muitos bicos de jato d'água ou de um sistema de alta pressão selado para operar. O problema do aumento do impacto tem sido discutido desde o início, mas a motivação inicial para a pesquisa foi tentar superar o problema grave do pó que pode ocorrer em locais subterrâneos. A figura 5.8 ilustra a operação de corte de carvão por minerador contínuo com o auxílio de jatos d'água.

Pesquisas iniciais nos Estados Unidos mostraram resultados interessantes, como os que se seguiram no National Coal Board do Reino Unido, que demonstrou, com sucesso, que mesmo uma máquina relativamente leve (cerca de 25 toneladas) podia, com o auxílio de um jato d'água de 69 MPa, cortar uma rocha com resistência à compressão de 131 MPa (SUMMERS, 1986). O sucesso

desta empreitada levou ao desenvolvimento do equipamento por parte de dois fabricantes, ambos dos quais relataram fortes vendas no mercado a partir do ano de 1984.

Segundo o mesmo autor, são muitas as vantagens da máquina. Ela não apenas elimina os problemas associados com a geração de pó ao redor da cabeça da máquina como reduz de forma marcante os problemas associados ao risco de ignição de gases na face. Há também uma redução significativa na força necessária para se fixar a garra à face, uma diminuição na vibração da cabeça cortante, e um aumento na vida da garra que em alguns casos chega a mais do que o dobro. Devido ao grande número de "roadheaders", particularmente na Europa, o desenvolvimento do equipamento inicial levou a um rápido movimento por parte dos fabricantes na França, na antiga Alemanha Ocidental e na Áustria para procurar adicionar sistemas de jato d'água aos seus equipamentos de modo a se atingir um aumento equivalente na performance, além de assegurar a manutenção da divisão do mercado entre eles.

O estudo do uso de jato d'água no auxílio às TBMs precedeu o programa de uso de jato d'água com os "roadheaders", sendo inicialmente feito nos Estados Unidos pela National Science Foundation e depois pelo Departamento de Energia. Também foram encontradas as mesmas dificuldades no seu progresso. Inicialmente desenvolvidas na África do Sul, pesquisas subsequentes nos Estados Unidos indicaram uma redução de 30 % no nível do golpe quando jatos d'água de alta pressão eram usados para o corte juntamente com o disco cortante das TBMs. O trabalho foi novamente estendido à antiga Alemanha Ocidental onde foram melhorados a performance das máquinas. A vantagem disto pôde ser aplicada de duas maneiras: máquinas menores e mais leves puderam ser usadas para se obter os mesmos resultados (com maior amortização do custo dos equipamentos), e a manutenção do mesmo tamanho de máquina e obtendo-se em troca um aumento na velocidade de penetração.

Outro avanço na utilização dos jatos d'água foi obtido pela Chamber of Mines da África do Sul onde se conseguiu uma redução da ordem de 40% na força cortante de um disco de TBM via uma combinação de quatro jatos d'água com um disco cortante individual. Portanto, este processo era melhor do que o uso de um jato simples, o que era até então a única opção viável aceita pelos pesquisadores.

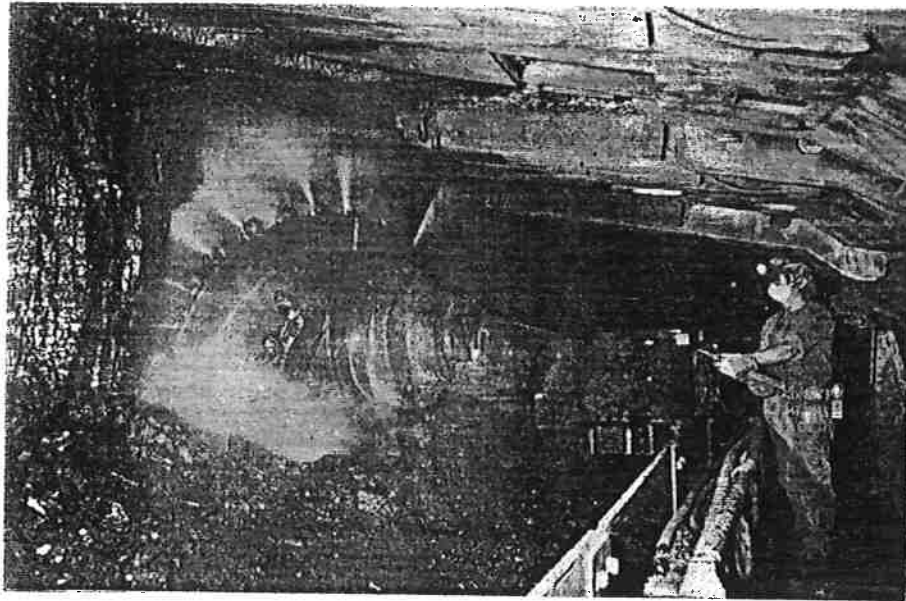


Figura 5.8. Máquina de corte para paredes longas ("longwall") auxiliada por "waterjet" de modo a reduzir a poeira ou fração respirável (TUCHMAN; BRINKLEY, s.d.).

5.6. FRAGMENTAÇÃO ELETRO-HIDRÁULICA VIA PLASMA - "PLASMA BLASTING"

5.6.1. Descrição do método

Sob circunstâncias especiais, a energia elétrica pode substituir com sucesso os explosivos químicos no desmonte de rochas. Um plasma de alta pressão pode ser gerado, no confinamento de um furo, através de uma descarga elétrica potente. O nível de energia pode ser ajustado para simular o efeito de um explosivo de alta potência. A diferença principal é a quase total ausência de gás gerado por parte do desmonte elétrico. Uma vez que a rocha é fragmentada, a pequena quantidade de material utilizada para gerar o plasma se resfria rapidamente, se solidifica e retoma o seu volume original (NANTEL e KITZINGER, 1992).

A energia elétrica pode ser utilizada para fragmentar rochas sob diversas formas. Durante anos pesquisadores têm encontrado métodos engenhosos, tais como aquecimento de rocha por correntes com frequências na faixa de rádio, até tensão termal que cause a fragmentação. O efeito eletro-hidráulico faz uso de descarga elétrica em meio aquoso para quebrar a rocha. Pulsos de alta voltagem podem passar diretamente pela rocha para causar a sua fragmentação. Estes e outros numerosos métodos foram estudados e desenvolvidos por diversas organizações com maior ou

menor sucesso para torna-los um método de fragmentação de rocha seguro, prático e econômico em uma escala industrial.

A técnica de fragmentação eletro-hidráulica via plasma ("**plasma blasting**"), pode ser didaticamente resumida nas seguintes operações:

- a) Uma perfuratriz convencional executa um furo (com diâmetro de 38 a 42 mm) na rocha, que é então carregado com solução eletrolítica;
- b) Em seguida uma descarga elétrica é aplicada por meio de uma sonda, obtendo-se um plasma de alta pressão e alta temperatura;
- c) Esse plasma expande-se mais rápido do que a velocidade de propagação de uma onda sísmica e forma uma onda de choque, que produz um campo de tensão e fragmenta a rocha, sem produzir poeira excessiva e lançamento dos fragmentos.

A figura 5.9 ilustra o equipamento básico utilizado.

As vantagens alegadas pela empresa responsável pela pesquisa, o Centro de Tecnologia Noranda (NORANDA MINERALS INC, s.d.) para a aplicação em desmonte secundário são:

- baixo custo de energia: 0,19 a 0,48 kWh/m³,
- alta produção: 200 ton. em um turno de 6h;
- vida útil longa do equipamento, superior à de uma perfuratriz;
- baixo custo de desmonte: 35% menor do que os convencionais

5.6.2. Características ambientais positivas

Segundo o Centro de Tecnologia Noranda, o desmonte via plasma comparado com o desmonte por explosivos químicos apresenta algumas vantagens ambientais consideráveis, as quais se seguem:

- este método não gera gases tóxicos como os gerados pelos explosivos;
- curto período de vibração decorrente do desmonte em função da natureza da fonte e da rápida taxa de transferência de energia do desmonte via plasma;
- baixa emissão de ruído e sobrepressão sonora, onde testes a céu aberto indicaram que para distâncias maiores do que 50 metros não há necessidade de uso de qualquer tipo de proteção;

- não existe a possibilidade de resíduos tóxicos como os explosivos não detonados que podem contaminar a água da mina e provocar um impacto ambiental negativo;
- diminuição da duração da condição instável, ou seja, a possibilidade de que algum acidente possa ocorrer fica restrita a alguns segundos antes do desmonte ao invés de todo o período de transporte e manuseio dos explosivos;
- baixa radiação eletromagnética, uma vez que o método envolve o uso de força eletromagnética as pulsos eletromagnéticos são contidos por uma espécie de barreira;
- pequena produção de poeiras.

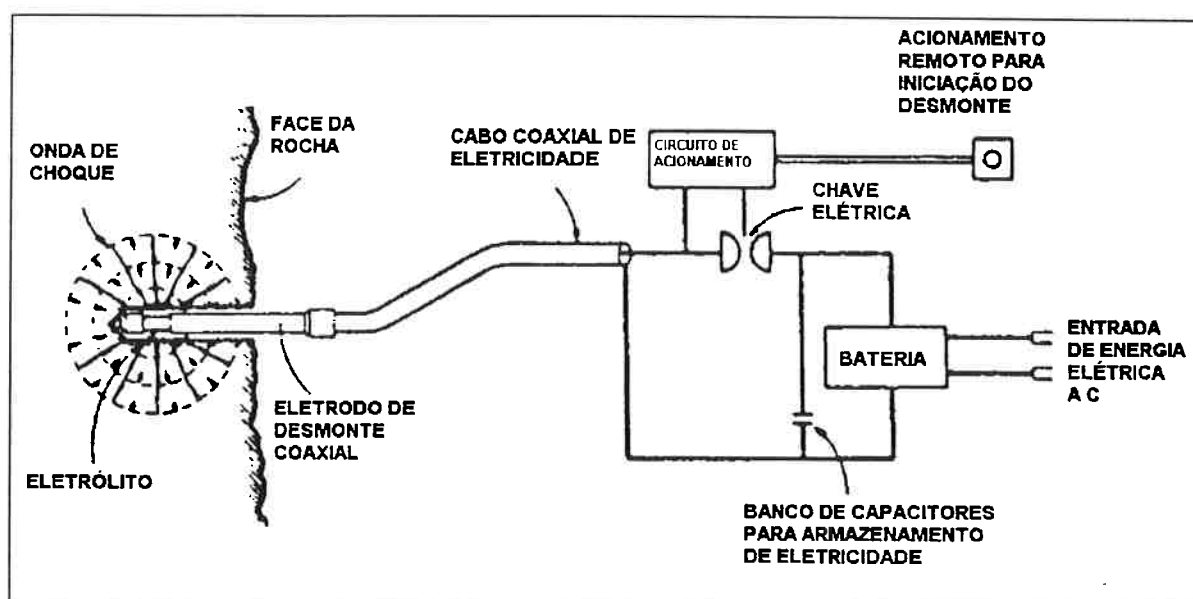


Figura 5.9. Desenho esquemático de um desmonte por plasma (NANTEL e KITZINGER, 1992)

5.7. FRAGMENTAÇÃO TERMAL INDUZIDA POR JATO DE CHAMA - "FLAME JET THERMAL SPALLATION"

5.7.1. Descrição do método

A fragmentação termal ("thermal spallation") é um método pela qual a superfície de uma rocha é rapidamente aquecida produzindo pequenos fragmentos ou lascas (chamados de "spalls", com tamanhos de 100 a 1000 μm). Este aquecimento rápido se dá em uma fração relativamente pequena da rocha (menos do que 10% da área da rocha exposta), onde as tensões decorrentes da

porção de material que se expande à medida que a temperatura vai aumentando, proporcionam a fragmentação da rocha.

Quando aplicada à perfuração, um jato de gás supersônico a alta temperatura (2600 K) é direcionado à rocha, gerando fonte de calor para a eliminação dos fragmentos. Estudos prévios de perfuração por meio de fragmentação termal (WILKINSON ; TESTER, 1993) indicaram uma taxa de penetração acima de 30 m/h, aproximadamente 10 vezes maior do que o obtido com o uso de métodos mecânicos rotacionais convencionais. Estes resultados foram obtidos em rochas competentes, duras e não fraturadas como é o caso do granito e, via de regra, a fragmentação termal funciona melhor em rochas com elevado conteúdo de quartzo, como os quartzitos, arenitos e os próprios granitos. A figura 5.10. mostra um esquema do equipamento utilizado por esta técnica.

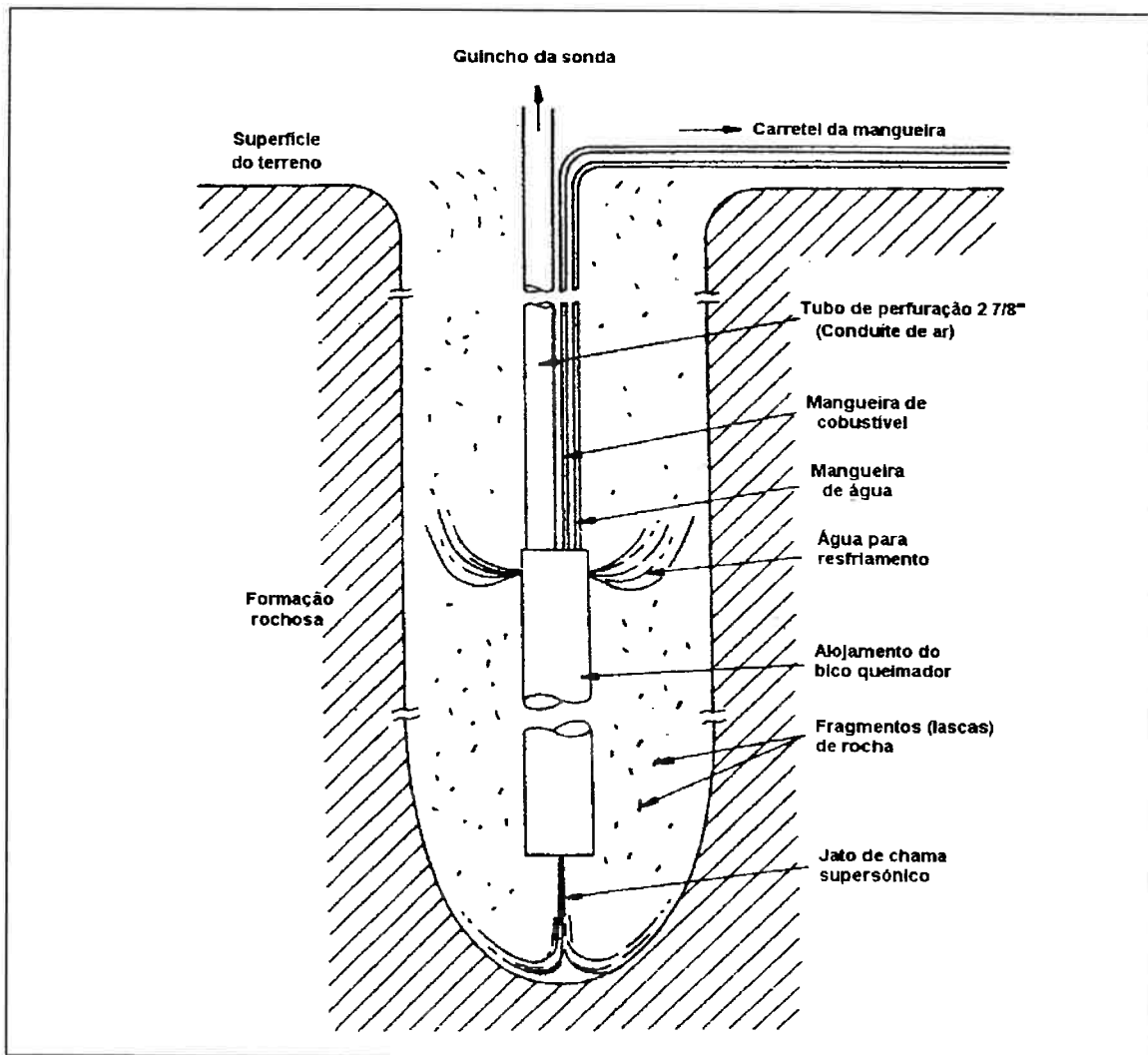


Figura 5.10. Esquema de uma perfuração por jato de chama (WILKINSON ; TESTER, 1993).

O objetivo inicial deste método foi o de executar furos a grandes profundidades entre 3 e 7 km, como os exigidos em rochas para a produção de energia geotermal, a custos menores e com a mesma eficiência dos métodos rotatórios de perfuração. No entanto existem outros campos de aplicação deste método que estão sendo estudados como abertura de túneis para transporte, escavação de rocha para armazenamento, mineração e perfurações para petróleo e gás natural.

5.7.2. Características ambientais que seriam positivas

Como o método ainda está sendo estudado, não existem dados conclusivos a respeito da sua aplicabilidade para o desmonte de rocha e a sua preocupação com os efeitos ambientais adversos comuns ao desmonte de rocha por explosivos. Pode-se dizer apenas que este método poderia apresentar algumas características ambientais positivas como:

- diminuição da geração de gases tóxicos como os gerados pelos explosivos;
- diminuição da geração de poeira devido à presença de água para resfriamento;
- ausência de ruído de impacto ou sobrepressão atmosférica como ocorre durante a detonação de explosivos;
- ausência de resíduos tóxicos que poderiam contaminar o ambiente interno e externo à mina.

5.8. MÉTODO DE FRATURAMENTO DE ROCHA COM O USO DE MATERIAL EXPANSIVO - "CARDOX SYSTEM"

5.8.1. Descrição do método

O sistema Cardox utiliza um tubo de aço-liga de alto grau, fechado em ambas as extremidades por tampões com rosqueamento ("screw-in plugs"). Um desses tampões incorpora um cabeçote de preenchimento e um sistema elétrico de iniciação, enquanto que o outro atua como parte da descarga do sistema (vide figura 5.11). Um energizador químico, mistura que é iniciada por um fusível de baixa tensão elétrica e envolvida em um tubo de papel, é inserido no cabeçote de iniciação na extremidade do tubo e então aparafusada ao local de fragmentação. A extremidade de descarga do tubo é adaptada com uma arruela de fibra e um disco de aço-carbono com espessura pré-determinada. Estes discos podem ser selecionados para pressões de ruptura que vão de 193 a 656,17 MPa (5 a 17,5 t/pol²).

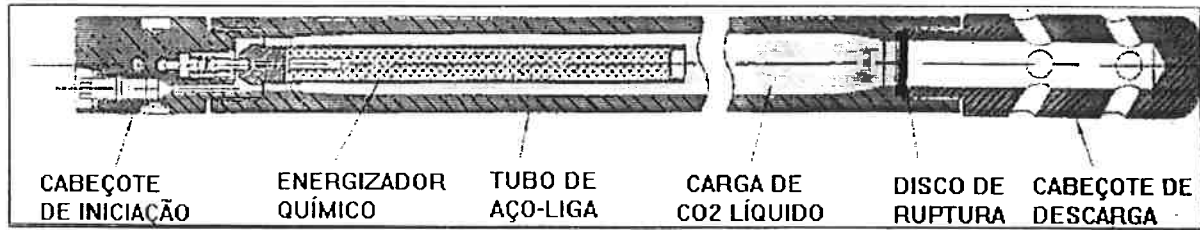


Figura 5.11. Desenho esquemático de um tubo de Cardox (LONG-AIRDOX, 1995)

Uma vez que a extremidade de descarga foi aparafusada fortemente no local, o tubo é preso à máquina de carregamento e então é carregado com dióxido de carbono líquido em um procedimento que dura aproximadamente um minuto por tubo. O equipamento está então pronto para ser utilizado. Ele é então colocado em um furo previamente preparado e uma conexão elétrica simples é feita para adaptar os dois fios com cobre ao cabeçote de iniciação. Tubos adicionais podem ser então conectados em seqüência no mesmo padrão de espoletas ou detonadores elétricos.

A passagem de um impulso do ativador de baixa tensão para os fusíveis inicia uma rápida reação no energizador fazendo com que o CO_2 passe do estado líquido para o gasoso quase que instantaneamente. Durante este processo, o volume de CO_2 no tubo poderia aumentar em cerca de 600 vezes mas é a pressão que aumenta porque não existe este volume disponível. Uma vez que esta pressão alcança o valor fixado pelo tipo de ruptura do disco adaptado, este se rompe, liberando um grande volume de gás a alta pressão para o material rochoso. Como o ponto de descarga é o fundo do furo, a ação se inicia neste ponto, e o gás vai procurando planos de clivagem e acamamentos de rocha forçando a sua separação ao longo dos planos de fraqueza. Esta ação não produz pó e produz pouca ou nenhuma vibração. O tubo é então recuperado do material e uma vez recarregado estará pronto para ser usado novamente.

5.8.2. Características ambientais positivas

Como o sistema Cardox não é classificado como um explosivo mas simplesmente como um método gasoso gerador de pressão não existem requisições de permissão para o seu transporte, armazenamento ou uso como seria o caso dos paíóis, o que significa maior segurança no seu manuseio. Não há fumos tóxicos gerados pelo sistema e por isso os trabalhadores podem retornar ao local de trabalho após a reação química, o que é muito importante em subsolo. Como também não há calor gerado pela reação, não há a possibilidade de explosões como no caso de minas de carvão

com grisu. O Cardox foi totalmente aprovado pelo Health & Safety Executive HSE do Reino Unido para o uso em minas, e nas aplicações em minas subterrâneas. a reação de um único tubo de Cardox produziu uma média de 4 m³ de carvão retirado diretamente da face e 8 m³ quando a face tinha sido cortada inferiormente ("undercut"). A figura 5.12 mostra uma seqüência de fragmentação de rocha utilizando-se o método Cardox.

Portanto, as vantagens deste sistema podem ser sintetizados em:

- maior quantidade de carvão/minério limpo e pelotizado;
- nenhuma exigência especial para armazenamento, transporte e manuseio;
- custos menores;
- ausência de geração de pó;
- ausência de fumos tóxicos;
- segurança total mesmo em fendas preenchidas com gás;
- lavra com menor interrupção, com o retorno imediato dos trabalhadores à face;
- aumento na produção, geralmente com menos furos do que com métodos convencionais;
- tempo de vida muito grande para o tubo;
- ausência de onda de choque ou vibrações que possam causar dano;
- não é necessário o uso de sistemas de retardamento;

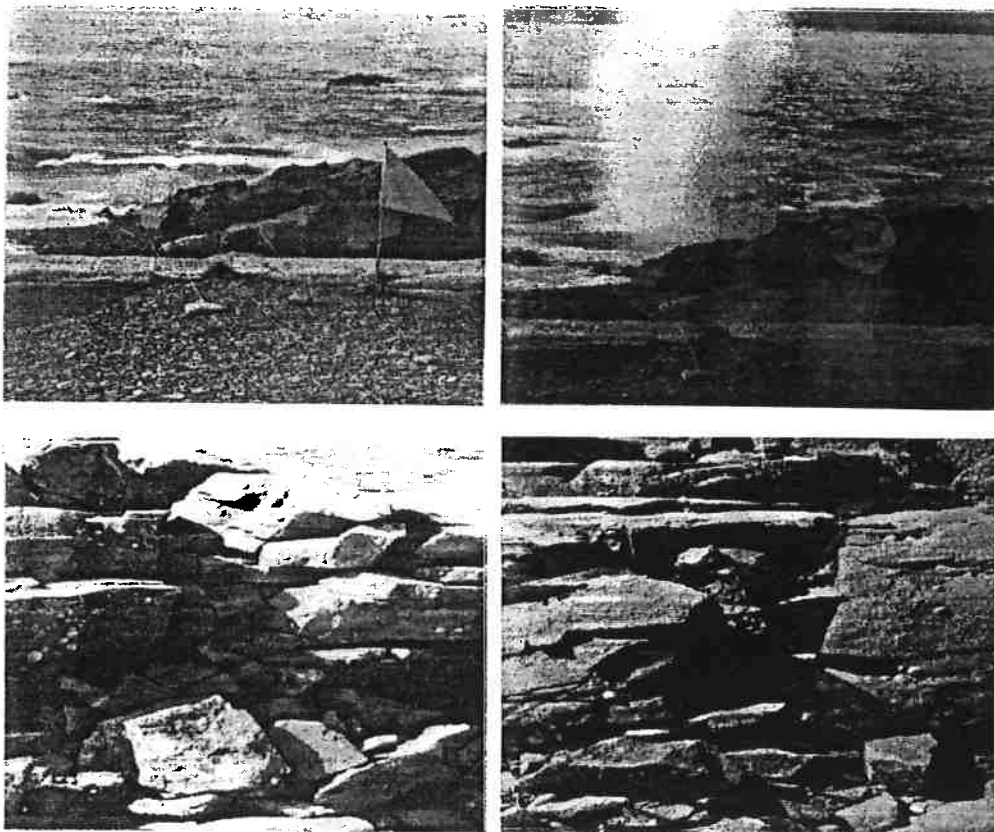


Figura 5.12. Seqüência de fragmentação de um bloco de rocha utilizando o método Cardox (LONG-AIRDOX, 1995).

5.9. TÉCNICA EXPANSIVA RÁPIDA SEM DETONAÇÃO PARA MATAÇÕES - "BOULDER BUSTER"

5.9.1. Descrição da técnica

O "Boulder Buster", que pode ser traduzido como uma ferramenta rompedora de matações, é uma ferramenta não explosiva de quebra de rocha que utiliza uma tecnologia propelente. Um cartucho carregado com um propelente, gera um pulso de pressão que é direcionado para uma coluna de fluido incompressível (gel) colocada previamente em um furo de rocha.

O sucesso do sistema resulta da tecnologia específica de propelente utilizada. As características do propelente e do desenho do cartucho que os distinguem resultam em uma onda de pressão de desenvolvimento rápido e com uma etapa de crescimento muito rápida. Esta pressão, transmitida pela coluna de fluido, atua nas micro-fraturas induzidas pelo processo de perfuração, alargando-as e proporcionando o fraturamento do material rochoso.

O baixo peso e a compactidade do "Boulder Buster" permitem ao usuário as seguintes vantagens segundo o fabricante:

- eficiência energética;
- baixa concussão;
- pode ser utilizado em espaços confinados, mesmo nos interiores dos locais;
- economia de tempo e boa relação custo-benefício;
- não exige o certificado de "blaster" ou cabo de fogo para a sua operação;
- operação simples.

5.9.2. Características ambientais positivas

Além das características operacionais o "boulder buster" possui algumas características que diminuem os efeitos adversos de um desmonte de rocha. São elas:

- produção insignificante de gases tóxicos;
- a rocha fragmentada é lançada a baixa velocidade, resultando em pequena dispersão de material (não há ultra-lançamentos);
- danos minimizados para estruturas ou equipamentos ;
- segurança no uso;

Ainda segundo o fabricante o "Boulder Buster" possui uma capacidade de quebra para rochas competentes de 100 a 300 MPa e somada às características acima mencionadas, o método pode ser indicado para trabalhos como:

- desmonte secundário em pedreiras e minerações;
- construção civil;
- demolição;
- limpeza de área;
- trabalhos de agropecuária;
- escavações para piscinas;
- abertura de trincheiras.

