

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIA
CURSO DE ENGENHARIA DE MINAS**

João Lucas Neves Coutinho

**MONITORAMENTO SISMOGRÁFICO COMO FERRAMENTA
DE CONTROLE AMBIENTAL**

**Recife
2016**

João Lucas Neves Coutinho

**MONITORAMENTO SISMOGRÁFICO COMO FERRAMENTA
DE CONTROLE AMBIENTAL**

Projeto de Graduação do curso de graduação apresentado no Centro de tecnologia e geociência da Universidade Federal de Pernambuco requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Magno Muniz e Silva

Recife
2016

Catálogo na fonte

Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

C871m Coutinho, João Lucas Neves.

Monitoramento sismográfico como ferramenta de controle ambiental / João Lucas Neves Coutinho. 2016.

29 folhas, il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Magno Muniz e Silva.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Graduação em Engenharia de Minas, 2016.

Inclui Referências e anexos.

1. Engenharia de Minas. 2. Sismografia. I. Silva, Carlos Magno Muniz e

Agradecimentos

Gostaria de agradecer às várias pessoas e entidades sem as quais o presente trabalho não teria sido possível:

- À Deus que me deu a oportunidade de cursar e concluir o Curso de engenharia;
- Ao meu orientador, Professor Carlos Magno, pelos conhecimentos transmitidos e a amizade que me proporcionou a motivação para chegar até o fim do curso;
- Aos Professores do Departamento de Minas,
- Aos colegas que sempre me incentivaram durante a realização deste trabalho;
- À minha família e a todos os meus amigos pela motivação e apoio dados;
- À minha noiva Camila Vasconcelos que acompanhou todo o meu curso até esse momento.

João Lucas Neves Coutinho

**MONITORAMENTO SISMOGRÁFICO COMO FERRAMENTA
DE CONTROLE AMBIENTAL**

Projeto de Graduação do curso de graduação apresentado no Centro de Tecnologia e Geociência da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Aprovado em: ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Nome do professor - instituição

Nome do professor - instituição

Prof. Dr. Carlos Magno Muniz e Silva - UFPE (orientador)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem do Primeiro sismógrafo.....	6
Figura 2 – Imagem do sismógrafo criado por criado por Richter.....	7
Figura 3 – Perturbações originadas por desmonte de rochas.....	7
Figura 4 – Efeito da vibração em estruturas.....	8
Figura 5 – Efeito da geologia na vibração.....	9
Figura 6 – Frações para diferentes tipos de detonadores.....	9
Figura 7 – Efeito da distância na vibração.....	10
Figura 8 – Influência do consumo de explosivo relacionado com a intensidade de vibração	11
Figura 9 – Posição relativa dos pontos de registro.....	12
Figura 10 – Ondas de compressão e cisalhamento.....	14
Figura 11 – Movimento ondulatório senoidal.....	15
Figura 12 – Equipamento fixado para registro sismográfico proveniente de detonações.....	17
Figura 13 – Equipamento fixado para registro sismográfico proveniente de detonações.....	18
Figura 14 – Equipamento fixado para registro sismográfico proveniente de operações de bate estaca	19
Figura 15 – Equipamento fixado para registro sismográfico proveniente de detonações	19
Figura 16 – Sistema de inspeção de residências/ estruturas	22
Figura 17 – Efeito amplificador quando a frequência natural da estrutura coincide com a frequência natural propagada no terreno.....	23
Figura 18 – Critério de prevenção de sopro de ar.....	24
Figura 19 – Efeitos do sopro de ar	25
Figura 20 – Limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência.....	27
Figura 21 – Gráfico dos limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência.....	28

SUMÁRIO

1. Introdução	6
2. Justificativa e objetivo	7
2.1 VARIÁVEIS QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS DAS VIBRAÇÕES	8
2.1.1 Geologia Local e Características da Rocha.....	8
2.1.2 Carga Máxima	9
2.1.3 Distância ao Ponto de Detonação	10
2.1.4. Consumo Específico de Explosivo	10
2.1.5. Tipos de Explosivos	11
2.1.6. Tipos de Retardo.....	11
2.1.7. Variáveis Geométricas da Bancada	12
2.2 CARACTERÍSTICAS DAS VIBRAÇÕES TERRESTRES	13
2.2.1. Tipos de ondas sísmicas geradas	13
2.2.2 Parâmetros das ondas	14
2.2.3 Atenuação Geométrica	15
2.2.4 Amortização Inelástica.....	16
2.2.5 Interações de Ondas Elásticas	16
2.2.6 Equipamentos de Registro e sua Utilização	16
2.3. Estudo Sismográficos e Sobrepressão Acústica do Ar	20
2.3.1 Planejamento dos Estudos Sismográficos	20
2.3.2 Inspeção prévia ao desmonte	21
2.4. Critério para Prevenção de Danos Estruturais	23
2.4.1 Resposta Estrutural das Edificações.....	23
2.4.2. Critério para Prevenção de Danos Provenientes da Vibração	23
2.4.3. Critério para Prevenção de Danos Provenientes de Sobrepressão Acústica do Ar	24
2.5. Normas de Controle	26
2.5.1. Normas Internacionais	26
2.5.2. Norma Nacional (NBR) 9653	27
3. Considerações Finais	29
4. Bibliografia.....	30

1. Introdução

A sismografia é uma ferramenta utilizada para controle de operações mineiras e civis, essa metodologia é bastante eficaz no controle da operação que está sendo realizada nas operações unitárias do empreendimento e preservação de uma determinada estrutura. Através dessa ferramenta é possível avaliar o que o plano de fogo produziu, se foi da maneira teórica projetada e/ ou se houve algum fator que possa melhorar.

O primeiro sismógrafo conhecido é o "Sismocópio", inventado na China por Chang Heng em 132 d.c. Este aparelho consistia numa bola de bronze sustentada por oito dragões, que a seguravam com a boca. Quando ocorria um tremor de terra, por menor que fosse, a boca do dragão abria e a bola caía na boca aberta de um dos oitos sapos de metal que se encontravam em baixo. O aparelho permitia determinar, desse modo, a direção de propagação do sismo (terremoto).



Figura 1: Imagem do Primeiro sismógrafo

Em 1935, Charles F. Richter desenvolveu a escala de magnitude Richter para comparar o tamanho dos terremotos. Sismógrafos são calibrados na escala de Richter para calcular as magnitudes do sismo, que são determinados pelo logaritmo da amplitude das ondas sísmicas. Esta medição é mostrada como zig-zag faixas gravadas no sismógrafo. Na escala Richter, um sismo de magnitude 6.0, descrito como " forte, " é dez vezes mais potente que um terremoto de magnitude 5.0, " descrito como moderado. " Embora a escala Richter é comumente usada nos meios de comunicação, os sismólogos agora usar a escala de magnitude momento, que eles acreditam ser mais cientificamente precisos.