A figura 5.13 ilustra as operações básicas referentes à utilização desta tecnologia.

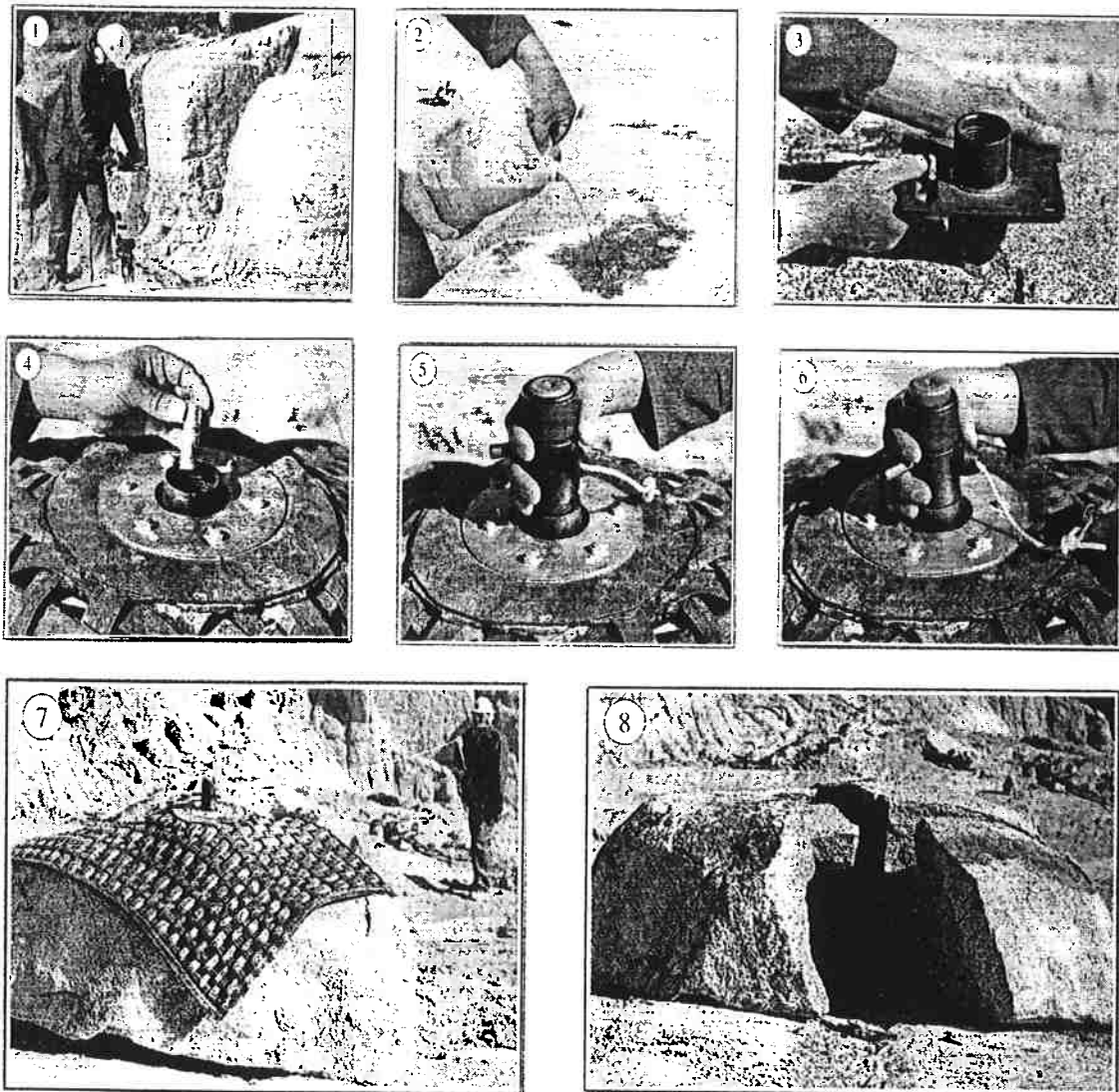


Figura 5.13. Sequência de desmonte por meio do "Boulder Buster": 1) Um furo é perfurado; 2) o furo é preenchido com gel ou água; 3) o dispositivo atuante como cunha para expansão é colocado no furo; 4) a malha de proteção é colocada sobre a rocha e um cartucho de propelente é inserido no dispositivo expansivo; 5) o conjunto de disparo é aparafusado firmemente ao dispositivo expansivo; 6) a corda de acionamento é amarrada e a unidade é engatilhada girando-se o parafuso de carga primeiro no sentido horário e então no anti-horário; 7) a unidade é disparada a uma distância aproximada de 7 m; 8) o resultado é o bloco fragmentado. (BOART SCS, s.d.)

5.10. USO DE MATERIAL EXPANSIVO PARA DESMONTE DE ROCHA - "FRACT-AG"

5.10.1. Descrição do método

O produto denominado Fract.Ag é uma massa bastante expansiva utilizada para romper, cortar e demolir rochas, betões e cimentos armados em situações onde, por razões de segurança, o uso de explosivos não é permitido. A fragmentação ou desmonte do material é feito através da

expansão deste produto, que exercita sobre as paredes do furo, segundo o seu fabricante (CHIMICA EDILE ARTIGIANA, s.d.), uma força unitária superior a 780 MPa, o que proporciona o aparecimento de rachaduras.

O Fract.Ag pode ser empregado nos seguintes trabalhos:

- escavação de fundações;
- aplainamento de rochas para construção de estradas;
- escavação de trincheiras para o posicionamento de condutos;
- escavações subterrâneas;
- escavações marítimas, mesmo submarinas;
- eliminação de blocos de pedra;
- demolição de pilastras, torres, paredes, bermas, etc de cimento ou de cimento armado;
- demolição de fundações;
- demolição de quebra-mares;
- demolição de obras de tijolo ou refratários.

Apesar do grande número de aplicações existe um empecilho fundamental à disseminação do seu uso: o preço. O fabricante confirma que devido ao custo ser mais alto do que os dos explosivos normais o Fract.Ag não é recomendado para escavações de minas a céu aberto e escavações de túneis com frente de avanço largos. Todavia, o produto é tecnicamente e economicamente vantajoso para as seguintes aplicações:

- demolições limitadas de rochas ou estruturas de cimento onde as obras adjacentes não podem ser danificadas pelas vibrações geradas pelos explosivos;
- pré-fissuramento de formações rochosas com, a criação de blocos isolados que, portanto, podem ser demolidos mais facilmente;
- corte de blocos de mármore, de uma maneira mais econômica do que o corte com serra helicoidal;
- escavação ou demolição de formações rochosas ou estruturas de cimento, onde o uso de explosivos demonstra-se antieconômico por causa de perdas de tempos de operação, devidas às precauções requisitadas para transporte, o armazenamento e a manipulação de explosivos, e ao respeito das regulamentações de segurança pública.

5.10.2. Características ambientais positivas.

A grande vantagem, que poderia se contrapor ao seu elevado custo, seria a preocupação ambiental. já que ele possui as seguintes vantagens:

- não produz gases ou poeiras;
- não deixa resíduos nocivos;
- é bastante seguro de se manusear;
- é silencioso;
- não provoca lançamento de detritos;
- não produz vibração.

Não se obteve na literatura nenhum artigo independente sobre o produto e que pudesse justificar os termos "silencioso" e "sem vibração".

A figura 5.14 ilustra a fragmentação de um matacão com o produto Fract.Ag.

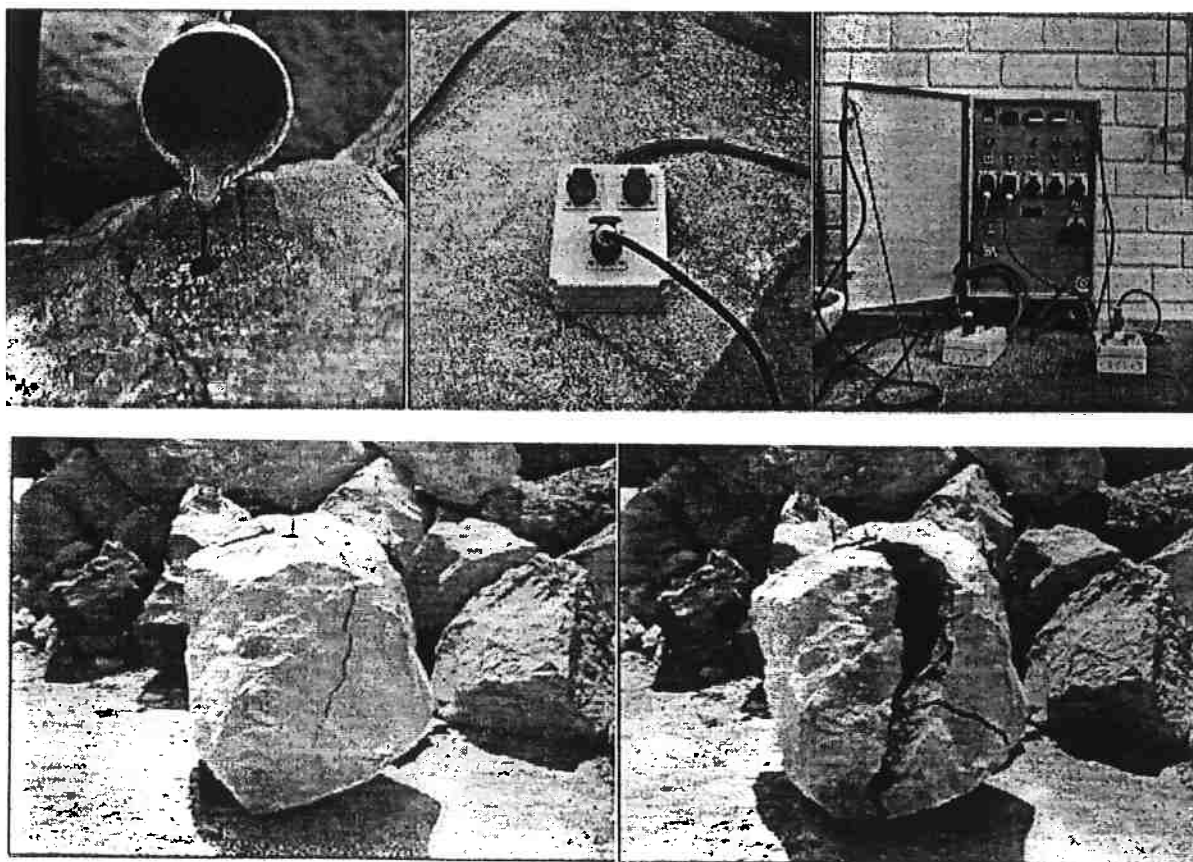


Figura 5.14. Seqüência de quebra de bloco por meio do Fract.AG. (CHIMICA EDILE ARTIGIANA. s.d.)

CAPÍTULO 6

DESMONTES MONITORADOS DEVIDO À NECESSIDADE DE CONTROLE AMBIENTAL

Nos monitoramentos efetuados as preocupações principais das empresas têm sido o controle ambiental das vibrações e dos ruídos provenientes das detonações (no caso de pedreiras) e o controle de material particulado e ultra-lançamentos para as implosões. Para alguns desmontes o monitoramento sismográfico foi efetuado para o controle interno e proteção de equipamentos e instalações.

Os resultados obtidos nestes monitoramentos foram muito úteis para um mapeamento dos resultados análise dos resultados obtidos em termos de efeitos adversos decorrentes dos desmontes por uso de explosivos. Durante um período de mais de três anos foram realizados vários monitoramentos sismográficos em diversos estados brasileiros, e para pedreiras, minas a céu aberto, minas subterrâneas, barragens, túneis urbanos, implosão de edifícios desmontes subaquáticos.

Os desmontes por explosivos que foram monitorados com sismógrafos de engenharia podem ser classificados em 4 tipos: desmonte tradicional, pré-fissuramento, desmonte cuidadoso e desmontes especiais.

6.1. ALAGOAS

Foi realizado um monitoramento sismográfico na Mina Santa Tereza de calcário, localizada no município de São Miguel dos Campos, nas proximidades de Maceió - AL. Os valores obtidos são apresentados nas figuras 6.1. 6.2 e 6.3.

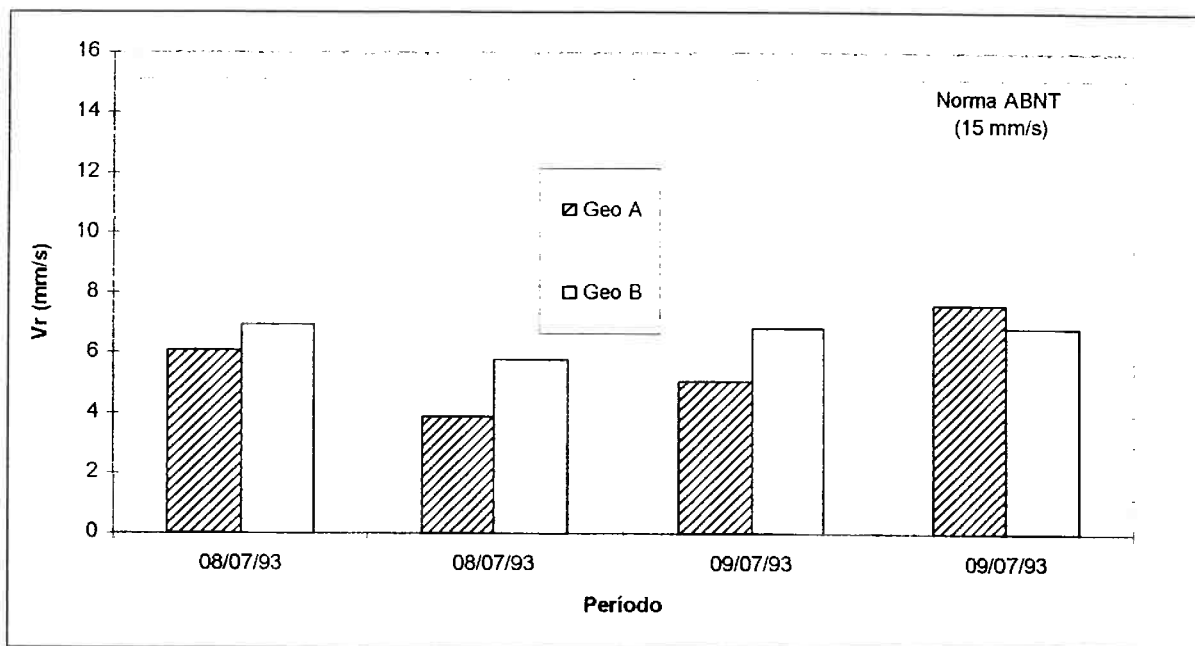


Figura 6.1. Valores medidos para velocidade resultante de partícula (V_r).

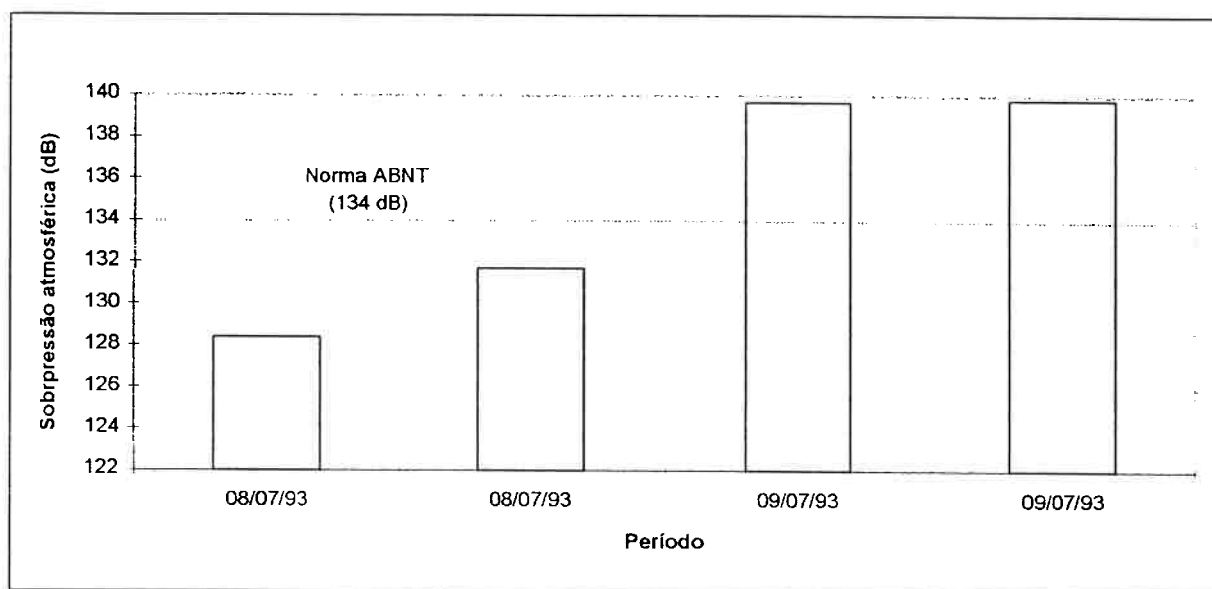


Figura 6.2. Valores medidos de sobrepção atmosférica.

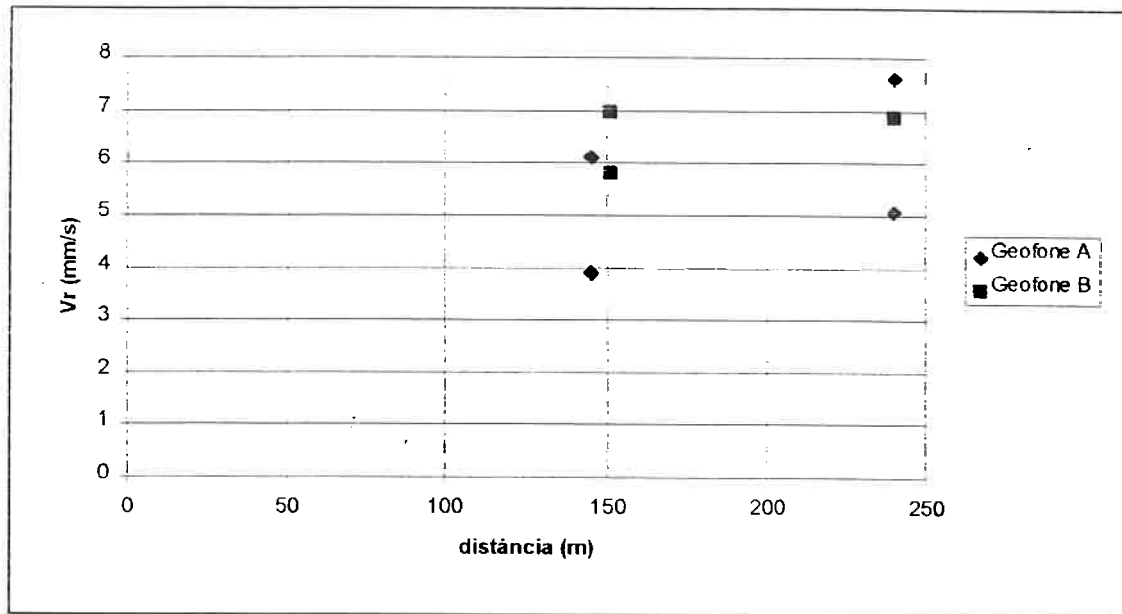


Figura 6.3. Figura da velocidade de partícula em função da distância à detonação.

Estes foram valores medidos para um teste de desmonte com malha normal de 1,5 x 4 m com furos de 3" (os dois últimos eventos) e também para uma malha quadrada de 3,5 x 3,5 m e furos de 4" (dois primeiros eventos).

Este monitoramento teve como objetivo verificar se os níveis de vibração e sobrepressão atmosférica estavam dentro dos limites preconizados pela norma ABNT NBR-9653, que estabelece o limite de 15 mm/s para a velocidade de vibração de partícula e 134 dB(A) para a sobrepressão atmosférica, e verificar a eficiência dos dois tipos planos de fogo adotados quanto aos resultados do desmonte e efeitos ambientais adversos. Como eram desmontes experimentais, o monitoramento não foi feito fora dos limites da propriedade da Mina.

Pôde-se constatar que os valores de velocidade de vibração ficaram abaixo da norma ABNT, o que indicou que estes desmontes estavam adequados de acordo com a preocupação em relação à vibração enquanto que os valores de sobrepressão atmosférica para a malha quadrada ficaram acima da norma (RELATORIO LACASEMIN MI/587 - 13/93, 1993).

As vibrações medidas pelo geofone B para os quatro eventos variaram pouco (entre 5,80 e 6,80 mm/s), enquanto que os valores medidos pelo geofone A variaram bastante (entre 3,88 e 7,61), apesar destes dois estarem praticamente a uma mesma distância do desmonte. Isto indica que além da variação da carga máxima por espera e da distância, um outro fator influenciou a propagação (como planos preferenciais de fraqueza, etc).

6.2. GOIÁS

Foi feito o monitoramento sismográfico de desmontes subaquáticos e a céu aberto durante a execução da IV Etapa de ampliação da Usina Hidrelétrica de Cachoeira Dourada - GO. Uma parte desta etapa (na qual se fez o monitoramento) foi a remoção de um septo utilizado como ensecadeira do Rio Paranaíba e a também a escavação em rocha para a construção de um túnel interligando este rio ao edifício onde foram instaladas a série de turbinas. As figuras 6.4, 6.5, 6.6 e 6.7 ilustram os resultados obtidos.

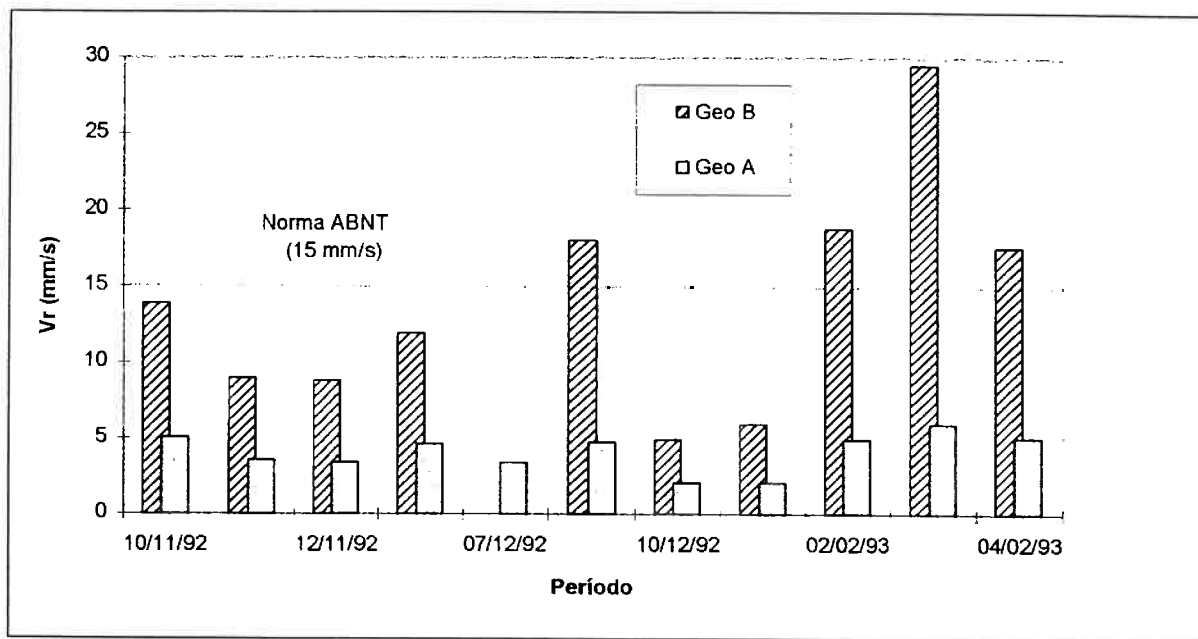


Figura 6.4. Valores medidos, para cada um dos geofones, de velocidade de partícula resultante para desmontes a céu aberto.

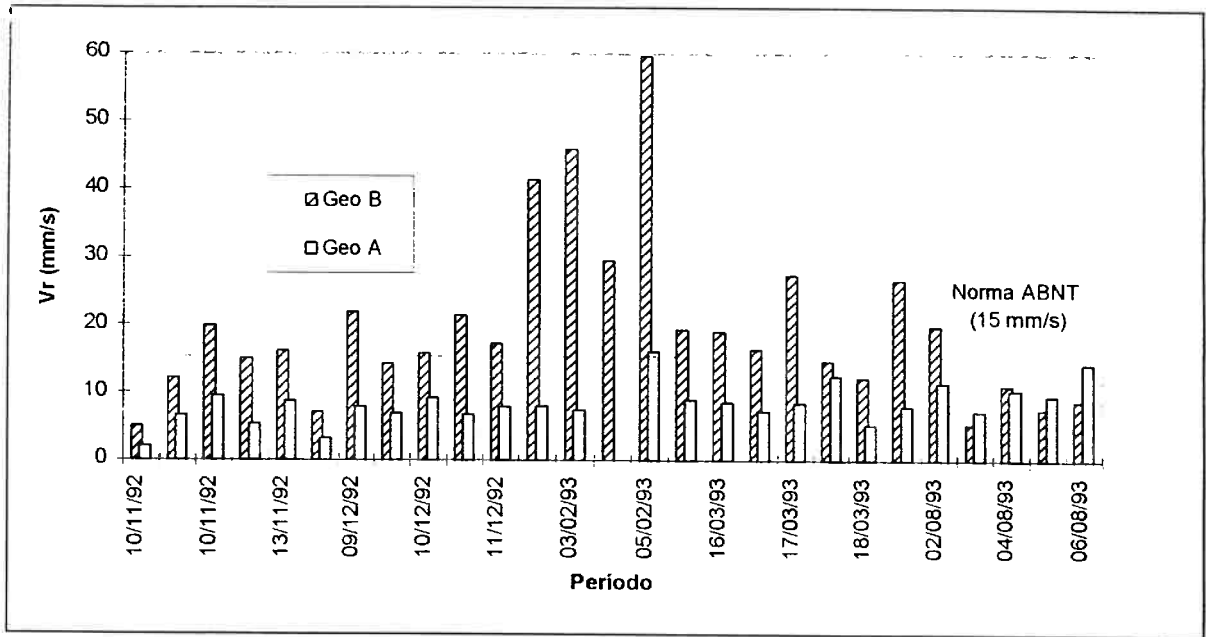


Figura 6.5. Valores medidos, para cada um dos geofones, de velocidade de partícula resultante (V_r) para desmontes subaquáticos.