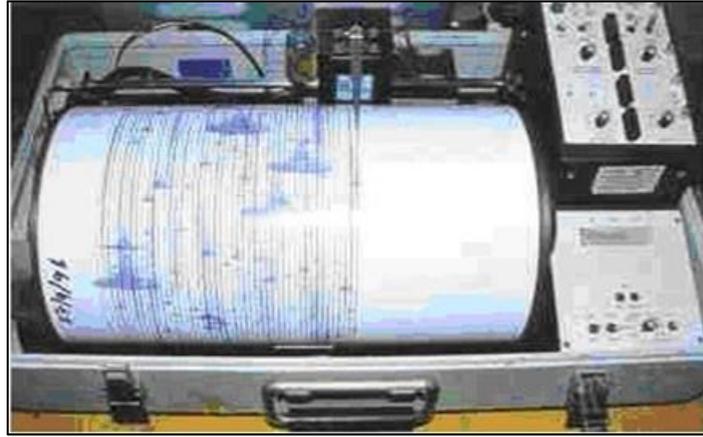


Figura 2: Imagem do sismógrafo criado por criado por Richter

2. Justificativa e objetivo

As alterações principais que originadas pelo desmonte são: vibrações, ondas aéreas e projeções das rochas. Todas elas poder, em algumas circunstancias gerar danos estruturais e/ou gerar conflitos permanentes com os habitantes locais nas proximidades das detonações. Para solucionar estes problemas é preciso uma maior qualificação dos responsáveis por planejar e executar o desmonte afim de reduzir os níveis, perturbações a uma cota admissível. Sendo necessário estudos de modo que se aperfeiçoe os métodos para que haja uma melhor eficiência trabalho.

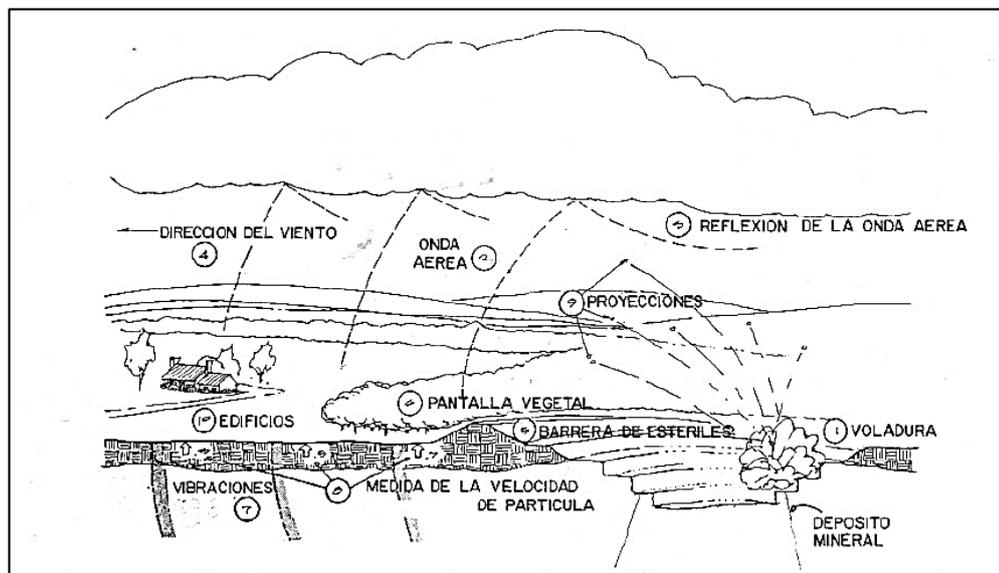


Figura 3: Perturbações originadas por desmonte de rochas (Jimeno, Lopes)

2.1 Variáveis que Afetam as Características das Vibrações

As variáveis que afetam as características das vibrações são, praticamente, as mesmas variáveis que influencia os resultados dos desmontes. Essas variáveis devem ser controladas pelos responsáveis pela detonação.

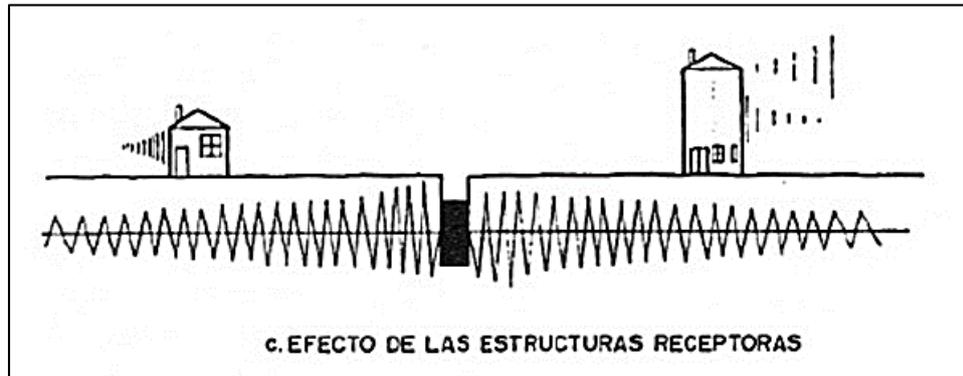


Figura 4: Efeito da vibração em estruturas (Jimeno, Lopes)

2.1.1 Geologia Local e Características da Rocha

A geologia local de entorno e as características geomecânicas das rochas tem uma grande influência sobre as vibrações. Em maciço rochoso homogêneo e massivos as vibrações se propagam em todas as direções, mas em estruturas geológicas complexas, as propagações das ondas podem variar como a direção e apresentar diferente índices de atenuação das leis de atenuação.

A presença de solo de recobrimento sobre o maciço rochoso afeta, geralmente, a intensidade e a frequência de vibrações. O solo tem uns módulos de elasticidade inferiores as da rocha, as velocidades de propagação de ondas são diminuídas por esse material. A frequência da vibração, f , diminuem também, mas o deslocamento, A , aumenta significativamente conforme a espessura do recobrimento.

A magnitude de vibração decai rapidamente quando se percorre grandes distancias com presença de recobrimento, uma grande parte da energia é consumida para vencer o atrito entre a partícula e os grandes deslocamentos. As características da vibração podem ser afetadas por fatores de desenho e geometria dos desmontes.

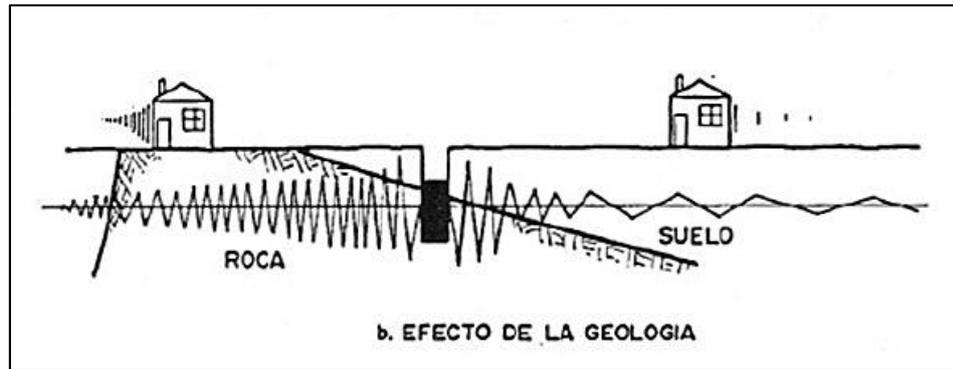


Figura 5: Efeito da geologia na vibração (Jimeno, Lopes)

2.1.2 Carga Máxima

A magnitude das vibrações terrestres e aéreas em um dado ponto varia segundo a carga explosiva que é detonada e a distância de um determinado ponto ao lugar da detonação. Se uma detonação é empregada número de detonadores, a maior carga atraso que influenciará diretamente a intensidade de vibração e não a carga total utilizada na desmonte. Ele dura enquanto o intervalo de atraso for suficientemente grande para que nenhuma interferência construtiva entre as ondas geradas pelo dispositivo afete os furos carregados.

Quando existem vários furos com detonadores que têm o mesmo tempo de atraso nominal, a carga máxima por espera é geralmente menor. O total devido aos tempos de dispersão detonadores saída funcionará. Assim, por determinar a dita carga operacional, uma fração é estimado o número total de carga iniciada por detonadores o mesmo atraso nominal.

O peso do fator de carga operacional indivíduo é o mais importante envolve a geração de vibrações. A relação entre a intensidade de vibrações e a carga é do tipo potencial, e assim por exemplo, para a velocidade das partículas seja atendida:

$$v \propto Q^a$$

Figura 6: Frações para diferentes tipos de detonadores (Jimeno, Lopes)

Obs.: Valores apresentados pra frequências superiores a 20 Hz.