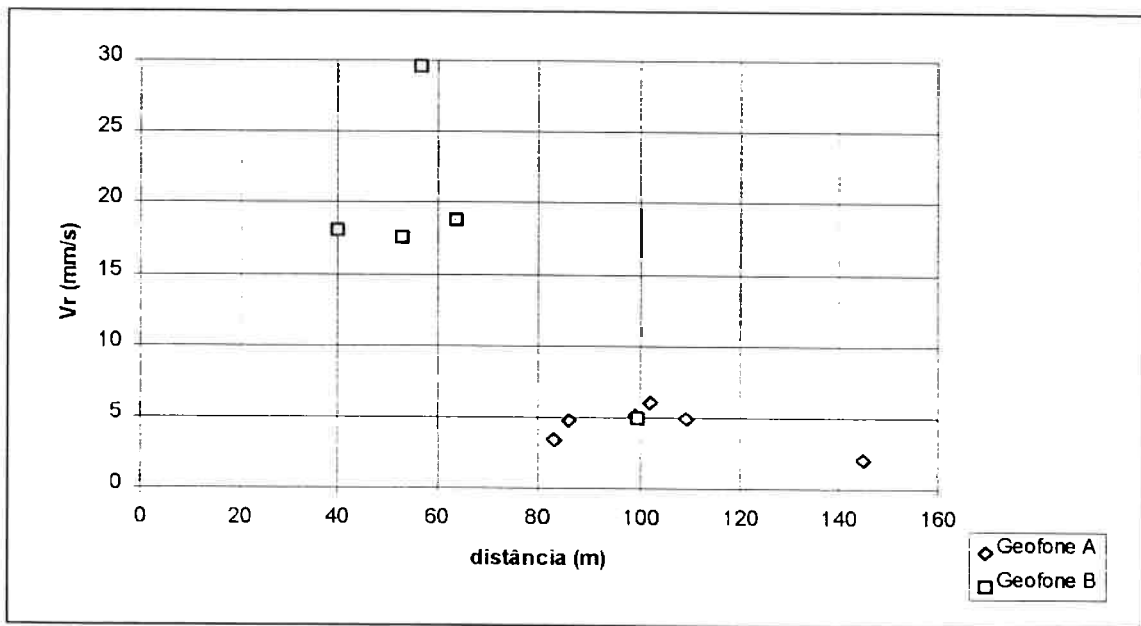


Figura 6.6. Figura da velocidade de partícula resultante em função da distância da detonação para desmontes a céu aberto.

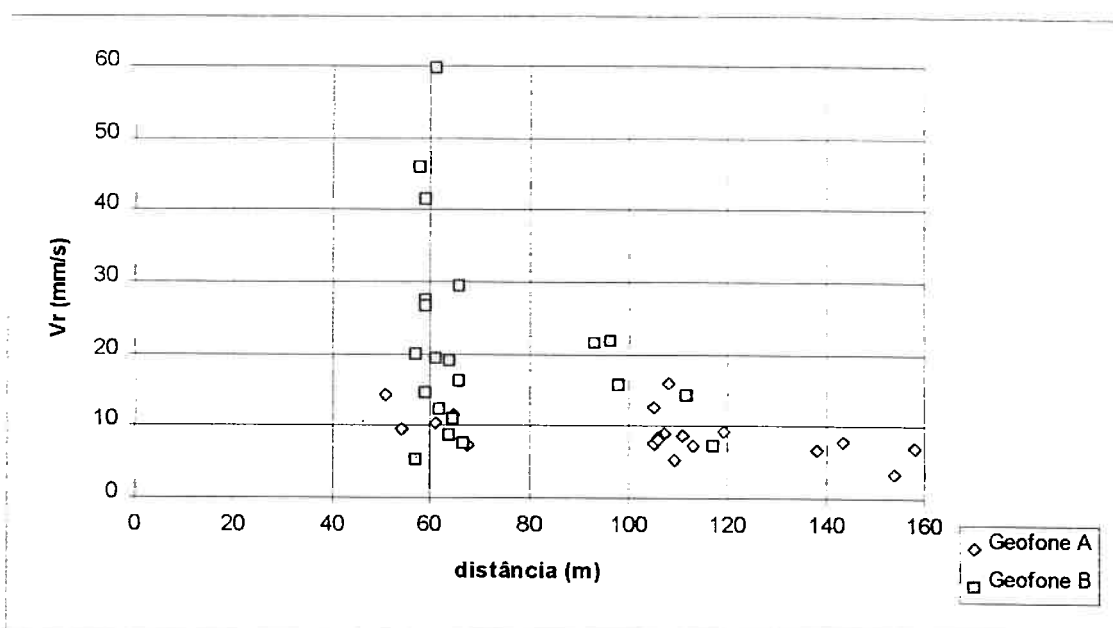


Figura 6.7. Gráfico da velocidade de partícula em função da distância da detonação para desmontes subaquáticos.

O monitoramento sismográfico foi necessário devido ao fato de que vibrações acima de um certo limite estabelecido (para as estruturas) poderiam desligar os equipamentos da casa de força resultando na interrupção do fornecimento de energia elétrica para a região servida pela usina. Não havia exatamente uma preocupação ambiental como o incômodo gerado pela vibração e sobrepressão atmosférica (devido à distância da comunidade), esta era de caráter estrutural e operacional. Desse modo não foi solicitado o monitoramento das sobrepressões atmosféricas.

Os gráficos 6.6 e 6.7 mostram as variações da velocidade de vibração de partícula em função das distâncias, sendo que as velocidades de partícula também variaram em função das cargas máximas por espera para uma série de desmontes subaquáticos e de superfície. O ideal seria que cada detonação fosse monitorada com vários pontos (geofones ou micro-sismógrafos) espaçados igualmente numa linha reta em determinada direção. Com isto se através dos pontos plotados num gráfico log-log efetuar uma regressão e obter uma equação relacionando a carga máxima por espera com a distância.

Comparando-se os gráficos 6.4 e 6.7 pôde-se notar a diferença nos valores obtidos a céu aberto e subaquático. Isto pode ser explicado, a despeito de algumas variações na carga máxima por espera, pelo fato da água ser um meio incompressível, ou seja, durante a detonação ela atua como um meio sólido fazendo com que haja menor dissipação da vibração com a distância.

Foram adotados alguns limites de segurança para as estruturas, sendo que o valor máximo da vibração para a casa de força (próximo ao geofone A) foi de 20 mm/s enquanto que o valor máximo para a base das turbinas foi de 50 mm/s (geofone B). Pode-se observar estes limites foram ultrapassados em apenas uma ocasião (ainda que o geofone B estivesse posicionado mais próximo à detonação do que a base), o que mostra que os planos de fogo adotados foram satisfatórios (RELATÓRIOS LACASEMIN MI/587 - 01/93, MI/587 - 05/93, MI/587 - 09/93 e MI/587 - 14/93, 1993).

Tendo-se como referência a Norma ABNT nota-se que os limites estabelecidos para velocidade de vibração de partícula foram ultrapassados em diversas ocasiões, mas como o objetivo do monitoramento foi o de conformidade com o fator de segurança estrutural e operacional adotado pela construtora, pode-se dizer que os resultados foram satisfatórios quanto a estes limites adotados.

6.3. MINAS GERAIS

Foi efetuado o monitoramento sismográfico durante segunda etapa da construção do Túnel de Carga Santa Inês da RRFSA, em Belo Horizonte - MG, onde a escavação em rocha foi feita por meio de explosivos e técnicas de desmonte cuidadoso. Os valores obtidos podem ser vistos nas figuras 6.8, 6.9 e 6.10.

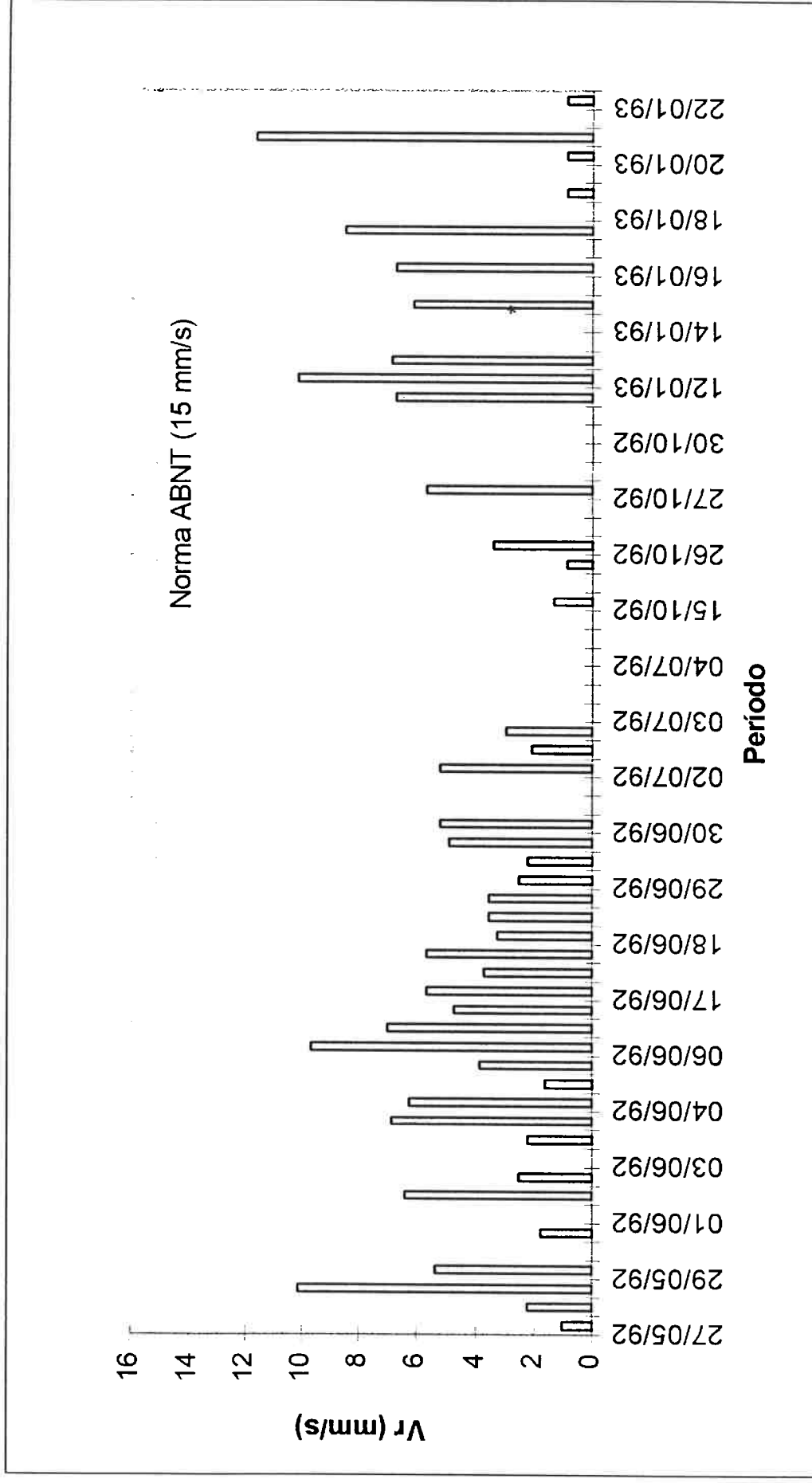


Figura 6.8. Distribuição dos valores monitorados ao longo do período. Os valores de zero representam na realidade valores de vibração menores do que 0,75 mm/s.

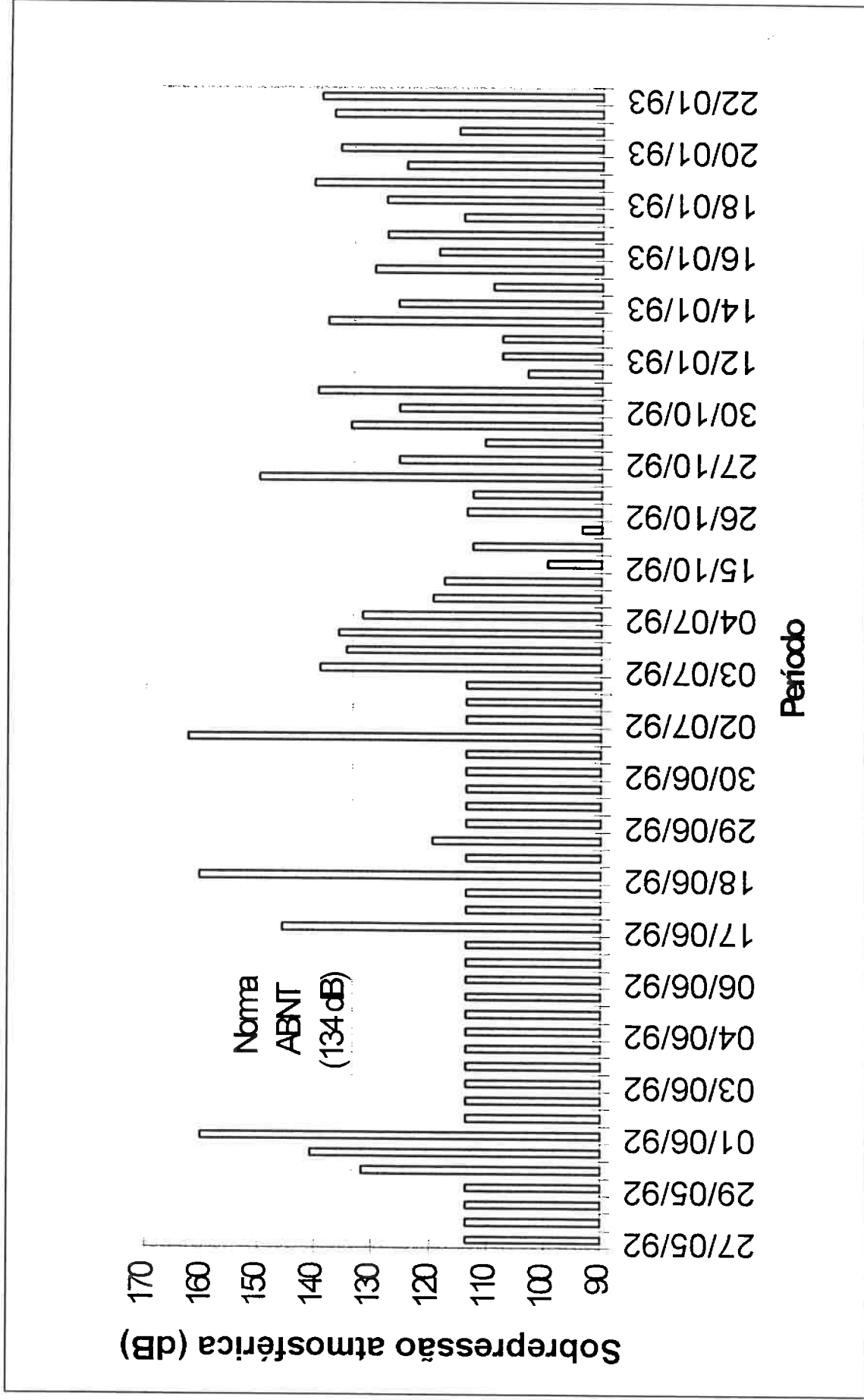


Figura 6.9. Distribuição da sobrepressão atmosférica ao longo do período.

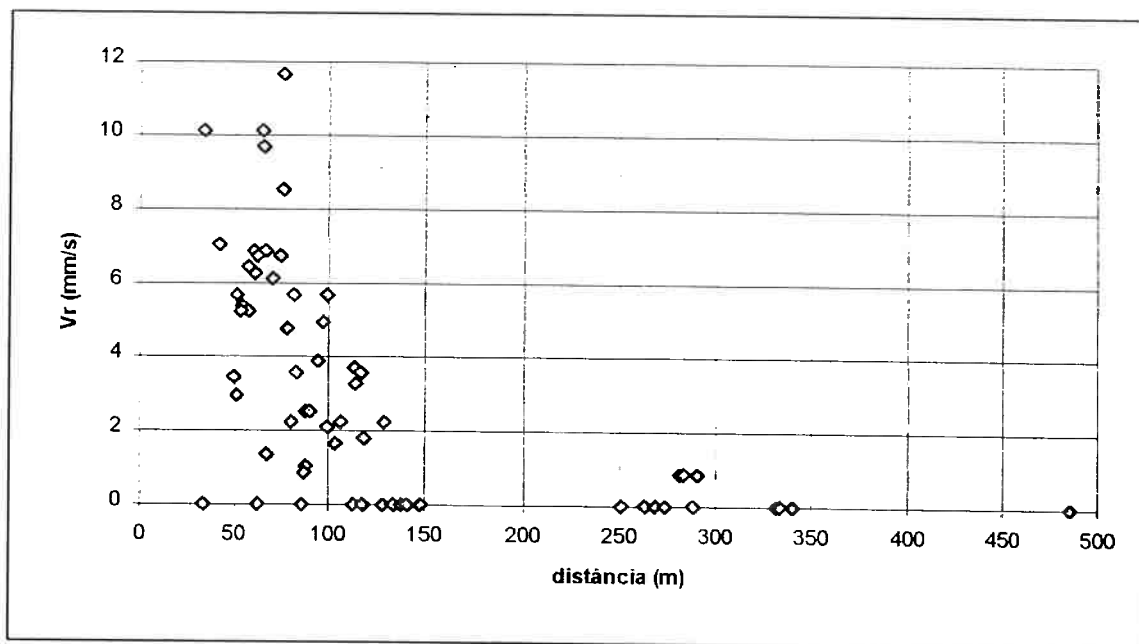


Figura 6.10. Gráfico da velocidade de partícula em função da distância à detonação.

A necessidade do monitoramento deveu-se a reclamações por parte de alguns moradores próximos à obra, que acusaram o aparecimento de algumas rachaduras em suas casas após o início dos desmontes. Os valores monitorados foram comparados com a Norma NBR-9653 (15 mm/s para vibração e 134 dB para sobrepressão).

Devido ao grande número de medições, pôde-se fazer um gráfico da velocidade de vibração em função das distâncias dos pontos monitorados e relacioná-las com a carga máxima por espera para cada evento. De acordo com o gráfico 6.10 e os dados de campo foi possível observar que os maiores níveis de vibração foram monitorados para pontos situados a distâncias que variavam entre 40 e 120 metros. Pôde-se considerar que o fator dominante para estas vibrações mais altas (que no entanto não ultrapassaram o limite da ABNT de 15 mm/s) foi a distância menor, uma vez que as cargas máximas por espera se mantiveram na faixa média de 6 a 9 kg (RELATÓRIOS LACASEMIN MI/587 - 10/92 e MI/587 - 04/93, 1992-3).

Já os valores de sobrepressão atmosférica superaram muitas vezes o limite de 134 dB. Uma explicação é a localização dos pontos monitorados, onde algumas das casas situavam-se de frente para a boca do túnel e estavam bem próximas a ele quando as escavação estavam seu no início. Isto pode ter gerado um efeito do tipo "tiro de canhão".

Apesar disto pode-se dizer que plano de fogo, uma variação do pré-fissuramento, funcionou em termos de vibração. Para se controlar melhor a sobrepressão alguns cuidados poderiam ser tomados como não detonar em dias de nuvens baixas, inversões térmicas ou ventos desfavoráveis além de se certificar de que não haveriam sobreposições nos tempos de detonação dos furos, o que poderia ter aumentado os níveis de sobrepressão atmosférica. Poderia também se pensar em algum tipo de

proteção na boca do túnel como tapumes e coberturas de terra para impedir ou dissipar a propagação da onda.

Por se tratar de desmontes de produção, o desmonte por explosivos era, talvez, a única opção viável em função do seu preço e também da resistência da rocha.

6.4. PARAÍBA

Foi efetuado o monitoramento sismográfico de desmonte de rocha calcária em uma mineração situada dentro da área urbana do município de João Pessoa - PB. Os resultados obtidos são mostrados nas figuras 6.11, 6.12 e 6.13.

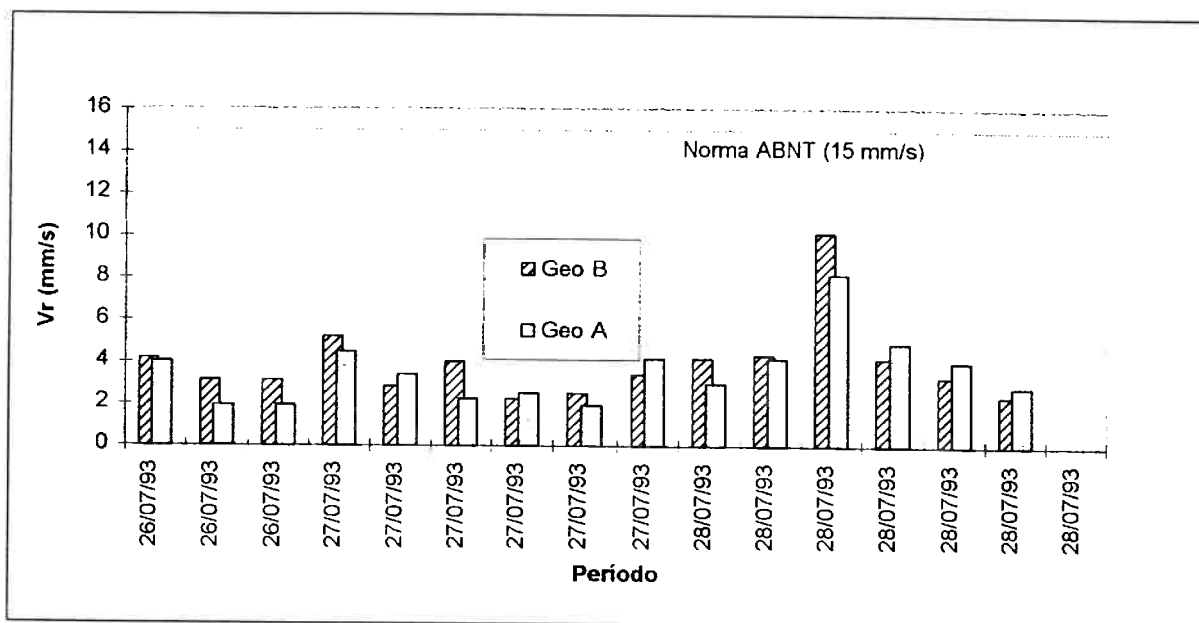


Figura 6.11. Distribuição dos valores medidos de vibração ao longo do período.

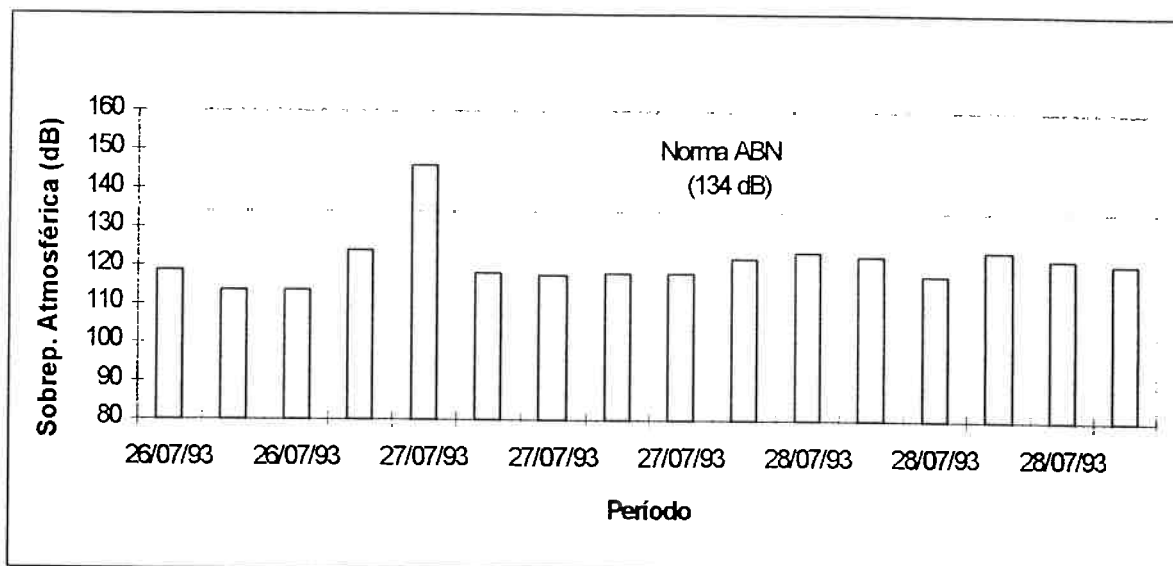


Figura 6.12. Distribuição da sobrepressão atmosférica medida ao longo do período.

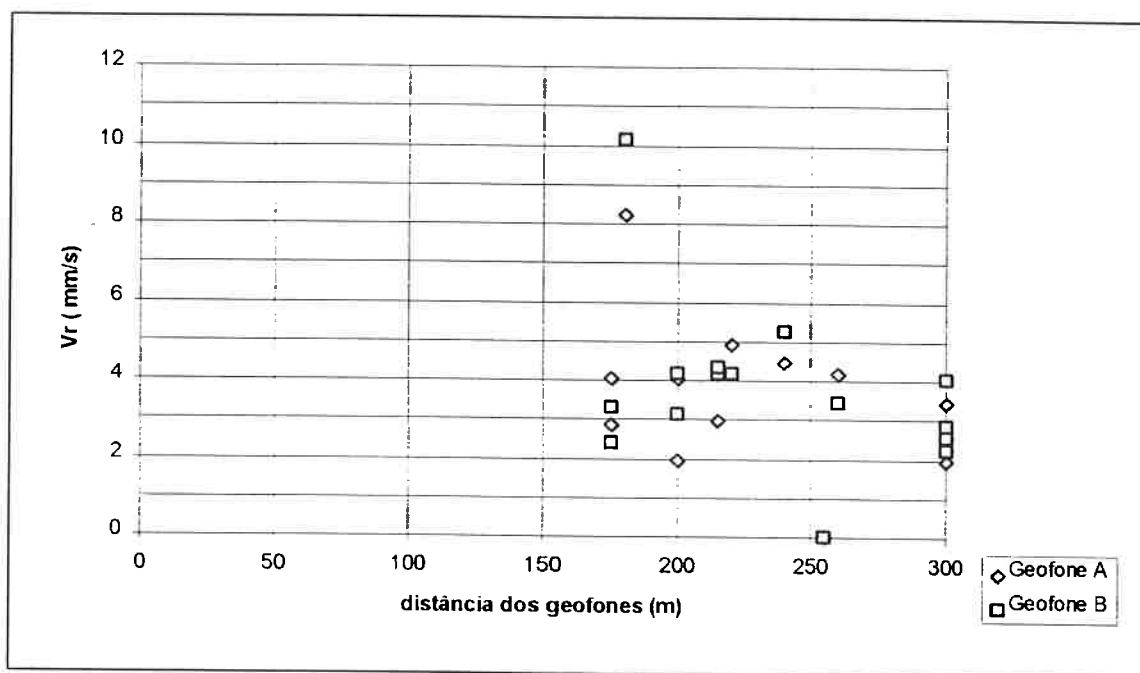


Figura 6.13. Figura da velocidade de partícula em função da distância à detonação.

O objetivo do monitoramento foi verificar se os níveis de vibração e sobrepressão atmosférica medidos nos limites da propriedade da mineração e também em construções próximas à mineração estavam dentro dos limites preconizados pela norma NBR-9653 para se evitar possíveis reclamações futuras. Através dos resultados do monitoramento se poderia adequar melhor as características do plano de fogo com relação aos níveis de vibração e sobrepressão.

De acordo com os gráficos acima os níveis de vibração medidos para estes desmontes não ultrapassaram o limite estabelecido pela Norma ABNT, ao passo que o limite de sobrepressão foi ultrapassado em uma ocasião. De um modo geral, uma melhora nos valores pode ser obtida empregando-se as regras de procedimento técnico adequado, tais como não detonar com inversão térmica, com nuvens baixas ou com ventos desfavoráveis; usar sempre a cobertura do cordel detonante e utilizar barreiras para proteção e fazer o uso adequado de retardos.

Por se tratar de uma zona urbanizada talvez fosse viável a aplicação da técnica do "drop ball" para os desmontes secundários (fogachos), uma vez que a sobrepressão atmosférica pareceu ser o principal incômodo para a população (RELATÓRIO LACASEMIN MI/587-16/93, 1993).

6.5. PARANÁ

Foi efetuado o monitoramento sismográfico da 2ª etapa de ampliação da barragem de rejeitos da MDR - Mineração Del Rey Ltda. Os resultados do monitoramento podem ser vistos nas figuras 6.14 e 6.15.

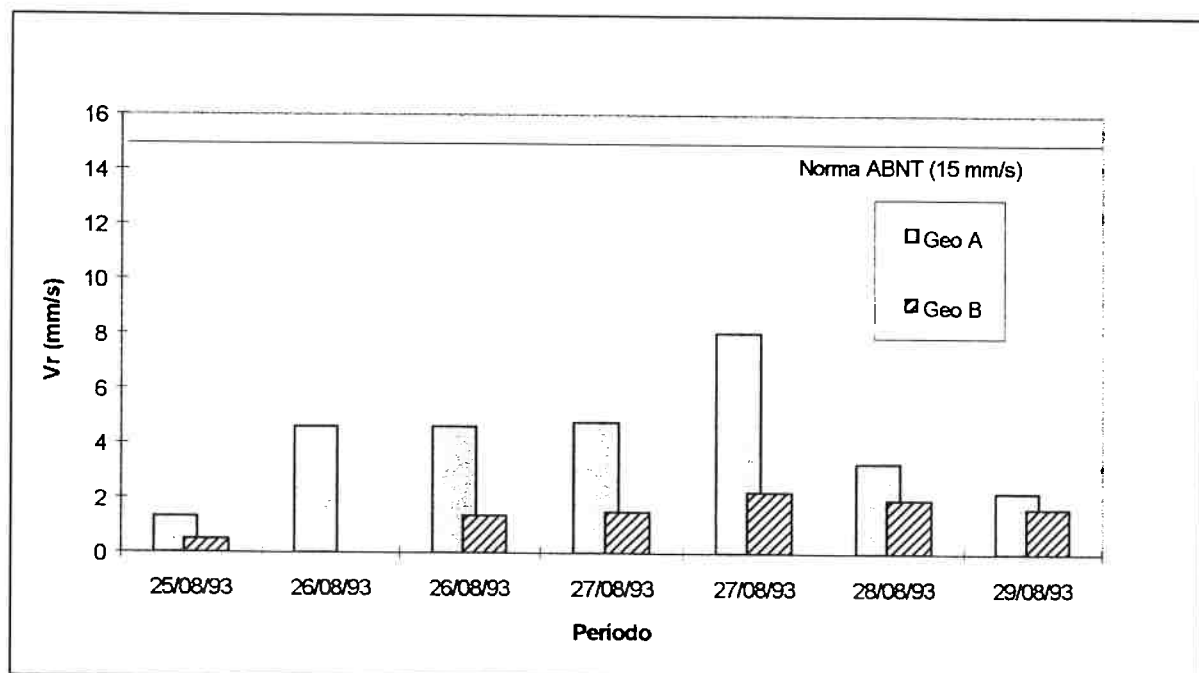


Figura 6.14. Distribuição das velocidades de partícula resultantes (V_r) ao longo do período de monitoramento.

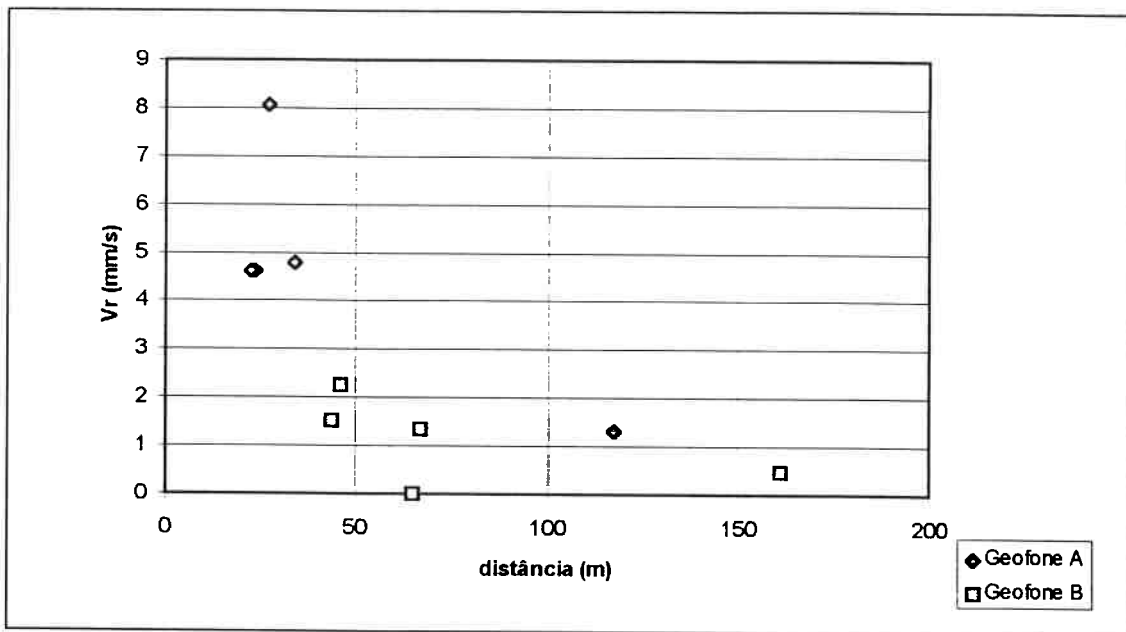


Figura 6.15. Figura da velocidade de partícula resultante em função das distância às detonações.

A necessidade do monitoramento ocorreu em função da abertura de um canal extravazador por meio de desmonte controlado. A proximidade deste canal junto à barragem poderia por em risco a integridade da estrutura da barragem, pois uma vibração muito alta provocada pelas detonações, poderia comprometer a sua estrutura.

O desmonte controlado caracterizou-se por: uma malha de furos com espaçamento pequeno (0,5 a 0,8 m); razões de carregamento linear e volumétrica baixas; uso de linhas de pós-fissuramento e dois tipos de circuitos de iniciação (RELATÓRIO LACASEMIN MI/587-17/93, 1993).

A utilização de desmontes controlados e o monitoramento sismográfico sistemático de modo a se fazer uma avaliação dos níveis de vibração através dela adequar as características dos planos de fogo, foram as ferramentas utilizadas para se manter a integridade da barragem.

De acordo com os resultados obtidos pode-se verificar que os valores de velocidade de partícula estavam abaixo do limite estipulado pela empresa responsável (30 mm/s) para a integridade da barragem assim como do limite estabelecido pela ABNT, que no caso serviu apenas como uma referência.

6.6. RIO DE JANEIRO

6.6.1. Escavação em rocha

Foi efetuado o monitoramento sismográfico de escavação em rocha por meio de explosivos para a construção da fundação da estrutura do Shopping Center Iguatemi, na cidade do Rio de Janeiro. As figuras 6.16, 6.17 e 6.18 ilustram os resultados obtidos.

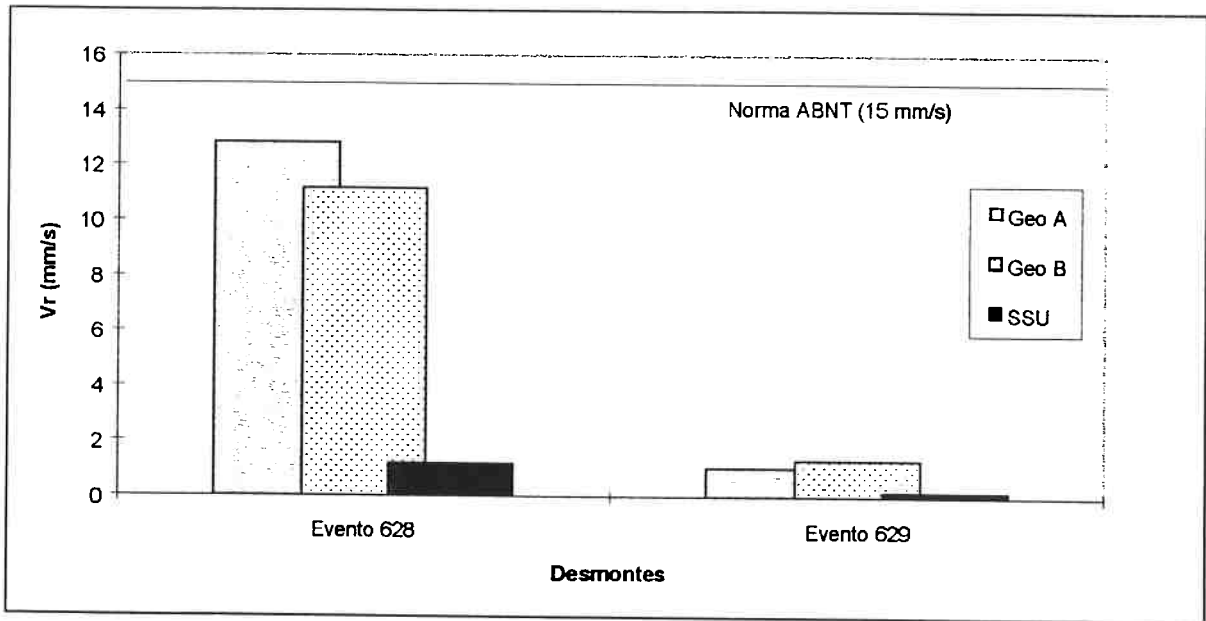


Figura 6.16. Valores medidos de velocidade de partícula resultante (V_r) por cada um dos três sensores para os dois eventos distintos.

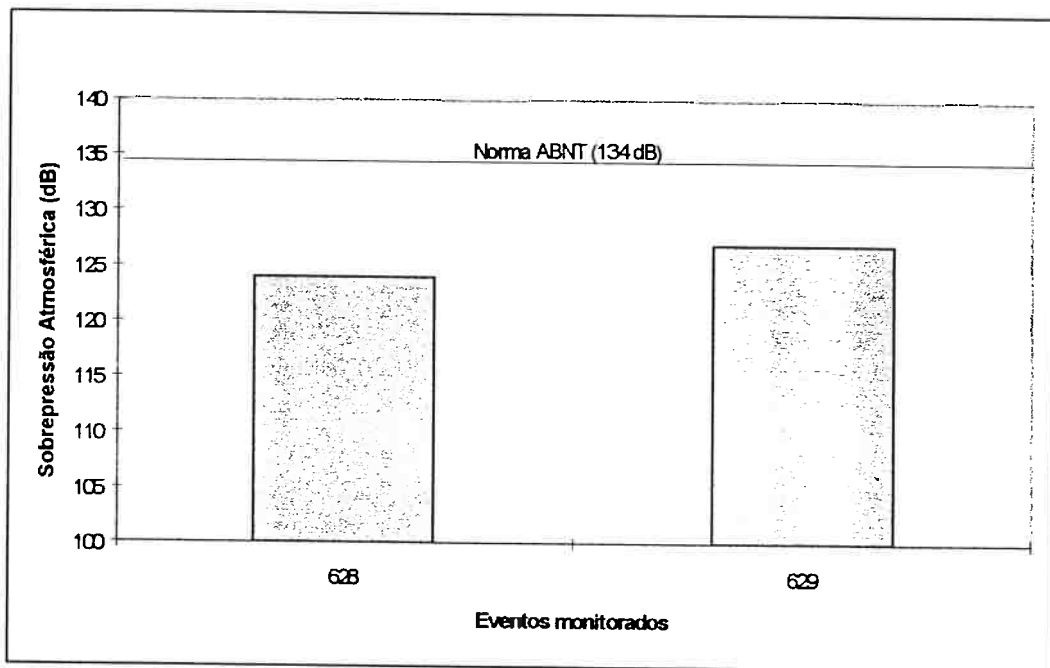


Figura 6.17. Valores medidos de sobrepção atmosférica para os dois eventos.

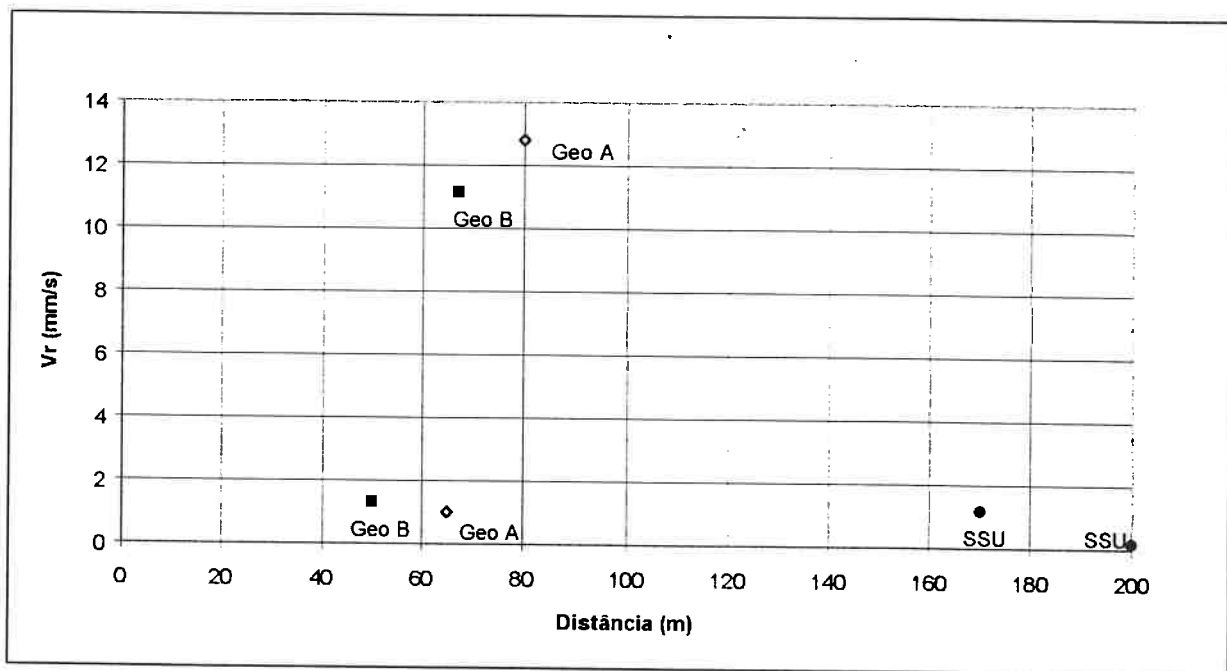


Figura 6.18. Figura da velocidade de partícula resultante de cada sensor em função das distância às detonações.

O objetivo deste monitoramento foi o de verificar os níveis de vibração e sobrepressão atmosférica decorrentes da detonação de explosivos e compará-los aos limites preconizados pela norma ABNT NBR-9653.

De acordo com o gráfico acima pode-se observar que os níveis de vibração não ultrapassaram o limite estabelecido pela ABNT (15 mm/s). As diferenças na intensidade das vibrações entre os dois eventos se deu principalmente devido à diferença de cargas máximas por espera (na proporção de 1 para 20), enquanto que o fator distância foi o responsável pelas diferenças nos valores medidos pelos sensores para um mesmo evento (RELATÓRIO LACASEMIN 01/95, 1995)

6.6.2. Implosão de edifício

Foi efetuado o monitoramento sismográfico da implosão do Edifício Machado Coelho em 6 pontos instalados ao seu redor. O edifício estava localizado na Vila Mimosa, Cidade Nova, centro do Rio de Janeiro.

Como a técnica de implosão envolve sempre o uso de explosivos, há sempre a possibilidade de efeitos indesejáveis inerentes a ela, sendo que os principais são o ultra-lançamento, geração de poeira e também a propagação indesejada de vibração e de sobrepressão atmosférica. O efeito imediato e principal da detonação destes explosivos, apesar de terem sido divididos em vários

retardos, foi a propagação de sobrepressão, enquanto que a propagação da vibração foi um efeito relacionado mais à queda do edifício.

Uma demolição convencional levaria cerca de dois meses para ser executada, enquanto que o trabalho de preparação da implosão levou menos de uma semana e o tempo da implosão foi de pouco mais de (5) cinco segundos. A remoção levou dez dias e houve a vantagem do custo, estimado em 65 % do valor de uma demolição convencional.

A técnica da implosão procura evitar o ultra-lançamento de materiais e diminuir a geração e dispersão de poeira através da utilização de tapumes de madeira e lonas. Procurou-se restringir a poeira num raio de 50 metros, com a mesma se dispersando totalmente em cinco minutos.

Para a implosão utilizou-se 50 kg de explosivo gelatinizado (Britagel), inserido em 350 furos distribuídos ao longo dos sete primeiros andares. A utilização de um sistema de retardamento na detonação dos furos é fundamental para o sucesso desta operação. Por isso foram utilizados diversos retardos (Brinel) com diferenças de tempo de 25 ms.

As figuras 6.19 e 6.20 ilustram os resultados obtidos.

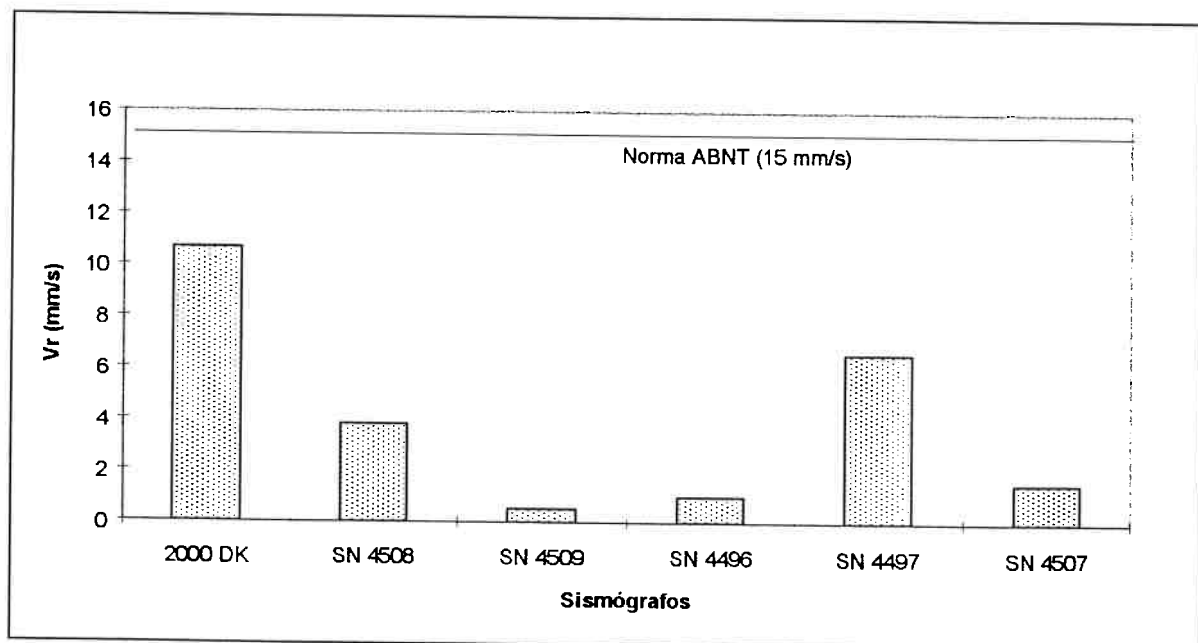


Figura 6.19. Valores de velocidade de partícula resultante (V_r) medidos para cada sensor.

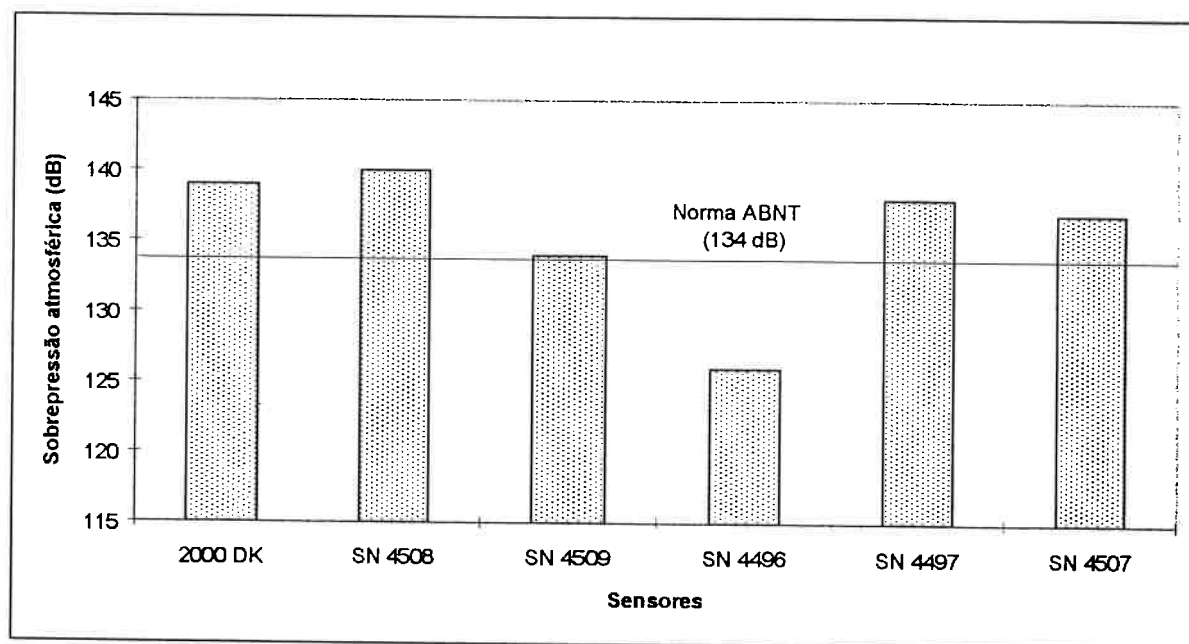


Figura 6.20. Valores de sobrepressão atmosférica medidos para cada sensor.

Este trabalho teve como objetivo uma avaliação dos níveis de vibração e de sobrepressão atmosférica decorrentes da implosão do edifício citado e compará-los aos limites estabelecidos pela norma brasileira (ABNT NBR-9653). Os resultados do monitoramento foram utilizados para se verificar a eficácia do plano de fogo proposto pela CDI (empresa responsável pela implosão) em relação aos níveis de vibração e de sobrepressão atmosférica tecnicamente desejados e também como uma forma de se resguardar de futuras e eventuais reclamações decorrentes de danos estruturais atribuídos à implosão, inclusive ultra-lançamentos.

O gráfico dos valores de velocidade de partícula mostra que o limite estabelecido pela ABNT não foi ultrapassado. As diferenças entre os valores medidos ocorreram em função das distâncias de monitoramento e também da estrutura do local de monitoramento. Ao que parece a estrutura do metrô onde foram instalados os sensores 4496 e 4509 absorveu parte da vibração, pois os mesmos se encontravam a distâncias similares aos sensores 2000 DK, 4508 enquanto que os sensores 4497 e 4507 estavam a uma maior distância, sendo que o sensor 4497 sofreu um efeito de amplificação da vibração por ter sido instalado no topo de um edifício (RELATÓRIO LACASEMIN 06/95, 1995).

Quanto à sobrepressão 5 dos 6 pontos atingiram o limite estabelecido pela Norma ABNT. Por se tratar de um evento único pareceu que este efeito não causou incômodo à população.

6.6.3. Implosão dos antigos edifícios da Polinter e da Secretaria Municipal - RJ.

Foi efetuado o monitoramento sismográfico da implosão dos antigos edifícios da Polinter e da Secretaria Municipal do Rio de Janeiro. Este monitoramento sismográfico (captação de vibração e de sobrepressão atmosférica) foi executado em 6 (seis) pontos instalados nas circunvizinhanças destes edifícios, situados à Avenida Presidente Vargas no. 1200, centro do Rio de Janeiro. O monitoramento envolveu três prédios: o Palácio Itamaraty, o Hotel Noroeste e uma escola, em pontos tanto ao nível do piso como em andares superiores. Como a implosão utiliza-se de explosivos, existe sempre a possibilidade de efeitos adversos, sendo que os principais são o ultra-lançamento, geração de poeira e também a propagação indesejada de vibração e de sobrepressão atmosférica. Havia uma grande preocupação quanto à preservação da estrutura do Palácio Itamaraty e também das obras de arte e de um lustre de valor inestimável no seu interior, por isso, o palácio recebeu maior atenção quanto a proteções contra ultra-lançamentos e poeira. As figuras 6.21 e 6.22 ilustram os resultados obtidos.

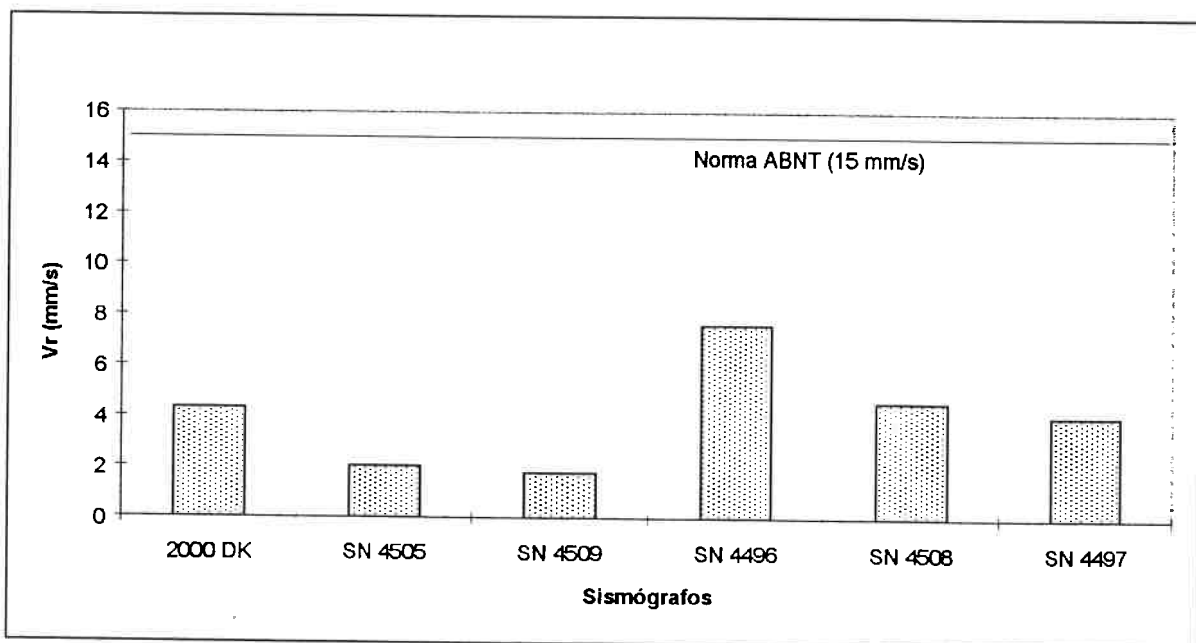


Figura 6.21. Valores de velocidade de partícula resultante (V_r) medidos para cada sensor. Os sensores foram dispostos da seguinte forma: 2000 DK, SN 4505 e SN 4509 - dentro do Palácio Itamaraty; SN 4508 e 4496 - dentro da escola e SN 4497 no hotel.

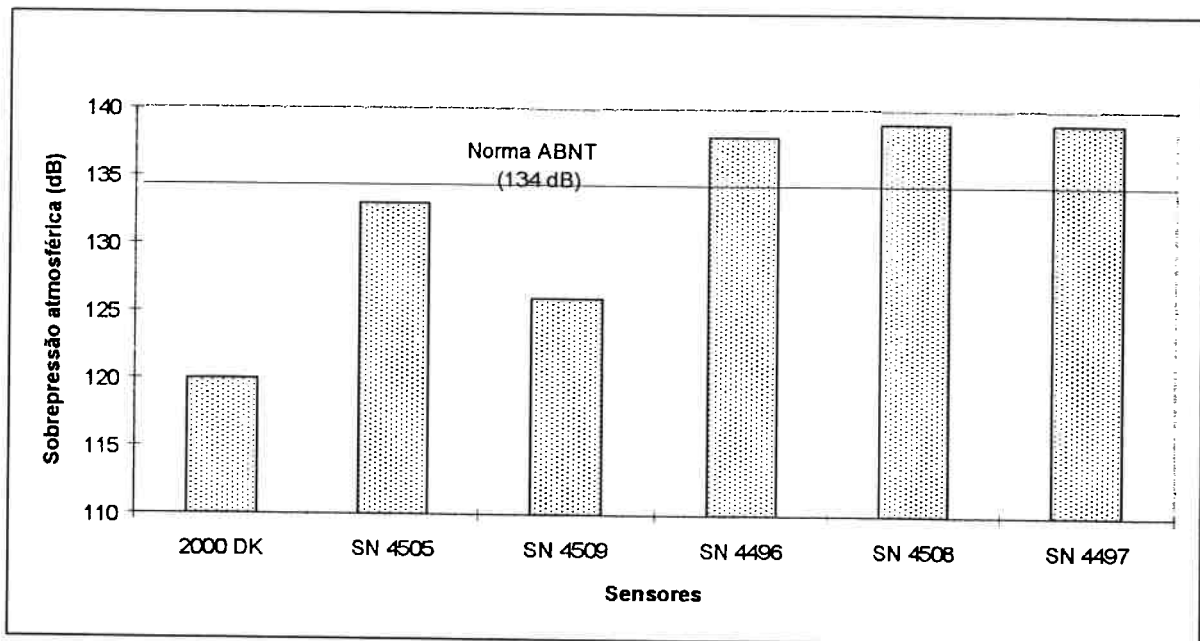


Figura 6.22. Valores de sobrepressão atmosférica medidos para cada sensor.

De acordo com os gráficos acima observa-se que os valores de velocidade de vibração de partícula não ultrapassaram o limite estabelecido pela Norma ABNT enquanto que três dos seis pontos apresentaram valores de sobrepressão acima do recomendado pela norma. Por se tratar de um evento único esta sobrepressão elevada a sobrepressão não foi motivo de incômodo à população. No entanto outros efeitos adversos ocorreram, como a quebra de uma das janelas do hotel devido ao ultra-lançamento de fragmentos e também da poeira que invadiu o Palácio, apesar de todas as medidas tomadas (RELATÓRIO LACASEMIN 03/96, 1996).

6.7. RIO GRANDE DO SUL

Foi feito o monitoramento sismográfico de desmonte de rocha por explosivos em rochas calcárias dentro de áreas de propriedade da CBC - Companhia Brasileira do Cobre. O trabalho de campo consistiu em se detonar cargas de explosivos em furos-teste e captar as vibrações decorrentes destas detonações a distâncias conhecidas. Por se tratar de um local bastante distante de moradias não houve a necessidade de monitoramento da sobrepressão atmosférica. As figuras 6.23 e 6.24 ilustram os resultados obtidos.

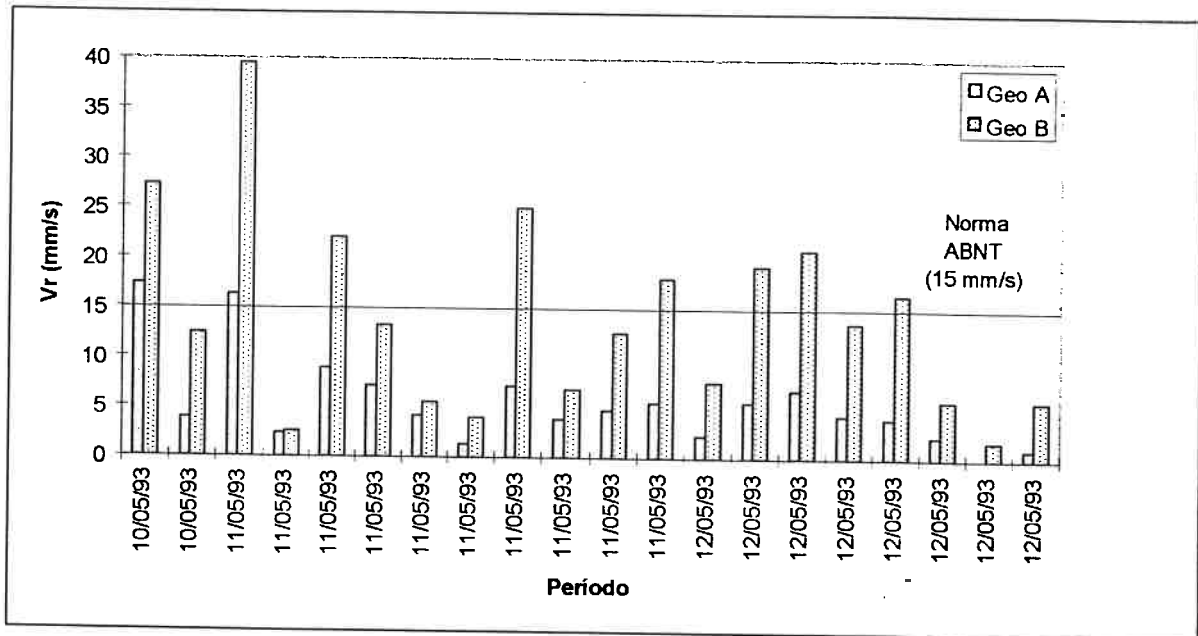


Figura 6.23. Distribuição da velocidade de vibração de partícula resultante ao longo do período de monitoramento.

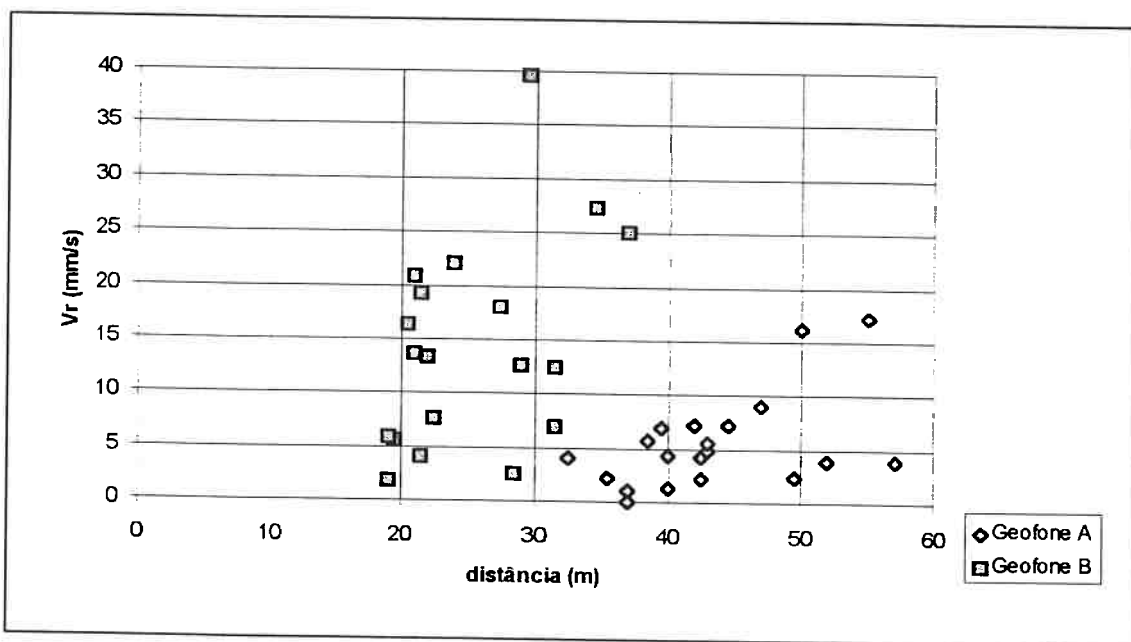


Figura 6.24. Figura da distribuição da velocidade de partícula resultante (Vr) em função das distâncias às detonações.

O objetivo principal do monitoramento foi conhecer os níveis de vibração sob determinadas condições de propagação de ondas e para determinadas condições de plano de fogo adotados (como a carga máxima por espera de explosivos) que seriam utilizadas para um melhor planejamento da exploração do calcário como rocha ornamental (mármore). Após cada detonação os locais eram

vistoriados e analisados quanto a rupturas locais da rocha, que, sofriam influências da carga de explosivos (geometria), do relevo local, da geologia, do tamponamento, da laterização da rocha e do alinhamento da linha de furos em relação à foliação do maciço rochoso (RELATÓRIO LACASEMIN MI/587 - 11/93, 1993).

Observando-se os gráficos acima verifica-se que os valores do geofone B foram sempre maiores do que os do geofone A. Isto se deve à distâncias menores em que este era sempre instalado em relação ao geofone A. Os valores medidos ultrapassaram por diversas vezes o limite da Norma ABNT, mas esta, também neste caso, serviu apenas como referência para este trabalho.

6.8. SÃO PAULO

6.8.1. Pedreira Itaquera

Monitoramento sismográfico de desmonte de rocha por explosivos para a lavra da pedreira. Trata-se de um caso típico de problemas envolvendo minerações em áreas urbanas. A ocupação do solo nas circunvizinhanças da pedreira resultou num complexo que hoje compreende moradias de populações de baixa renda situadas ao leste e ao sul da pedreira, uma estação de Metrô a noroeste e conjuntos habitacionais da COHAB a oeste. Estas últimas estão localizadas a distâncias horizontais mínimas de cerca de 80 m do início da área de propriedade da pedreira. Este foi um trabalho bastante interessante pois as medições foram sempre realizadas num mesmo ponto, o mais próximo dos desmontes, e feitas ao longo de 14 meses, o que possibilitou uma análise estatística do valores obtidos (RELATÓRIOS LACASEMIN MI/587 - 13/92, MI/587 - 06/93, MI/587 - 12/93, MI/587 - 15/93 e MI/587 - 19/93, 1992-3).

Outro aspecto importante deste trabalho refere-se a valores de normas conflitantes, pois além da Norma ABNT NBR-9653 as medições também foram balizadas pela "norma" da CETESB (D7.013 de abril de 1992), válida para "Mineração com explosivos" e que define limite para velocidade de vibração de partícula o valor da componente vertical máxima de 3 mm/s e valor da resultante máxima de 4,2 mm/s enquanto que ela estabelece que o valor máximo da sobrepressão atmosférica seja de 128 dB. Este conflito gerou uma disputa judicial entre a direção da pedreira e a CETESB.

As figuras 6.25, 6.26, 6.27 e 6.28 ilustram os resultados obtidos ao longo deste período.

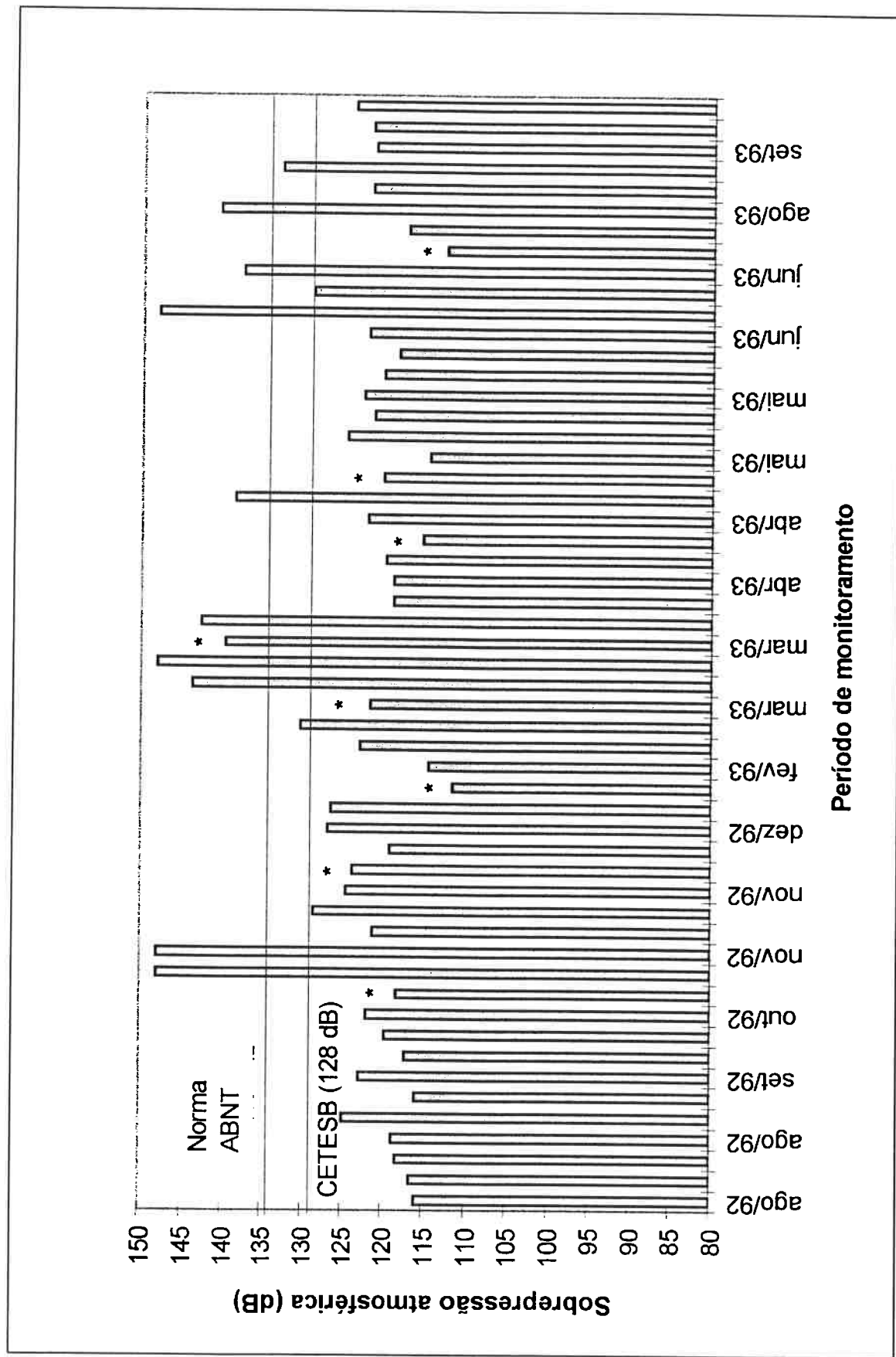


Figura 6.26. Distribuição das sobrepressões atmosféricas ao longo do período de monitoramento. * Desmonte secundário (fogacho)

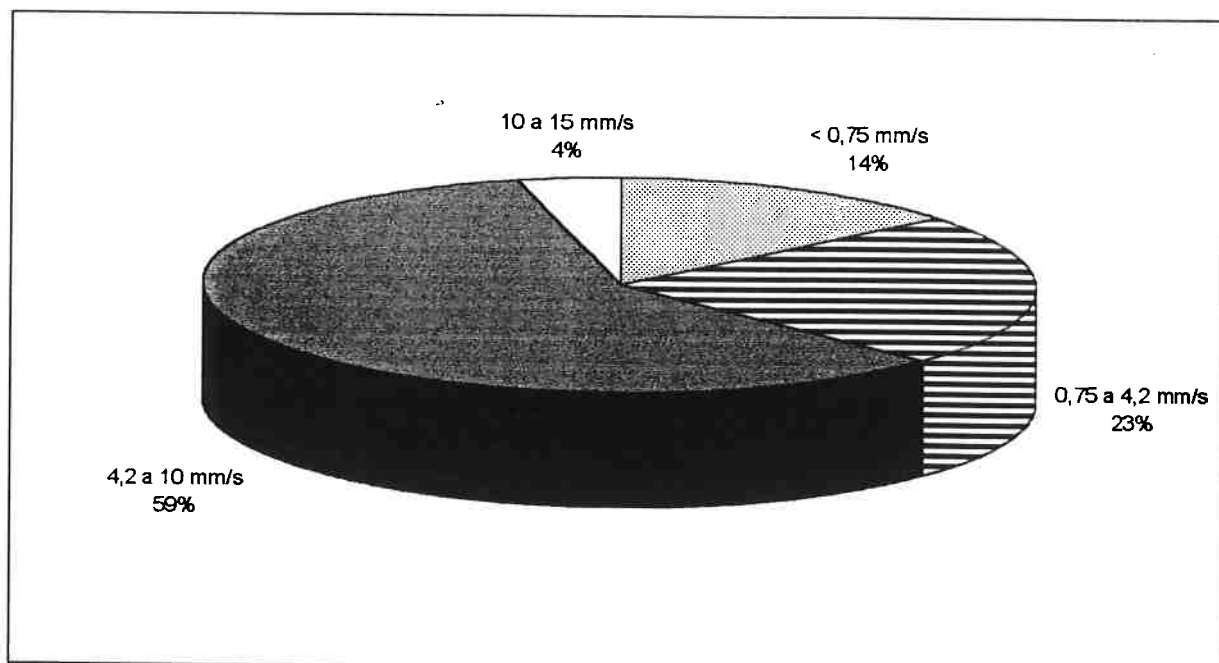


Figura 6.27. Distribuição das velocidades de partícula resultante (V_r) de acordo com as faixas e as normas ABNT e CETESB.

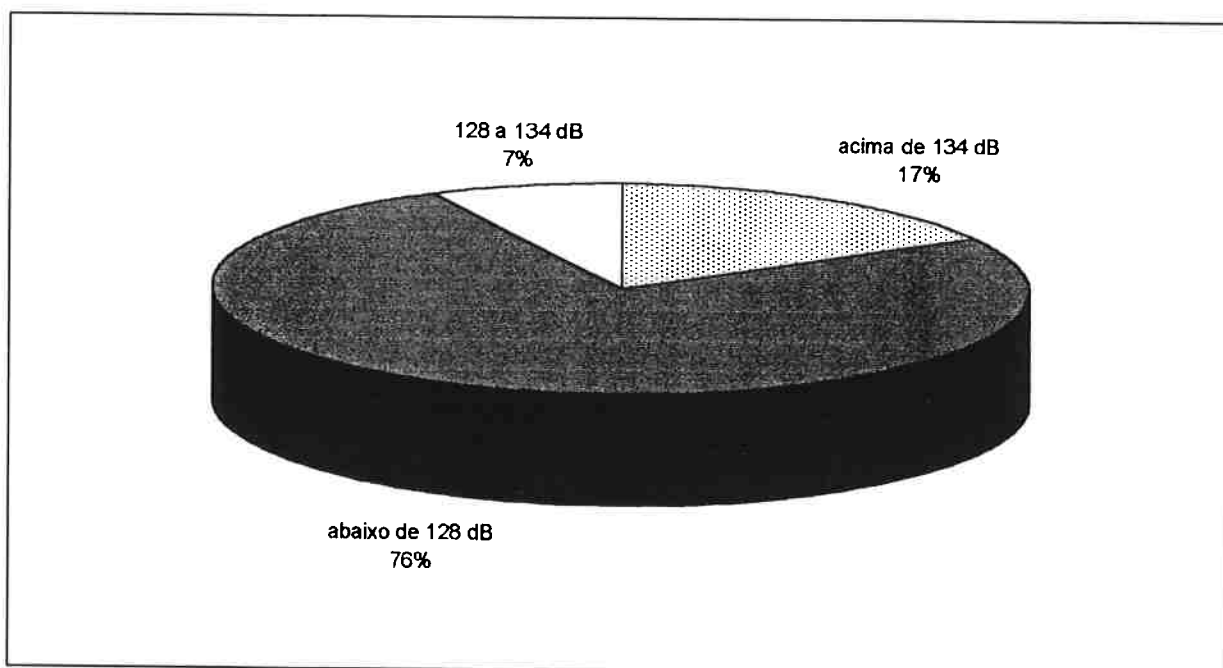


Figura 6.28. Distribuição das sobrepressões atmosféricas de acordo com as Normas ABNT e CETESB.

Da observação das quatro figuras acima tem-se que:

- a. o limite da norma ABNT para a velocidade de vibração de partícula não foi ultrapassada em nenhuma ocasião enquanto que 63 % dos desmontes monitorados provocou níveis de vibração acima de 4,2 mm/s, que é a norma restritiva da CETESB;
- b. a maioria das sobrepressões atmosféricas (76 %) esteve abaixo de 128 (Norma CETESB) e cerca de 83 % dos desmontes monitorados apresentou níveis de sobrepressão atmosférica abaixo de 134 dB (Norma ABNT);
- c. as detonações secundárias produziram sobrepressões da mesma ordem de grandeza das detonações primárias e, no entanto, são mais demoradas (por se apresentarem em seqüência) e percebidas na maioria das vezes pela população como sendo “mais incômodas” e “maiores”;
- d. como não se pode eliminar totalmente a sobrepressão atmosférica em um desmonte de rocha por explosivos seria importante que esta pedreira adotasse todos os recursos já discutidos no Capítulo 3 e também neste Capítulo ou até mesmo a aplicação de métodos alternativos como o “drop ball” para desmontes secundários, uma vez que estes são os que possuem maior efeito psicológico sobre a população.

A Pedreira Itaquera fez alguns esforços no seu relacionamento com a comunidade, no intuito de esclarecer os aspectos concernentes a suas atividades de mineração, através de folhetos que abordavam os seguintes aspectos:

1. necessidade de se detonar a rocha;
2. como o indivíduo e a sua propriedade seriam protegidos das detonações;
3. as qualificações apresentadas pelos profissionais envolvidos no desmonte de rocha: o engenheiro de minas e o cabo de fogo e
4. as providências tomadas por eles para se mitigar os efeitos adversos de uma detonação.

6.8.2. Pedreira Salto Grande - Americana

Efetuada monitoramento sismográfico de desmonte de rocha por explosivos em pedreira de meia encosta. Os resultados do monitoramento são apresentados nas Figuras 6.29 e 6.30. O objetivo deste monitoramento foi uma avaliação dos níveis de vibração do terreno e de sobrepressão atmosférica medidos junto ao Museu Histórico Conselheiro Carrão. Os resultados do monitoramento foram utilizados para uma melhor adequação dos planos de fogo da pedreira e também para verificar se estes níveis estavam compatíveis com as normas vigentes RELATÓRIOS LACASEMIN MI/58 - 07/93 e MI/587 - 18/93, 1993).

Estes monitoramentos foram também acompanhados por técnicos da CETESB, com os resultados sendo inseridos nos relatórios técnicos.

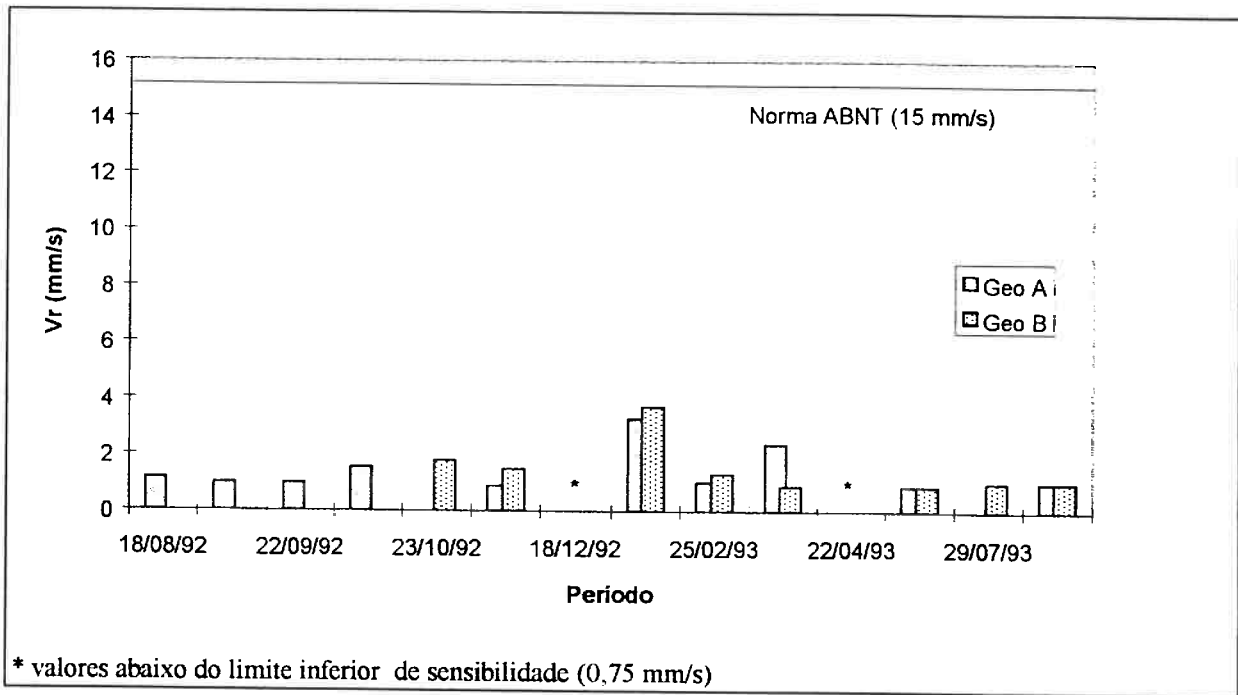


Figura 6.29. Distribuição das velocidades de partícula resultantes (V_r) medidas ao longo do período de monitoramento

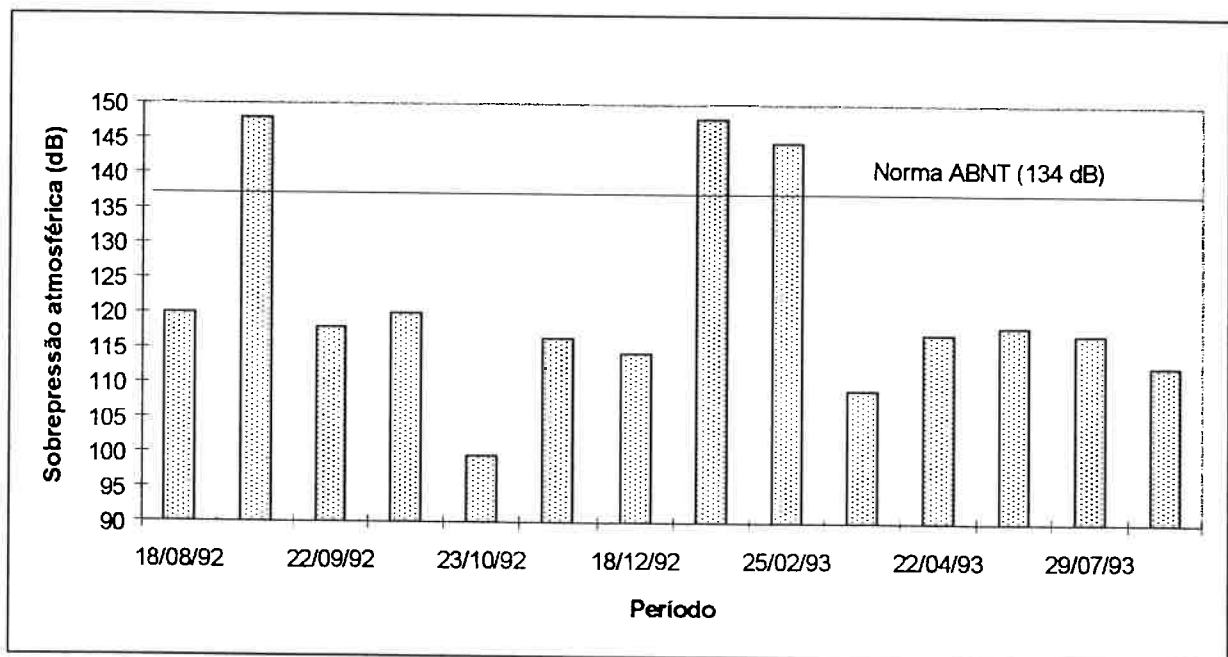


Figura 6.30. Distribuição das sobrepções atmosféricas medidas ao longo do período de monitoramento.

Após o trabalho de monitoramento de aproximadamente um ano foi constatado pelos técnicos da CETESB que, de acordo com os resultados obtidos, os níveis de vibração decorrentes do desmonte de rocha não estavam afetando a estrutura do edifício e que a estrutura do museu não seria afetada se fossem mantidos os mesmos parâmetros adotados no plano de fogo para o desmonte.

6.8.3. Hidrelétrica de Porto Colômbia - Porto Colômbia, SP

Foi efetuado o monitoramento sismográfico de desmonte cuidadoso por explosivos de estruturas de concreto armado na Usina Hidrelétrica de Porto Colômbia, pertencente à Centrais Elétricas de Fumas. As obras na usina consistiam da remoção dos dissipadores de energia no vertedouro da barragem (que eram de concreto armado) para que toda a base do vertedouro pudesse ser refeita devido ao desgaste provocado pelo turbilhonamento das águas. Foram realizadas três captações de velocidade de vibração de partícula. A figura 6.31 ilustra os resultados obtidos.

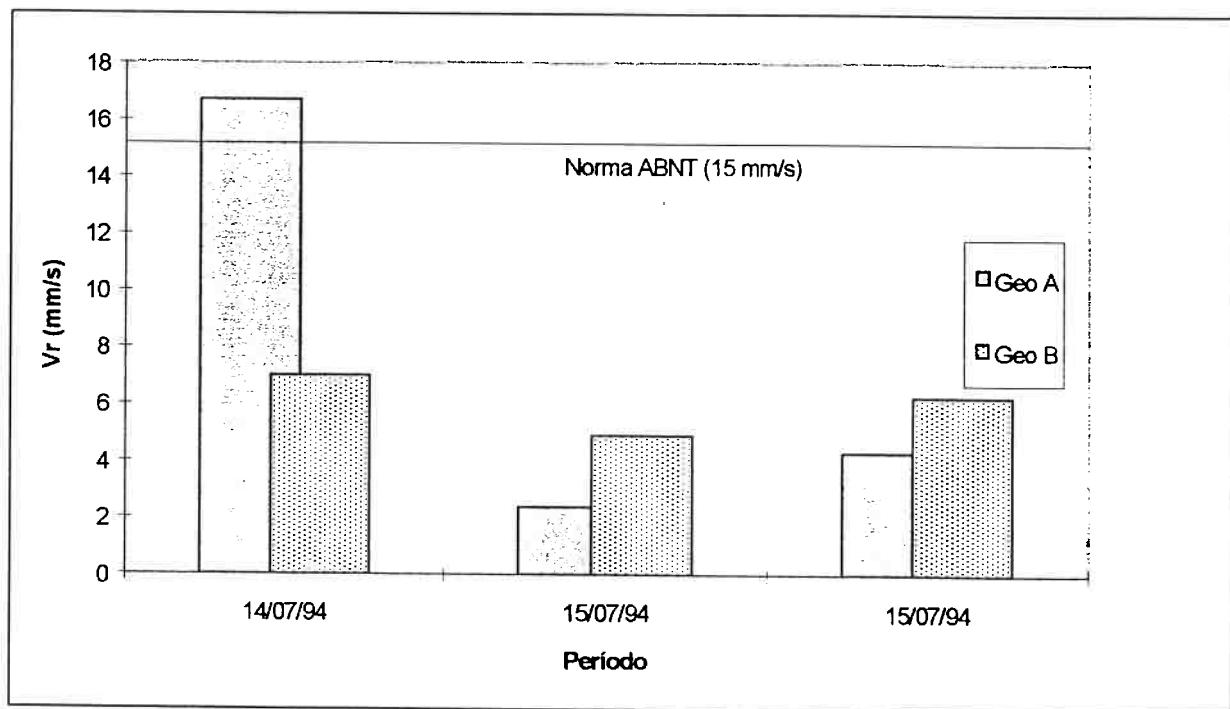


Figura 6.31. Valores de velocidade de vibração de partícula resultantes (V_r) medidos por cada sensor

O monitoramento sismográfico foi necessário devido ao controle estrutural exigido pela equipe técnica das Centrais Elétricas de Fumas, onde a integridade física do corpo da barragem era fundamental para a operacionalidade da Usina. Como não havia nenhuma comunidade próxima à barragem e nenhuma reclamação, não houve a necessidade de se monitorar a sobrepressão atmosférica. O limite de segurança adotado foi de 50 mm/s (ao invés dos 15 mm/s da Norma ABNT que serviu apenas como referência) e como pode ser visto no gráfico a seguir, os valores ficaram

abaixo deste limite (RELATÓRIO LACASEMIN 05/94, 1994). Em função dos valores de velocidade de partícula obtidos haveria ou não a possibilidade de algumas alterações no plano de fogo para se aumentar a eficácia do desmonte sem no entanto colocar em risco a integridade da barragem.

6.8.4. Pedreira Itaguassú - Aparecida do Norte, SP

Foi efetuado o monitoramento sismográfico de desmonte de rocha por uso de explosivos nas proximidades da Pedreira Itaguassú em Aparecida do Norte - SP. Tratava-se de um local com algumas construções em volta, sendo que as principais e de interesse ao monitoramento foram a vila dos funcionários da Pedreira localizada dentro da propriedade da mesma, uma Subestação da Eletropaulo localizada na Rodovia Presidente Dutra (sentido oposto à Pedreira) a cerca de 1200 metros e uma chácara particular localizada ao lado da Subestação da Eletropaulo. Foram realizadas duas medições (captação de vibração e de sobrepressão atmosférica) em 4 (quatro) pontos localizados nas circunvizinhanças da Pedreira. As figuras 6.32, 6.33 e 6.34 ilustram os resultados do monitoramento.

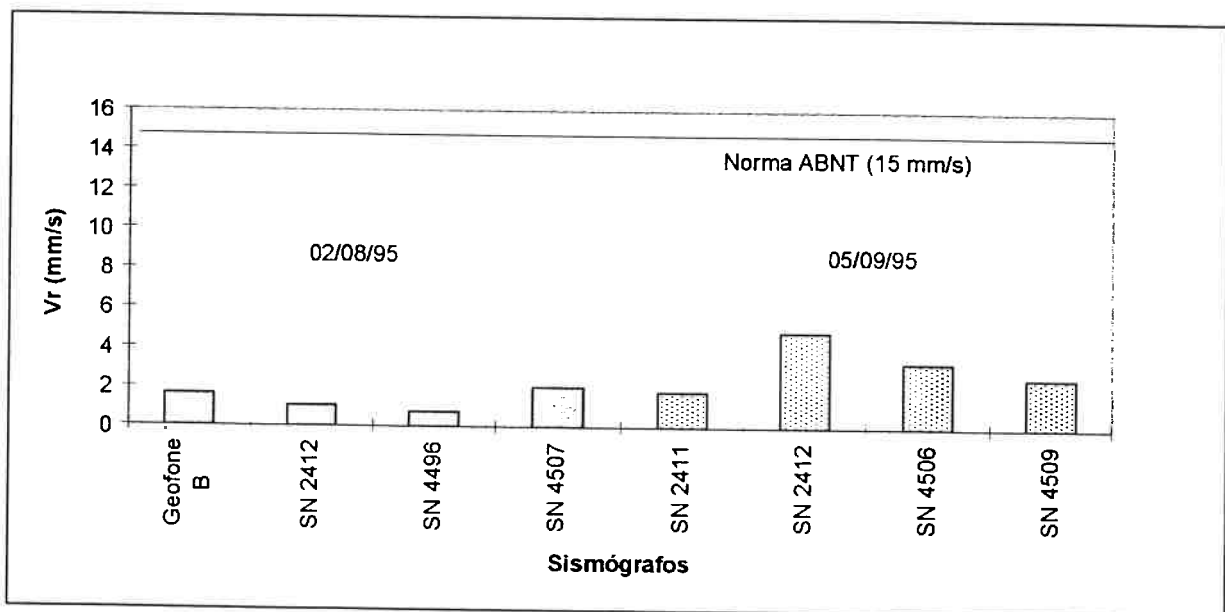


Figura 6.32. Distribuição das velocidades de partícula ao longo do período de monitoramento.

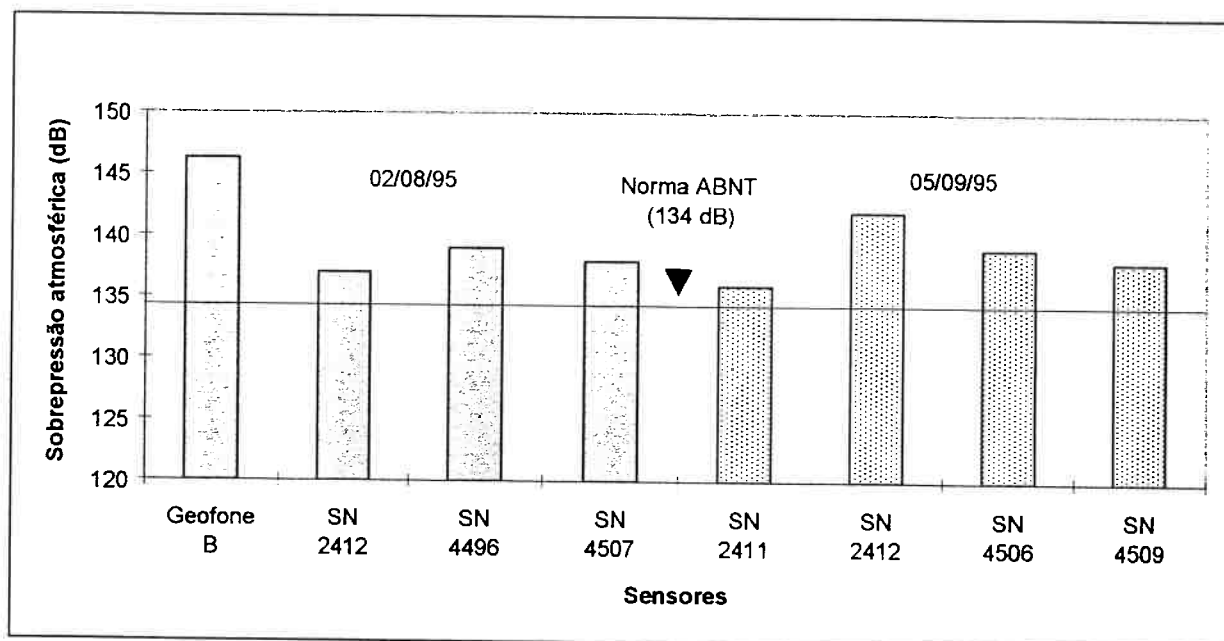


Figura 6.33. Distribuição das sobrepressões atmosféricas ao longo do período de monitoramento.

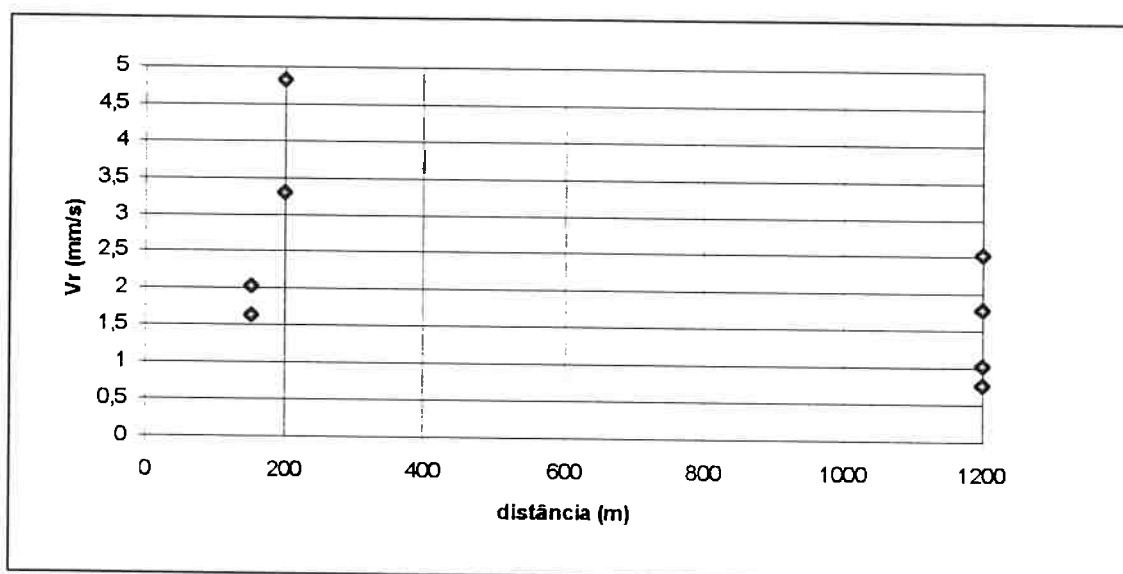


Figura 6.34. Figura da distribuição das velocidades de partícula resultantes em função da distância.

Este trabalho teve como objetivo uma avaliação dos níveis de vibração e de sobrepressão atmosférica, em locais próximos à pedreira, decorrentes da detonação de explosivos para se desmontar o material rochoso. Os valores medidos seriam comparados com os limites estabelecidos pela norma brasileira (ABNT NBR-9653). Os resultados do monitoramento foram utilizados para se verificar a eficácia dos planos de fogo propostos e executados pela Pedreira Itaguassú em relação aos níveis de vibração e de sobrepressão atmosférica tecnicamente desejados.

As figuras acima mostram que os limites de velocidade de vibração de partícula estabelecidos pela Norma ABNT não foram ultrapassados para os dois eventos enquanto que todos os pontos monitorados apresentaram valores de sobrepressão acima do estabelecido pela norma ABNT. Alguns fatores contribuíram para estes valores elevados os quais podemos citar: a localização e o tipo de bancada, pois tratava-se de uma pedreira de meia encosta dentro de um vale; localização dos pontos monitorados, de frente para o vale; ausência de medidas mitigadoras como coberturas adequadas do cordel, uso de acessórios de iniciação não elétrica (do tipo Nonel ou Exel) e falta de um plano de fogo adequado com um número maior de retardos para se diminuir a carga máxima por espera (RELATÓRIOS LACASEMIN 05/95 e 08/95, 1995).

Talvez fosse possível a aplicação de algumas técnicas alternativas de desmonte de rocha. A sobrepressão atmosférica parece ser o principal problema, uma vez que as distâncias maiores e o tipo de lavra colaboram para a diminuição dos efeitos da vibração. Neste caso ponderai se utilizar o "drop ball" ou o "Boulder Buster" para os desmontes secundários e uma técnica como o "Cardox System" ou o "Fract.Ag" para alguns desmontes de acerto de bancada.

6.8.5. Mina Santa Helena - Votorantim, SP

Foi realizado o monitoramento sismográfico dos desmontes de rocha por uso de explosivos das três minas que fazem parte do complexo de mineração da Fábrica de Cimento Votoran, localizada no município de Votorantim (a 120 km de São Paulo), pertencente ao Grupo Votorantim.

O crescimento dos centros urbanos em volta desta mineração, fez com que novos problemas surgissem, como por exemplo a probabilidade de percepção, pelos moradores próximos, de propagação de vibrações do terreno, sobrepressão atmosférica, ultra-lançamentos, e também a dispersão de material particulado. Apesar de não ser um problema especificamente de convivência entre o homem da cidade e a mineração, havia uma propriedade (chácara) dentro dos limites da Fábrica de Cimento Votoran onde reclamações freqüentes eram feitas pela proprietária em função dos desmontes de rocha com o uso de explosivos.

Foram feitas três captações de vibração e de sobrepressão atmosférica decorrentes do uso de explosivos em pontos localizados nas circunvizinhanças da propriedade da Fábrica de Cimento Votoran (RELATÓRIO LACASEMIN 02/95, 1995). Os resultados do monitoramento podem ser vistos nas figuras 6.35 e 6.36.

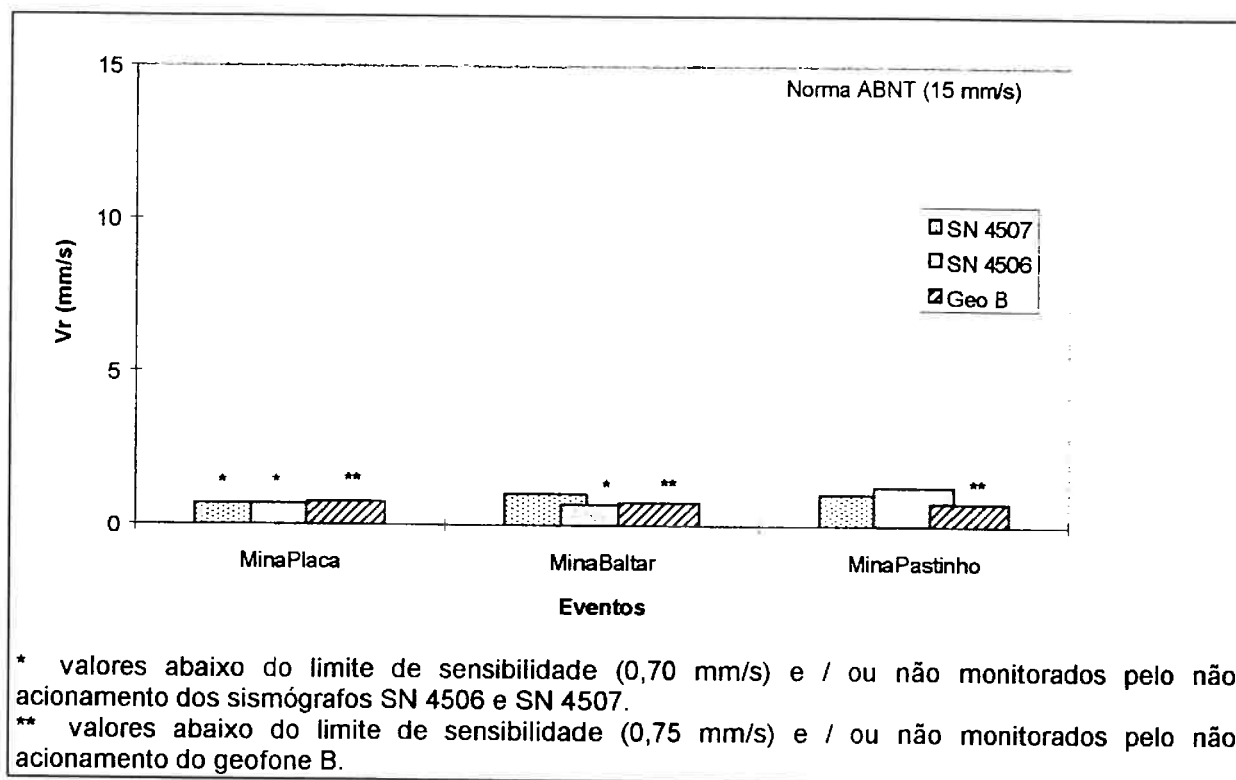


Figura 6.35. Valores de velocidade de partícula resultante (Vr) medidos para cada evento monitorado

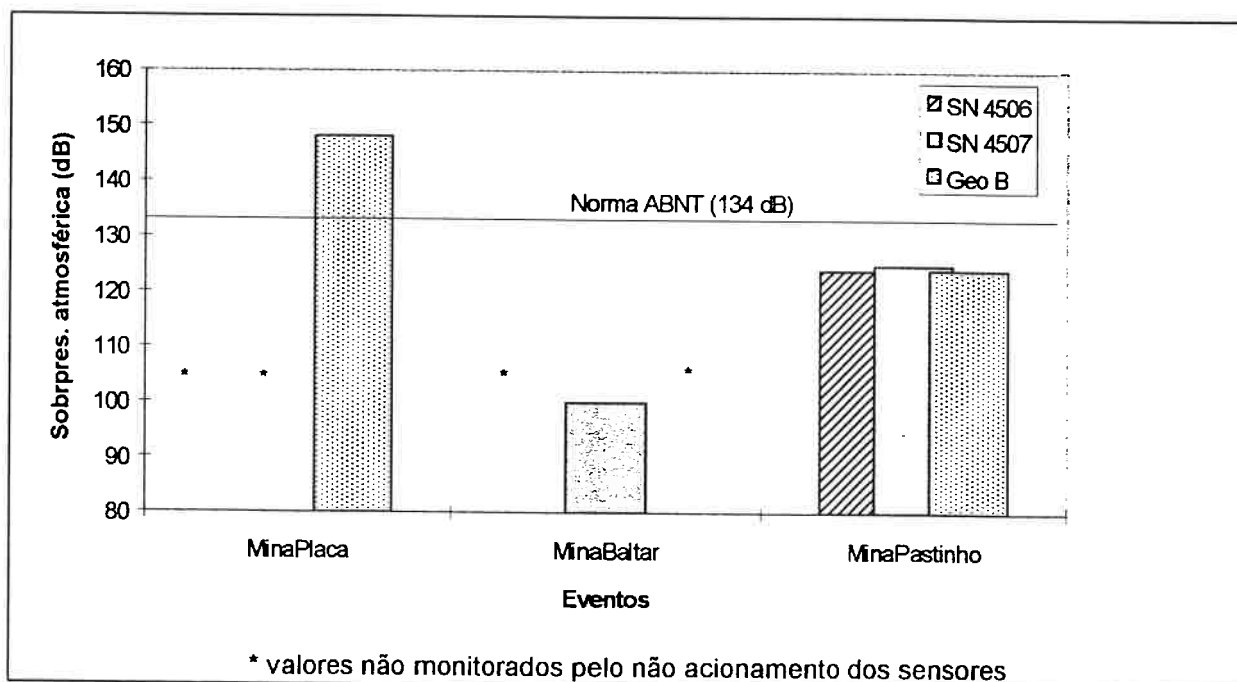


Figura 6.36. Valores de sobrepressão atmosférica medidos para os eventos monitorados

Este trabalho teve como objetivo uma avaliação dos níveis de vibração e de sobrepressão atmosférica, em locais próximos à mina, provocados pelo desmonte de rocha por explosivos e compará-los aos limites estabelecidos pela norma brasileira (ABNT NBR-9653). Os resultados do

monitoramento foram utilizados também para se verificar a eficácia dos planos de fogo propostos e executados para o desmonte em relação aos níveis de vibração e de sobrepressão atmosférica tecnicamente desejados.

As figuras acima mostram que a Norma ABNT não foi ultrapassada no caso da velocidade de vibração de partícula, enquanto que um valor de sobrepressão atmosférica esteve acima do valor estabelecido pela Norma. Os valores obtidos de velocidade de vibração de partícula e a grande distância da propriedade para os locais de desmonte indicam que os planos de fogo adotados parecem adequados, sendo que para um melhor controle da sobrepressão atmosférica poderiam ser adotadas medidas já comentadas neste capítulo e no capítulo 3.

6.8.6. Pedreira Terra Nova - Jundiaí - SP

Foi feito o monitoramento sismográfico dos desmontes de rocha na Pedreira Terra Nova, localizada à beira da Rodovia Anhanguera em Jundiaí - SP. Ela vem explorando ao longo dos anos uma jazida de granito róseo destinada à produção de brita para construção e principalmente para pavimentação. Com o passar dos anos e com a necessidade de se ocupar novas áreas para moradia, foram construídas diversas edificações ao redor da propriedade da Pedreira, inclusive um condomínio fechado. O aumento das medidas restritivas e o surgimento de normas ambientais fez com que houvesse uma necessidade de maior conhecimento dos mecanismos envolvidos nos desmontes e a necessidade de melhorias nos planos de fogo para se evitar possíveis reclamações por parte dos moradores. O monitoramento sismográfico foi uma ferramenta útil para um melhor controle sobre a atividade de desmonte de rocha.

Este monitoramento sismográfico (captação de vibração e de sobrepressão atmosférica) foi executado através de 4 (quatro) pontos localizados nas circunvizinhanças da Pedreira, sendo deles foi destinado ao monitoramento de um desmonte secundário (fogacho) e os outros três foram destinados ao monitoramento de um desmonte primário (RELATÓRIO LACASEMIN 04/95, 1995). As figuras 6.37 e 6.38 mostram os valores obtidos pelo monitoramento.

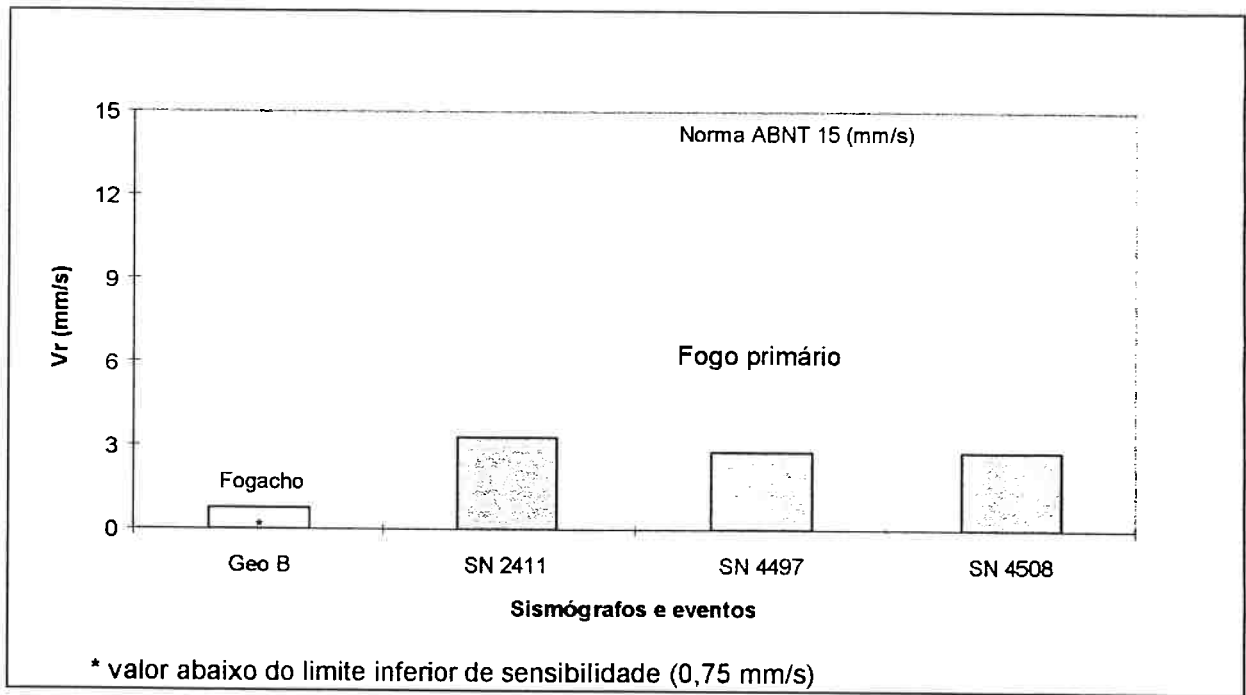


Figura 6.37. Valores de velocidades de vibração de partícula resultante (Vr) medidos para os eventos monitorados.

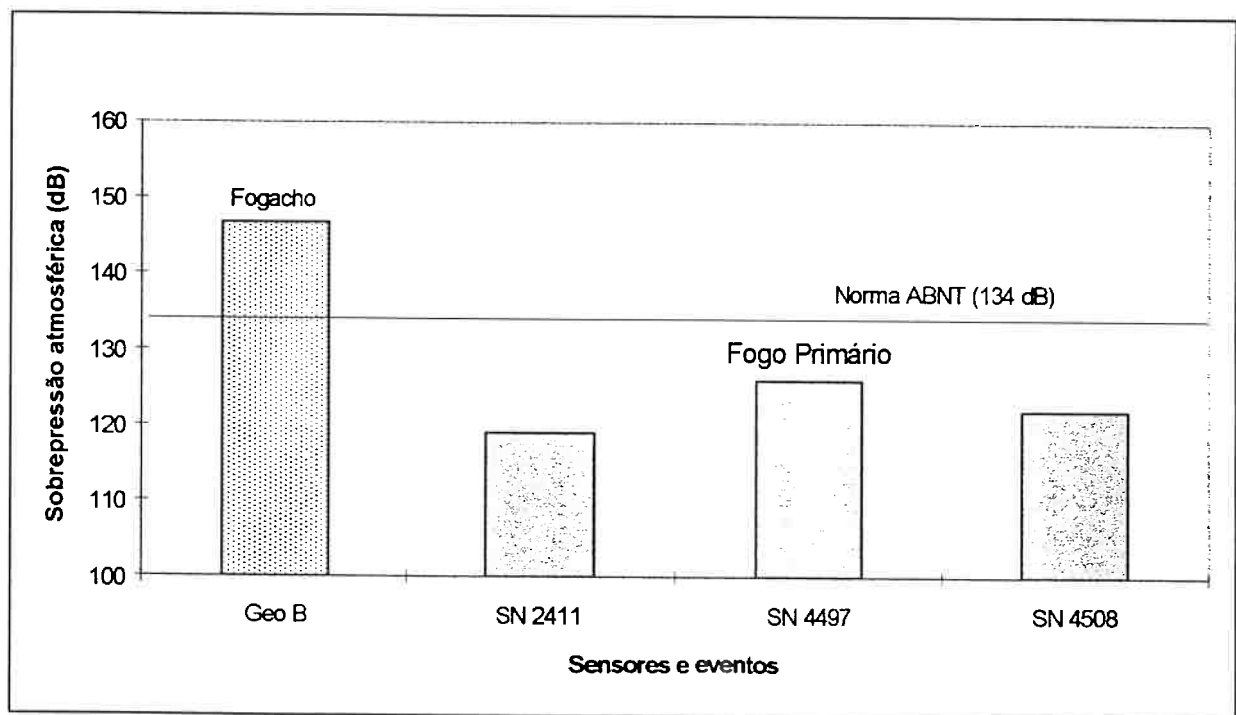


Figura 6.38. Valores de sobrepessão atmosférica medidos para os eventos monitorados.

O objetivo deste monitoramento foi uma avaliação dos níveis de vibração de terreno e de sobrepessão atmosférica em locais próximos à Pedreira, mais precisamente no condomínio, decorrentes da detonação de explosivos para se desmontar a rocha. Os valores medidos foram

comparados com os limites estabelecidos pela norma brasileira (ABNT NBR-9653) e os resultados do monitoramento seriam utilizados para se verificar a eficácia dos planos de fogo propostos e executados pela Pedreira Terra Nova em relação aos níveis de vibração e de sobrepressão atmosférica tecnicamente desejados.

De acordo com os gráficos acima pode-se notar que os valores de sobrepressão atmosférica ficaram abaixo do limite estabelecido pela Norma enquanto que o valor da sobrepressão atmosférica para o desmorte secundário (fogacho) foi superior ao estabelecido pela Norma. A sobrepressão atmosférica associada ao desmorte secundário é a que produz maior repercussão negativa junto à população devido ao seu tempo de duração, normalmente maior do que o dos desmortes primários, por isso seria interessante que a Pedreira procurasse meios ou métodos para se reduzir as sobrepressões. Poderia se utilizar neste caso o "drop ball" ou o "boulder buster" para se evitar possíveis reclamações por parte da população.

6.6.7. Edifício Guinzza - Constrazza

Foi efetuado o monitoramento sismográfico de desmorte de rocha por explosivos durante a construção do edifício Guinzza - Constrazza, em Alphaville - SP. Este monitoramento consistiu de captações de vibração e de sobrepressão atmosférica de dois desmortes de rocha por explosivos.

A construção do Edifício Guinzza - Constrazza encontrava-se em fase de execução da fundação, o que envolvia a retirada de material rochoso do terreno de modo a prepará-lo adequadamente para a execução das obras de fundação. Para abaixar o nível do terreno até a cota pretendida, optou-se por desmontar o material, composto por moledo e granito, com explosivos.

Por se tratar de uma zona residencial e principalmente comercial com várias construções nas circunvizinhanças, os desmortes foram feitos de forma cuidadosa, para amenizar possíveis efeitos como a propagação de vibração e sobrepressão atmosférica, assim como os ultra-lançamentos e a geração de pó. O monitoramento foi solicitado em função de reclamações de pessoas vizinhas à propriedade (RELATÓRIOS LACASEMIN 03/95 e 07/95, 1995).

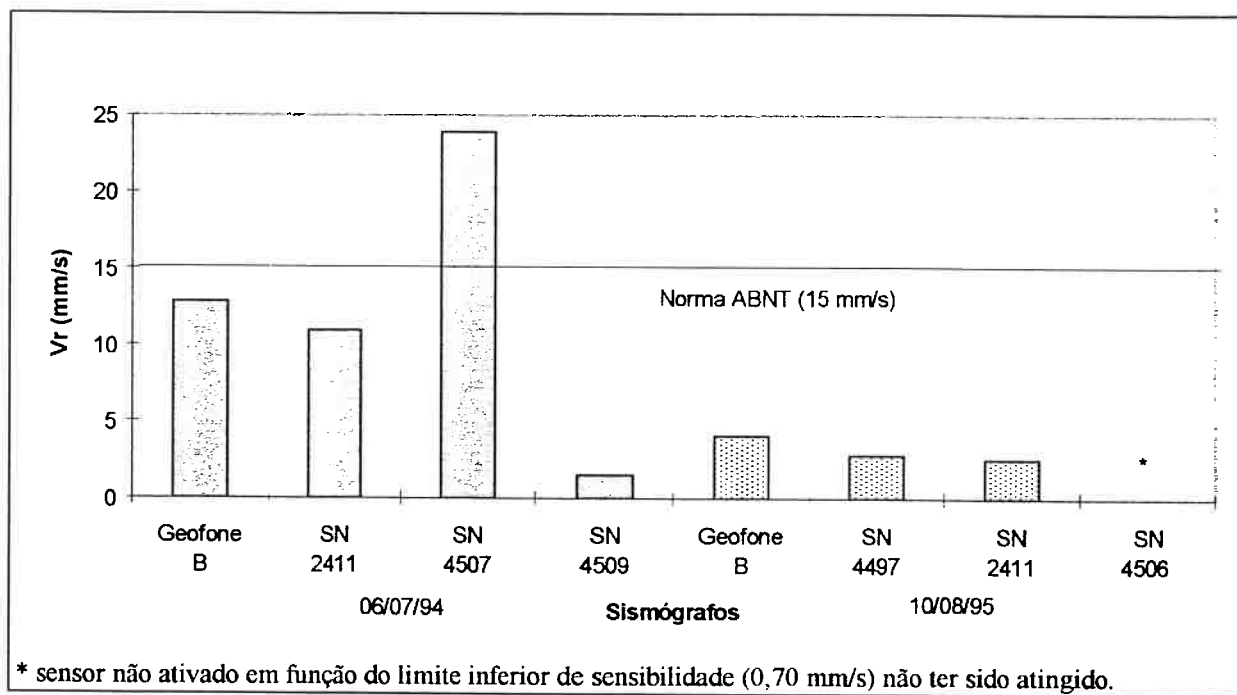


Figura 6.39. Distribuição das velocidades de vibração de partícula para os eventos monitorados.

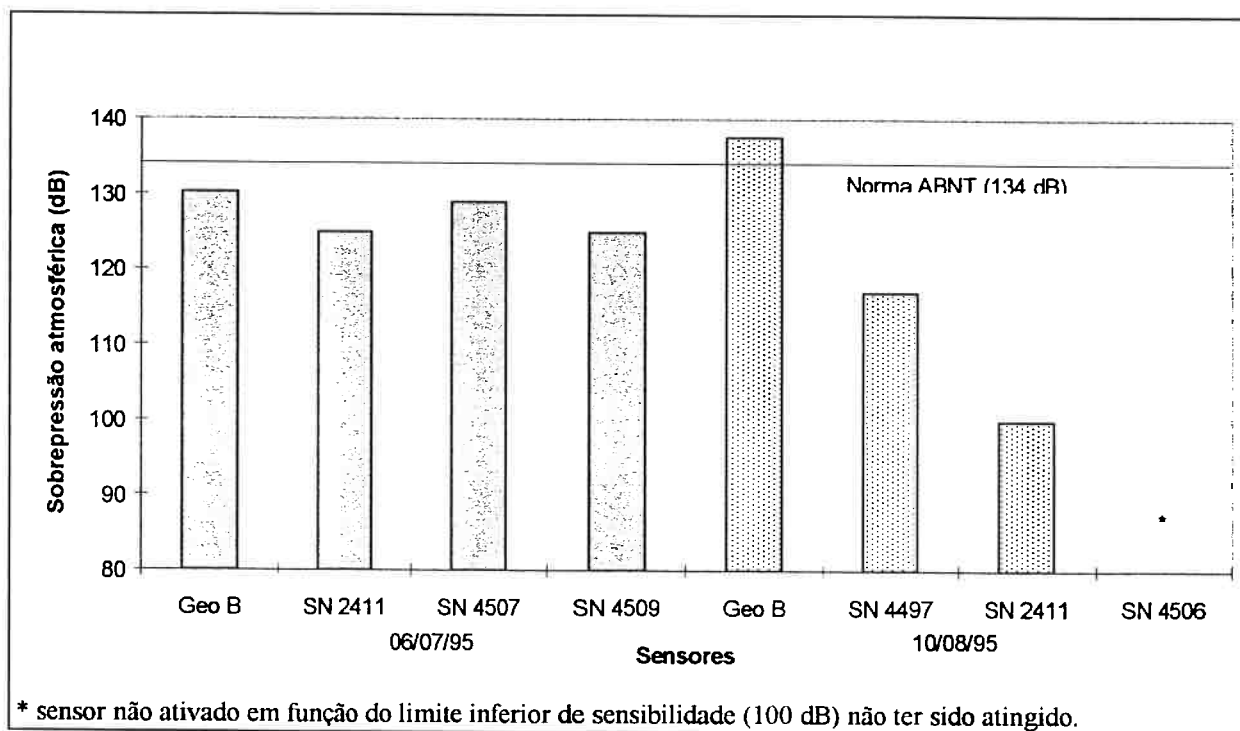


Figura 6.40. Distribuição das sobrepessões atmosféricas para os eventos monitorados.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os níveis de velocidade de vibração de partícula e de sobrepessão atmosférica, em locais próximos à obra e compará-los aos limites estabelecidos pela norma brasileira (ABNT NBR-9653). Os resultados do monitoramento foram utilizados para se verificar a eficácia dos planos de fogo propostos e executados pelas empresas responsáveis pela obra em relação aos níveis de vibração e de sobrepessão atmosférica tecnicamente desejados.

Os valores apresentados acima mostram que o limite de velocidade de vibração de partícula foi ultrapassado em um ponto para o primeiro evento monitorado, enquanto que o limite de sobrepressão também foi ultrapassado em um ponto do segundo monitoramento. Apesar da vibração ter ultrapassado a Norma, deve-se levar em conta que o sismógrafo estava sobre o solo e não sobre uma base ou estrutura como estabelece a Norma além de estar mais próximo do local de desmonte do que qualquer outro sensor. No caso da sobrepressão, embora a malha de detonação tivesse sido coberta com terra e protegida com telas para evitar ultra-lançamentos, o valor foi medido pelo sensor com a menor proximidade em relação ao desmonte. As diferenças nas intensidades dos valores entre os dois eventos se deve principalmente à diferença na carga máxima por espera que foi da ordem de 2:1. Com a aproximação dos desmontes junto aos limites da propriedade, houve a necessidade do uso do Fract.AG para se fazer os desmontes de contorno da rocha próxima aos muros.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES SOBRE FUTURAS APLICAÇÕES DE NOVOS MÉTODOS DE DESMONTE NO BRASIL

7.1. SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS

O uso de novas técnicas de desmonte de rocha no Brasil está quase sempre associado ao controle ambiental. Os casos mais críticos estão relacionados às pedreiras em áreas urbanas, abertura de vias subterrâneas (como a construção de novas linhas de metrô e abertura de túneis), barragens e implosões de estruturas civis. As reclamações oriundas das comunidades próximas a estas pedreiras e obras civis freqüentemente estão associadas ao ruído e à vibração do terreno. Os casos de reclamações por ultra-lançamentos são bastantes raros e normalmente estão associados ao desmonte secundário de rochas. A poeira foi um incômodo em apenas uma situação, a implosão próxima ao Palácio Itamaraty no Rio de Janeiro.

O desmonte padrão que tem sido observado e monitorado nas pedreiras apresenta as seguintes características:

- malha retangular de furos com espaçamento maior do que o afastamento ou então apenas uma linha no caso de desmontes de bancadas;
- diâmetro médio dos furos entre 2,5" e 4" ;
- utilização de carga de fundo com um explosivo gelatinado ou então um "booster" (reforçador);
- furo carregado com explosivos (gelatinados) encartuchados espaçados e / ou ANFO que às vezes também é espaçado. Mais recentemente tem-se observado a introdução de lamas e emulsões explosivas (slurry e watergel);
- uso de tampão com material inerte (areia, pedriscos e terra) em torno de 0,50 a 1m;
- utilização de cordel detonante: na maioria dos casos do tipo NP 10 cobertos com os materiais inertes (aproximadamente 40 cm de altura);
- retardos de 20 a 50 ms. Em locais onde existe maior preocupação ambiental, os furos são retardados furo a furo e são usados dispositivos de iniciação não elétricos (tipo nonel) na substituição do cordel detonante e dos retardos;

- normalmente o fogo primário produz blocos maiores do que a abertura dos britadores sendo necessário o uso de um desmorte secundário, e a maior parte destes é feito por meio de fogachos.

Os monitoramentos de eventos de pré-fissuramento e desmorte cuidadoso normalmente envolveram construções onde não existiam distúrbios à comunidade e possibilidade de danos a áreas residenciais. Casos especiais monitorados foram os de desmorte subaquático e de desmorte de estruturas civis como as implosões.

Um aspecto a ser lembrado é a definição de *“desmorte de rocha ótimo”*. CAMERON (1991) afirma que *“desmorte de rocha ótimo é aquele que apresenta as necessidades de segurança e meio ambiente supridas, os custos totais de operação minimizados e o depósito mineral completamente exaurido”*. Em áreas urbanas dificilmente uma pedreira ou um mineração conseguirá aplicar o conceito do desmorte ótimo definido pelo referido autor, devido às limitações físicas impostas pela comunidade no entorno da pedreira ou então pelos custos adicionais, mas necessários, para não se ultrapassar os limites impostos pela legislação.

Novas técnicas de desmorte de rochas tem sido propostas nas duas últimas décadas sendo que algumas delas ainda não foram aceitas sob o ponto de vista comercial. Das técnicas citadas no capítulo 5 pode-se dizer que no Brasil apenas os *“roadheaders”*, as *“TBMs”* e o *“drop ball”* são utilizados. Os *“roadheaders”* são aplicados na escavação e/ou mineração de materiais rochosos de menor resistência (como carvão e sais de potássio), as *“TBMs”* são aplicados na aberturas de túneis (como os do metrô) nas principais cidades e a técnica do *“drop ball”* é empregada no desmorte secundário (fogacho) em algumas pedreiras. Apesar da literatura citar diversos exemplos da aplicabilidade das demais técnicas, nenhuma delas, pelo menos em larga escala, tem sido utilizada no Brasil. Vários anos atrás um tipo de material expansivo similar ao Fract.Ag foi testado pelo IPT e que, no entanto, não foi considerado economicamente viável. Isto persiste até o momento com o Fract.AG, que é muito mais caro do que os explosivos, sendo somente utilizado em casos extremos que envolvam um controle com grande precisão de paredes ou fundações adjacentes ao material desmontado. Outro exemplo de técnica viável mas não empregada no Brasil é o *“waterjet”*. Embora o Brasil tenha várias pedreiras de rochas ornamentais (granito e mármore) a técnica do *“waterjet”* ainda não está sendo considerada com maior seriedade para uma aplicação regular.

Uma explicação razoável para a não aplicação de outras técnicas é o custo delas comparado aos explosivos. No Brasil, por uma série de fatores, entre eles o que se convencionou chamar de "*Custo Brasil*", ou seja, os custos e impostos adicionais aplicados no país, a maioria dos acessórios e materiais provenientes do exterior não consegue chegar em condições de competir com os explosivos. Parte desta pouca competitividade também pode ser atribuída à disseminação do uso de explosivos, que está arraigada à cultura dos mineradores, e que podem ser adquiridos e preparados em qualquer lugar e com extrema facilidade. As minerações menores não costumam comprar os explosivos dos grandes fabricantes, optando por preparar elas mesmas os explosivos, tendo como principal objetivo a diminuição dos custos.

Outro exemplo da forte disseminação dos explosivos no desmonte de rocha são os Estados Unidos, que apesar da sua crise econômica, mantiveram o consumo aparente de explosivos durante os anos 90 praticamente estável, chegando a ter e até mesmo um ligeiro acréscimo (ESTADOS UNIDOS, 1993, 1994 e 1996). O Brasil, apesar de algumas defasagens tecnológicas, procura seguir as tendências mundiais lideradas pelos Estados Unidos e, embora não haja dados comprovados, o consumo de explosivos no Brasil tem-se mantido de estável para um ligeiro decréscimo, mas isto se deve (segundo fontes verbais ligadas à indústria de explosivos) à crise do setor de mineração e de construção, onde não há maiores investimentos. O fato de não haver um controle mais rigoroso sobre os explosivos caseiros utilizados pelas minerações menores também contribui para a imprecisão dos números relativos ao consumo de explosivos no país.

Somado a isto tem-se que o uso de técnicas alternativas é necessário apenas quando se exige o controle ambiental. À medida que a legislação ambiental vai se tornando mais rigorosa, o que pode ser comprovado em diversas áreas urbanas, os gastos com o desmonte de rocha vai aumentando, podendo-se chegar à necessidade do uso de outras técnicas mais eficientes, porém mais caras do que os explosivos. No entanto, nem sempre existe uma fiscalização efetiva para se verificar o cumprimento das normas e da legislação e, conseqüentemente, muitas empresas, por desconhecimento ou por comodismo, optam por continuar usando os explosivos para o desmonte de rocha, pois este continua sendo o método mais barato e disseminado no país.

A aplicação de novas técnicas estaria, portanto, vinculada ao obediência das normas e leis ambientais, à maior competitividade econômica e a uma maior aceitação por parte dos profissionais envolvidos na área de desmonte de rochas e explosivos.

A despeito do fator econômico, outras técnicas poderiam ser aplicadas para os seguintes casos específicos:

- "waterjet" - poderia ser aplicado juntamente com algum tipo de equipamento como o roadheader para a mineração de carvão subterrânea. Deste modo poderia se obter melhor controle da poeira, que é um dos principais fatores de risco à saúde do trabalhador e se diminuiria o potencial de riscos de explosões de gases e poeiras;

- "drop ball" - poderia se aplicar esta técnica em uma maior escala, para os desmontes secundários, de modo a se amortizar os custos de operação do equipamento envolvido, visto que comprovadamente existem vantagens como a redução de ruídos (que é a principal causa de reclamação dos desmontes secundários), continuidade de outras operações e ausência de gases gerados pela detonação. Esta aplicação poderia ocorrer em locais próximos ou dentro de áreas urbanas;

- "plasma blasting" - esta técnica poderia ser aplicada também para o desmonte secundário com vantagens similares ao do drop ball e também para se desmontar paredes rochosas que exigiriam um grande controle sobre as vibrações para se evitar danos à estruturas vizinhas;

- "boulder buster" - uma aplicação imediata desta técnica seria o desmonte secundário em áreas urbanas, uma vez que a possibilidade de lançamento de fragmentos é baixa. Outra aplicação seria o desmonte de estruturas ou de fundações em locais confinados e próximos à equipamentos como seria o caso de galpões de fábricas ou desmonte de blocos em subsolo.

- "cardox system" - como o sistema Cardox não é classificado como um método gasoso não existem muitas restrições para o seu transporte, armazenamento ou uso (como existe para explosivos). Não há fumos tóxicos gerados pelo sistema e por isso os trabalhadores podem retornar ao local de trabalho após a reação química, o que é muito importante em subsolo. Não há ainda a possibilidade de explosões de gases como o grisú. Desse modo uma das aplicações poderia ser em minas de carvão subterrânea onde este método poderia reduzir os riscos potenciais de explosão e intoxicação de trabalhadores. Poderia se aplicar ainda esta técnica para a lavra de rochas

ornamentais uma vez que estes tubos podem ser colocados em seqüência e acionados de forma similar aos retardos dos explosivos, permitindo um plano de clivagem que resulta em grandes blocos de rochas.

- "Fract.Ag" - este material expansivo pode ser utilizado para o desmonte de paredes rochosas de forma similar ao pré-fissuramento onde se exige um alto nível de controle sobre a vibração decorrente do desmonte da rocha. Uma aplicação viável é o desmonte controlado da rocha da fundação de um terreno próximo a estruturas como edifícios ou casas, ou então para a abertura de túneis em áreas urbanas onde existe o risco de interferência de redes de água e esgoto ou linhas elétricas e de telefonia.

7.2 CONCLUSÕES

A tecnologia de desmonte de rocha (por explosivos) tem sido desenvolvida a ponto de chegar a uma situação em que pode-se desmontar um dado volume de rocha a um valor pré-determinado. Novas tecnologias estão sendo continuamente desenvolvidas e o relacionamento dos fabricantes de explosivos com as indústrias de pesquisa está atualmente mais forte do que nunca.

Algumas inconveniências relacionadas ao desmonte tradicional por explosivos levaram ao desenvolvimento, nos últimos anos, de experimentos intensivos utilizando-se novos métodos físicos de desmonte de rocha, em particular os métodos impulsivos nos quais o tempo de preparação do desmonte deve ser menor do que o do desmonte por explosivos.

A aplicação eficiente destes métodos deve ser levada adiante em situações que requerem uma preocupação ambiental relacionada à preservação dos recursos naturais e do meio ambiente (interno e externo ao empreendimento) e à segurança e o conforto das pessoas que trabalham e vivem próximas a este empreendimento. A curta duração, no caso dos métodos impulsivos (como o "plasma blasting", o "drop ball", "Cardox system", "Fract.Ag" e "Boulder buster"), a quase inexistência de gases no pós-desmonte e a concentração de energia extremamente alta que produz uma pressão danosa limitada a uma zona específica e que não se espalha para zonas vizinhas fazem com que estes métodos sejam vistos como uma alternativa real aos explosivos. No entanto, apesar da utilidade confirmada por diversos testes e aplicações feitas no passado, estes métodos se mostraram

eficientes em apenas uma faixa limitada de aplicações, apresentando algumas deficiências em outras aplicações.

Por outro lado a possibilidade de combinações destes métodos mostrou-se perfeitamente viável e com um futuro promissor. Como apresentado no Capítulo 5 a combinação do "waterjet" com os "roadheaders" e também a combinação do mesmo waterjet com um método eletro-hidráulico ou "plasma" pode resultar em: 1) aumento na segurança do trabalho; 2) conservação do meio ambiente natural; 3) minimização no desperdício do material rochoso e 4) aumento na qualidade de tratamento dos elementos rochosos.

A indústria de explosivos, por sua vez, não pode permanecer estagnada para não perder a competitividade no mercado. As operações de desmonte na superfície e em subsolo continuam a ser receptivas a novas tecnologias que visam o aumento da produtividade e segurança. Embora não tenha havido nenhum produto explosivo radicalmente novo desde as emulsões (a mais de duas décadas atrás), as inovações continuam sendo introduzidas em todos os outros aspectos relacionados ao manuseio e uso de explosivos na indústria, como as técnicas de desmonte escultural (pré-fissuramento), entregas de explosivos no local (como as lamas explosivas), sistemas de iniciação não-elétrica (NONEL e EXEL), o desenvolvimento de explosivos permissíveis e por fim a utilização de métodos de monitoramento sismográfico.

Uma grande atenção tem sido dada ultimamente ao monitoramento sismográfico, visto que a vibração e a sobrepressão (mais o ruído) são os efeitos ambientais adversos mais facilmente perceptíveis de um desmonte por explosivos e podem causar também desconforto. A indústria de sismógrafos de engenharia tem desenvolvido programas computacionais que alimentadas por estatísticas provenientes dos inúmeros monitoramentos sismográficos podem estimar os níveis de vibração que podem estar associados a um determinado ponto e a uma distância conhecida do local de desmonte. Isto é particularmente importante em regiões ou áreas urbanizadas para se evitar possíveis danos ou reclamações das populações vizinhas ao empreendimento.

Portanto a tecnologia de desmonte de rocha tende a se desenvolver estando vinculada aos seguintes objetivos:

- eliminação ou diminuição das interrupções de serviços paralelos ao desmonte de rocha;
- implementação de medidas de segurança altamente eficazes;

- redução no tempo de preparação e/ou carregamento do desmonte;
- maior uniformidade no corte da rocha para se evitar interrupções para execução de reparos;
- corte ou diminuição de gastos de pós-desmonte;
- capacidade de se integrar o desmonte a um sistema de monitoramento sismográfico e análise de pós-desmonte; e
- diminuição dos efeitos ambientais adversos.

Os pesquisadores ainda não desenvolveram um único método que satisfaça a necessidade de toda a indústria de desmonte de rocha mas esta tem à disposição diversos métodos que provaram ser confiáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. S., coord. Controle e recuperação ambiental na mina de Cana Brava - Goiás. São Paulo, IPT, 1992. (Boletim, 66. Publicação IPT, 2006).
- ALMEIDA, A. S.; HENNIES, W. T. Contribuição ao estudo dos explosivos permissíveis. São Paulo, EPUSP, 1992. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/006)
- BERGER, P, R. et al. Environmental and community concerns. In: BARKSDALE, R. D., ed. The aggregate handbook. Washington, National Stone Association, 1993. Cap. 5, p. 5-1/5-59.
- BLAST with the boulder buster - product development. Engineering and Mining Journal, p. 113, Mar. 1995.
- BOART SCS. Boulder buster TM.s.l., s.d.
- CAMERON, M. Environmentally effective blasting for quarries. Australian Mining. V. 83, n. 8, p. 22-4, Aug. 1991.
- CHIMICA EDILE ARTIGIANA S.N.C. Fract.Ag: argamassa expansiva para demolições e cortes de rochas e cimentos. Castiglione della Pescaia, Market, s.d. 8p.
- CHIRONIS, N. P. Air-shock idea blasts riprap. Rock products. V.93, n.5, p. 50-4, May 1990.
- CICCU, R.; MAZURKIEWICZ, M. Coal desintegration and beneficiation by high pressure water jets. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., São Paulo, 1993. Anais. São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/ Dipartimento di Ingegneria Mineraria. Università di Cagliari, 1993. v. 1, p. 185-99.
- CRUM, S. V. et al. Ground vibrations and airblasts monitored in Swedesburg, Pennsylvania from blasting at McCoy Quarry. Minneapolis, U.S. Bureau of Mines. Twin Cities Research Center, 1995. (Contract Research Report. Interagency Agreement 14-09-0070-1522).
- DOWN, C. G. ; STOCKS, J. Environmental impact of mining. London, Applied Science Publishers, 1978.
- DU PONT OF CANADA LIMITED. A short course on blasting vibrations and air blast. s.l., 1979.
- ESTADOS UNIDOS. Department of the Interior. Bureau of Mines. Apparent Consumption of Industrial Explosives and Blasting Agents in the United States, 1992. Washington, USBM, 1993. (Mineral Industry Surveys).
- ESTADOS UNIDOS. Department of the Interior. Bureau of Mines. Explosives in 1993. Washington, USBM, 1994. (Mineral Industry Surveys).
- ESTADOS UNIDOS. Department of the Interior. Bureau of Mines. Explosives. Washington, USBM, 1996. (Mineral Industry Surveys).

- FLETCHER, L.R; D'ANDREA, D. V. Control of flyrock in blasting. The Journal of Explosives Engineering, V.7, n. 6, p. 28 - 34, Mar/Apr. 1990.
- FORSTER, M.;McGOFF, P. Presplit and Smooth Blasting. Explosives Engineering, p. 34-8, Jun. 1993.
- GOLDER ASSOCIATES. Safe and cost effective blasting for surface mines and quarries. S.I, s.d.
- GREIG, J.D. Gases encountered in mines. In: BURROWS, J., ed. Environmental Engineering in South African Mines. Cape Town, The Mine Ventilation Society of South Africa, 1989. Cap. 26, p. 722-3.
- HENNIES, W. T. ; AYRES DA SILVA, L. A. PMI 513 - Abertura de vias subterrâneas. Notas de aula . São Paulo, EPUSP - Departamento de Engenharia de Minas, 1995. Apostila.
- IMBEL / NITRO NOBEL. Nonel - Manual do usuário. São Paulo, 1992. (BI nr C 962 br/9201).
- KENT. Kent hydra ram 30 GII. Kent, s.d.
- KITZINGER, F.; NANTEL, J. H.; HAMELIN, M. Progress in plasma blasting. CADDET Newsletter, p. 18-20. Nov. 1992. Special issue.
- KONYA, C.J. Blast design. Montville, Intercontinental Development, 1995.
- KOVSEK, P. D; TAYLOR, C.D.; THIMONS, E. D. Techniques to increase water pressure for improved water-jet-assisted cutting. Washington, U.S. Department of Th. Interior, Bureau of Mines, 1988. / U.S. Bureau of Mines. (Report of Investigations, 9201).
- LONG - AIRDOX (CARDOX) LIMITED. The new improvement CARDOX system: safe, fast, efficient, cost effective. Cheshire, Cardox, [1995]. 1v. (várias paginações).
- MOXON, N. T.; MEAD, D.; RICHARDSON. Air-decked blasting techniques: some collaborative experiments. Trans. Institution of Mining and Metallurgy. V. 102, p.A25-30. Jan / Apr 1993.
- NANTEL, J. H.; KITZINGER, F. Plasma blasting techniques. CADDET Newsletter, p. 79-82, Nov. 1992. Special issue.
- NANTEL, J.; KITZINGER, F. Environmental impact of electric blasting. CADDET Newsletter, p.75-7, Nov. 1992. Special issue.
- OLOFSSON, S. O. Applied explosives technology for construction and mining. 2. ed., Oslo, APPLEX, 1990.
- ORGANISCAK, J.A. Respirable dust generation: comparison of continuous and conventional mining methods when excavating rock coal mines. Pittsburgh, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1989. / U.S. Bureau of Mines. (Report of Investigations, 9233).
- RELATÓRIOS LACASEMIN MI/587 - 10/92 e MI/587 - 04/93 *. Monitoramento sismográfico de detonações associadas a desmonte de rochas por explosivos no Túnel de carga Santa Inês da RFFSA, Belo Horizonte, MG.

- RELATÓRIOS LACASEMIN MI/587 - 13/92, MI/587 - 06/93, MI/587 - 12/93, MI/587 - 15/93 e MI/587 - 19/93*. Monitoramento sismográfico de detonações associadas a desmonte de rochas por explosivos na Pedreira Itaquera, São Paulo, SP.
- RELATÓRIOS LACASEMIN MI/587 - 01/93, MI/587 - 05/93, MI/587 - 09/93 e MI/587 - 14/93*. Monitoramento sismográfico de detonações associadas a desmonte de rocha por explosivos na barragem da CELG - Centrais Elétricas de Goiás, Cachoeira Dourada, Goiás.
- RELATÓRIOS LACASEMIN MI/58 - 07/93 e MI/587 - 18/93*. Monitoramento sismográfico de detonações associadas a desmontes de rocha por explosivos na Pedreira Salto Grande, Americana, SP.
- RELATÓRIO LACASEMIN MI/587 - 11/93*. Monitoramento sismográfico de detonações associadas a desmonte de rochas por explosivos na pedreira de calcário da CBC - Companhia Brasileira do Cobre, Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul.
- RELATÓRIO LACASEMIN MI/587 - 13/93*. Monitoramento sismográfico de detonações associadas a desmontes de rochas por explosivos na Mina Santa Tereza, Maceió, Alagoas.
- RELATÓRIO LACASEMIN MI/587 - 16/93*. Monitoramento sismográfico de detonações associadas a desmonte de rochas por explosivos, Fazenda da Graça, João Pessoa, Paraíba.
- RELATÓRIO LACASEMIN MI/587 - 17/93*. Monitoramento sismográfico de detonações associadas a desmonte de rochas por explosivos, 2ª. Etapa da Barragem de Rejeitos da MDR - Mineração Del Rey Ltda, Mato Preto, Município De Cerro Azul, Paraná.
- RELATÓRIO LACASEMIN 05/94*. Monitoramento sismográfico de desmonte cuidadoso de estruturas de concreto armado com o uso de explosivos no vertedouro da barragem da Usina Hidrelétrica de Porto Colômbia, São Paulo.
- RELATÓRIO LACASEMIN 01/95*. Monitoramento sismográfico de detonações associadas a desmonte de rochas por explosivos durante a construção do Shopping Iguatemi, Rio de Janeiro, RJ.
- RELATÓRIO LACASEMIN 02/95*. Monitoramento sismográfico de desmonte de rocha por explosivos nas proximidades das minas de Santa Helena, Votorantim, SP.
- RELATÓRIOS LACASEMIN 03/95 e 07/95*. Monitoramento sismográfico de desmonte de rocha por explosivos durante a construção do Edifício Guinzza - Constrazza em Alphaville, Barueri, SP.
- RELATÓRIO LACASEMIN 04/95*. Monitoramento sismográfico de desmonte de rocha por explosivos nas proximidades da Pedreira Terra Nova em Jundiá, SP.
- RELATÓRIO LACASEMIN 05/95 e 08/95*. Monitoramento sismográfico de desmonte de rocha por explosivos nas proximidades da Pedreira Itaguassú em Aparecida do Norte, SP.
- RELATÓRIO LACASEMIN 06/95*. Monitoramento sismográfico de implosão no município do Rio de Janeiro, Vila Mimosa, Cidade Nova, RJ.

- RELATÓRIO LACASEMIN 03/96*. Monitoramento sismográfico da implosão do antigo prédio da Polinter - Rio de Janeiro, RJ.
- RIDER, J.P.; BURKS, J.A. A computer model simulating noise behavior in the mining environment. In: SCHEINER, B.J.; STANLEY, D.A.; KARR, C.L., eds. Emerging computer techniques for the minerals industry. Littleton, SME, 1993. Part VI, cap. 36, p. 355-61.
- ROSENTHAL, M.F.; MORLOCK, G.L. Blasting guidance manual. s.l. United States Department of the Interior. Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, 1987. Cap. 4, p. 29-44.
- RUKAVINA, M. Special Report: Blasting Trends. Rock products. V.91, n.5, p. 48-54, May 1989.
- SILVA, V. C. O fim do desmonte secundário de rocha com explosivos. In Congresso Italo-Brasiliiano de Ingeneria Mineraria, III. Verona, 1994. Atti. Parma, PEI, 1994 p. 90-2.
- SISKIND, D.E.; CRUM, S.V.; PLIS, M.N. Blast vibrations and other potential causes of damage in homes near a large surface coal mine in Indiana. Washington, U.S. Department of Th. Interior, Bureau of Mines, 1993. / U.S. Bureau of Mines. Report of Investigations, 9455).
- SISKIND, D.E. et al. Low-frequency blast vibrations at a Florida construction site. Minneapolis, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1995. (Research Report).
- SUMMERS, D. A. The state of the art in Rock Fragmentation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON APPLICATION OF ROCK CHARACTERIZATION TECHNIQUES IN MINE DESIGN, New Orleans, 1986. Proceedings, ed. by M. Karmis. Littleton, SME, 1986 - cap 16 p. 163-9.
- TAYLOR, C.D.; FURNO, A.L. Evaluation of high-pressure front-mounted water jets for friccional-ignition suppression. Pittsburgh, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1989. / U.S. Bureau of Mines. Report of Investigations, 9237).
- TUCHMAN, R.T.; BRINKLEY, R.F. A history of the Bureau of Mines - Pittsburgh Research Center.s.l., Bureau of Mines, United States Department of the Interior, s.d.
- UNATTACHED DROP BALLS BREAKS OVERSIZE. Rock products. V. 94, n. 7, p. 50-51, Jul. 1991.
- WILKINSON, M. A.; TESTER, J. W. Experimental measurement of surface temperatures during flame jet induced thermal spallation. Rock Mechanics and Rock Engineering. V.. 26,n. 1, p 29-62, 1993.

* Documento acessível mediante autorização da Empresa

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ABRAMS, A. L. ; REMINGER, F.A. Industry health and safety. In: BARKSDALE, R. D., ed. The aggregate handbook. Washington, National Stone Association, 1993. Cap.6, p. 6-1/6-15.
- ALFORD, S. The bubble curtain as a tool of destruction. Explosives Engineering, p.. 22-5, Mar. 1992.
- BARCZAK, T.M.; SCHEWEMMER, D.E. Two-leg longwall shield mechanics. Pittsburgh, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1989. / U.S. Bureau of Mines. Report of Investigations, 9220).
- BELENKY, B. et al. Problems in the Russian blasting industry. The Journal of Explosives Engineering, V.13, n. 1, p. 10 - 3, Jul/Aug. 1995.
- BERRY, P. Environmental issues in porphyry quarrying. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ISSUES AND MANAGEMENT OF WASTE IN ENERGY AND MINERAL PRODUCTION, 2., Calgary, 1992. Environmental issues and management of waste in energy and mineral production. Proceedings, Rotterdam, Balkena, 1992 p. 207-18.
- BLAIR, D. P.; LITTLE, T. N. Airblast overpressure due to blasting in open pits - technical papers. Annual Magazine. Western Australian School of Mines, p. 11-9, 1992.
- BLASTING Technology Advances : Continued refinement of initiation system, emulsion explosives and interesting possibilities of directional explosives. International Mining, V. 7, n. 4, p. 13 - 19, Apr. 1990.
- BOLLINGER, G. A. Blast vibration analysis. Carbondale, Southern Illinois University press, 1980.
- BRASIL. Leis etc. Legislação federal: controle da poluição ambiental (atualizado até julho de 1990). São Paulo, CETESB, 1990. (Série Documentos / Secretaria do Meio Ambiente).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Coletânea de trabalhos técnicos sobre controle ambiental na mineração, 2. ed. Brasília, DNPM, 1985.
- BRUNO, R.E.M. DANTINI & G. GASPA. Environmental issues analysis for quarrying activity close to urban centres. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ISSUES AND MANAGEMENT OF WASTE IN ENERGY AND MINERAL PRODUCTION, 2., Calgary, 1992. Environmental issues and management of waste in energy and mineral production. Proceedings, Rotterdam, Balkena, 1992, p 219-25.
- CICCU, R.; Waterjet in ornamental stone engineering. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., São Paulo, 1993. Anais. São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/ Dipartimento di Ingegneria Mineraria. Università di Cagliari, 1993. v. 1, p.405-24.

- COMMONWEALTH OF PENNSYLVANIA. Pennsylvania Code. Title 25. Environmental Resources: use of explosives. Harrisburgh, Bureau of Mining and Reclamation, c1992. Cap. 210, p. 210-1/5. / Amended trough 23 Pa.B. 614/.
- COMMONWEALTH OF PENNSYLVANIA. Pennsylvania Code. Title 25. Environmental Resources: storage, handling and use of explosives. Harrisburgh, Bureau of Mining and Reclamation, c1992. Cap. 211, p. 211-1/40. / Amended trough 23 Pa.B. 926/.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Normas: controle ambiental da mineração. São Paulo, CETESB,1990.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Mineração por explosivos. São Paulo, CETESB, 1992. (CETESB / D7. 013).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Mineração por explosivos. São Paulo, CETESB,S.D. / XEROCOPIADO/.
- CONSEDINE, R. L. Community relations - key to survival of Montral-East quarry. Canadian Agregates. P. 7-16. Apr/May 1992.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n. 011 de 23/01/86. S.m.t.
- DAVIS, M.L.; CORNWEL, D. A. Introduction to environmental engineering. 2. ed. New York, McGraw-Hill, 1991. (McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering).
- DOWDING, C. H., coord. Suggested method for blast vibration monitoring. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, v. 29, n. 2, p. 143-56, Mar. 1992.
- DRAKE, T. Good neighbor policy opens door for quarry expansion. Pit & Quarry Vol. 84. no. 4, p. 28-30, Oct. 1991.
- FOLCHI, R. Seismic transient with low-frequencies at short distances. Case history tunnel blasting in an urban site at Isola Liri, Italy. The Journal of Explosives Engineering , V.11, n. 4, p. 35 - 38, Nov/Dec. 1993.
- FORNARO, M.; CARDU, M.; MANCINI, R. Aspecti tecnologici e micromeccanici del taglio delle pietre con microutensili. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., São Paulo, 1993. Anais. São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/ Dipartimento di Ingegneria Mineraria. Università di Cagliari, 1993. v. 1, p.425-46.
- FRANCIS, P. ; RAYNOR, G. Underwater rock drilling and blasting. Explosives Engineering, p.. 5-9, Dec. 1993.
- GARRETT, R. E. Technology addresses problems and profits. Pit & Quarry Vol. 86. no. 7, p. 46-9. Jan. 1994.

- GIARDINO, D.A.; MARRACCINI, L.C. Noise in the mining industry. s.l., U.S. Department of Labor. Mine Safety and Health Administration, 1981. (Informational Report, 1129).
- HAGAN, T. N. ; CAMERON, A. R. Selecting explosives systems and monitoring their performance in surface mines. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINE PLANNING AND EQUIPMENT SELECTION, 3, Istanbul, 1994. Mine planning and equipment selection 1994. Proceedings Rotterdam, Balkema, 1994, p. 635-41.
- HANSON, B.D.; ROEPKE, W.W. Computer modeling of continuous miner cutting systems for dust generation. Washington, U.S. Department of Th. Interior, Bureau of Mines, 1989. / U.S. Bureau of Mines. (Report of Investigations, 9245).
- HENNIES, W. T.; WEYNE, G. R. Segurança na mineração e no uso de explosivos. São Paulo, FUNDACENTRO, 1980.
- HOLMBERG, R. Desmonte por explosivos: cálculos de plano de fogo para túneis. s.d. Traduzido por AYRES DA SILVA, L. A., Professor do Departamento de Engenharia de Minas, EPUSP, de Underground Mining Methods Handbook - AIME/SME. Apostila.
- HOROSCHUN, G. Design of blast resistant structures. Explosives Engineering., p. 10-5, Mar. 1992.
- INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROCK FRAGMENTATION BY BLASTING, 3. Brisbane, 1990. Proceedings. Victoria, Australian Institute of Mining and Metallurgy, 1990.
- JOYCE, D.; CHUNG, S. Drilling and blasting controls./ Apresentado ao 12th Annual Ground Control Seminar, Haileybury School of Mines, 1994./
- KENNEDY, A. Advances in blasting. Mining magazine V. 170, n. 6, p. 348-54, Jun. 1994.
- KLICH, A.; KALUKIEWCZ, A.; RÉ S, J. Surface splitting of blocks and concrete. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ISSUES AND WASTE MANAGEMENT IN ENERGY AND MINERAL PRODUCTION, 4., Cagliari, 1996. Proceedings SWEMP'96. Cagliari, DIGITA-Universita di Cagliari, 1996. V. 2, p. 1313-22.
- LILLY, D. Neural network simulation : charting the future of blast process control. The Journal of Explosives Engineering , V. 11, n. 5, p. 18 - 20, Jan/Mar. 1994.
- LIQUN, Z. ; SHIHUI, L. ; WENLIN, C. The reliability analysis of the NONEL detonating system in open-pit. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINE PLANNING AND EQUIPMENT SELECTION, 3, Istanbul, 1994. Mine planning and equipment selection 1994. Proceedings Rotterdam, Balkema, 1994, p. 727-33.
- MCKANNA, G. New technology markets fuel explosive growth. Australian Mining V. 84, n. 8, p. 28-30, Aug. 1992.
- MAGRUDER, K. Corps of Engineers Blasts Ditches in Mississippi Wetland. The Journal of Explosives Engineering , V.11, n. 4, p. 15 - 16 , Nov/Dec. 1993.

- MANCINI, R.; BIANCHINI, S.; CARDU, M.; FORNARO, M. Hard dimension stone quarrying by detonation cord and by diamond wire saw: a comparison of theoretical approaches and forecasts to actual quarry practice results. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2., São Paulo, 1993. Anais. São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/ Departamento de Engenharia Mineral. Università di Cagliari, 1993. v. 1, p.379-91.
- MCKENZIE, C. Diagnosis makes for better blasting. Rock Products, V. 97, n. 4, p. , Apr. 1994.
- MIDÉA, N. F. Uso de explosivos na exploração de pedreiras próximo a áreas urbanas. Mineração metalurgia. N. 511, p. 22-23, Jan / Fev. 1990.
- MIDÉA, N. F. ; DE PAULA, L. C. ; DOCCI, L. S. Desmonte de rochas com explosivos: critérios práticos para determinação de cargas por espera e distâncias seguras em basaltos. Construção pesada. Ano 8, n. 92, p. 141-4, Set. 1978.
- MORHARD, R. C. Explosives and rock blasting. Dallas, atlas Powder Company, 1987.
- MOSTAK, P. The Institute Lecture: The Application of plastic explosives in civil blasting techniques. Explosives Engineering, p. 8-14, June 1993.
- NASUF, E. & YAZICI, S. A prototype expert system for blasting design. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINE PLANNING AND EQUIPMENT SELECTION, 3, Istanbul, 1994. Mine planning and equipment selection 1994. Proceedings Rotterdam, Balkema, 1994, p. 619-24.
- NAVALKAR, C. B. Drilling and blasting technology - past and present trends. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINE PLANNING AND EQUIPMENT SELECTION, 3, Istanbul, 1994. Mine planning and equipment selection 1994. Proceedings Rotterdam, Balkema, 1994, p. 643-9.
- NEFUSSI, N. A poluição do ar no estado de São Paulo. São Paulo, CETESB, 1975. / Trabalho apresentado ao Congresso Brasileiro da Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, 1975.
- ORTOLANO, L. Environmental planning and decision making. New York, John Wiley, 1984.
- PERSSON, P. A. Recent developments in explosives and accessories - Nobel Lecture 1992. Explosives Engineering, p. 9-20, July 1992. Apresentado ao Annual General Meeting and Conference of the Institute of Explosives Engineers, Harrogate, 1992.
- PICHÉ, A. (Noranda Technology Centre). New blast technology. Engineering and Mining Journal. V. 193, n. 12, p. 22-3, Dec. 1992.
- PLASMA blasting eliminates explosives in rock breaking. CADDET Newsletter, p.22, Nov. 1992. Special Issue.
- REPOLA, S. , ATKINSON, J. Blasting conditions couldn't be worse. Explosives Engineering, p. 45-8, Mar. 1994.

- RUSILO, L. C. ; SANSONE, E. C. ; AYRES DA SILVA, L. A. ; HENNIES, W. T. Design and optimization of tunneling blasting operations. Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection. Istambul, Turquia, out. 1994.
- RUSTAN, A. & NIE, S. L. New methods to test the rock breaking properties of explosives in full scale. International Journal of Surface Mining, V. 6, n. 4, p. 191 - 200, 1992.
- SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Controle ambiental da mineração; coord. técnica por G. P. Fraga. São Paulo, CETESB, 1992. (Série Didática Especial, 15).
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Ciência e Tecnologia. Subsídios para aperfeiçoamento da legislação relacionada à mineração e meio ambiente: cadastro da legislação ambiental. São Paulo, Pró-minério, 1987.
- SCHNEIDER, L. Nonelectric initiation shock tube systems - Part 1, general description. The Journal of Explosives Engineering, V.13, n. 1, p. 10 - 3, Jul/Aug. 1995.
- SILVA, M. A. R. ; SIRIANI, F. A. Considerações gerais sobre o desmonte de rochas: Análise de custo - índice de produtividade e otimização da malha de perfuração. São Paulo, EPUSP, 1992. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/010).
- SIMPÓSIO EPUSP SOBRE CONTROLE AMBIENTAL E SEGURANÇA EM MINERAÇÃO, São Paulo, 1990. Controle ambiental e segurança em mineração ; trabalhos apresentados e org. por W. T. Hennies e S.M. Eston. São Paulo, EPUSP, 1990.
- SINGH, S.P.; LAMOND, R. D. Investigation of blast damage and underground stability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUND CONTROL IN MINING, 12., West Virginia University, 1993. Proceedings. s.l., US Bureau of Mines. US mine Safety & Health Administration, 1993. p. 366-72.
- SINGH, S. P. Blast Damage control during underground mining. In: ANNUAL CONFERENCE ON EXPLOSIVES AND BLASTING TECHNIQUE, 20., Austin, Texas, USA, 1994. Proceedings. s.l., International Society of Explosives Engineers, 1994. p.329-41.
- SINGH, S. P. & LAMOND, R. D. Prediction and measurement of blast vibrations. International Journal of Surface Mining and Reclamation, V. 7, n. 4, p. 149 - 154, 1993.
- SYMPOSIUM ON INSTRUMENTATION FOR MONITORING AIR QUALITY, Boulder, 1973. Instrumentation for monitoring air quality. Philadelphia, ASTM, 1973. (ASTM SPECIAL Technical Publication, 555).
- THE EVOLUTION OF A SUCCESSFUL BLAST. Australian Mining. V. 86, n. 7, p. 50-53, Aug./1994.

THOMPSON, J. L.; THIMONS, E. D.; TIMKO, R.J. Evaluation of moderately high-pressure water-jet assist applied to single drag bit tools. Pittsburgh, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1989. / U.S. Bureau of Mines. Report of Investigations, 9239).

VIBRATION can be controlled. Rock products. V. 94, n. 6, p. 73-5, Jun. 1991.

ZEEB, D. W. The use of slow motion video to analyze surface blasts. The Journal of Explosives Engineering. V. 11, n. 3, p. 7-14. Sep/Oct. 1993.

WARD, C.C. An introduction to vibration measurements. Mining technology. V. 73, n. 849, p. 266-9, Oct. 1991.

WESTMAN W. E. Ecology, impact assessment and environmental planning. New York, John Wiley, 1985. (Environmental Science and Technology Series).