TIPO DE DETONADOR	INTERVALO N.º	INTERVALO DE TIEMPO (ms)	DISPERSION (ms)	FRACCION COOPERANTE EN EL INTERVALO
VA-MS/Nonel	1 - 10	25	5 - 10	1/2
VA-MS/Nonel	11 - 20			1/3
VA-MS/Nonel	24 - 80	100	20 - 50	1/4
VA/MS	1 - 12	500	100 - 200	1/6

2.1.3 Distância ao Ponto de Detonação

A distância da detonação tem, a igual a carga, uma grande importância sobre a magnitude da vibração. Atualmente a norma ABNT NBR 9653 regulamente isso no Brasil, já que, conforme a distância aumenta diminui a vibração de acordo com a lei:

$$v = \frac{1}{D^2}$$

Outro efeito da distância é devido à atenuação os componentes da onda de alta frequência, porque a terra atua como um filtro. Assim, a distâncias de detonação a vibração do terreno irá conter mais energia no intervalo de frequências baixas.

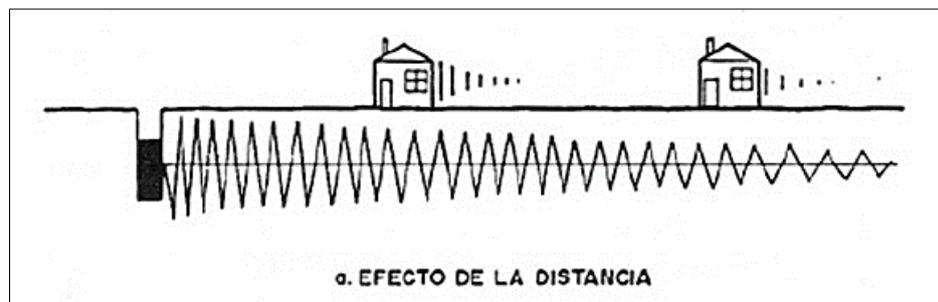


Figura 7: Efeito da distância na vibração (Jimeno, Lopes)

2.1.4. Consumo Especifico de Explosivo

Aspecto interessante que é às vezes confundindo para alguns operadores, é aquele que se refere ao consumo específico de explosivo.

Confrontados com problemas de vibração, alguns usuários tentam reduzir o consumo específico de detonação, mas não há nada mais longe da situação mínimo, juntamente como eles foram registrados onde o consumo de explosivo para baixo 20% com redução ótima, níveis de vibração medido têm-se multiplicado por 2 e 3, como um resultado Grande confinamento e má distribuição de espaço o aumento explosivo a uma falta de energia para mover e afofar a rocha fragmentada.

Pode observar a influência do consumo específico em situações extremas e nas proximidades a utilização ótima em explodir o banco.

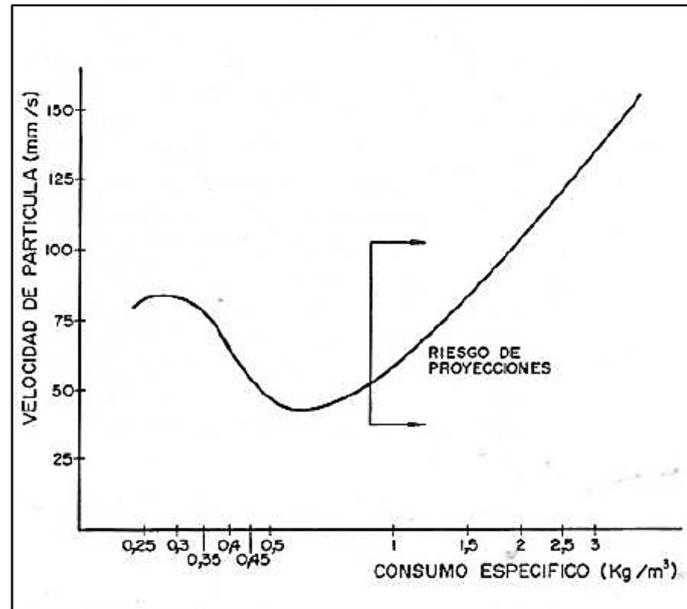


Figura 8: Influência do consumo de explosivo relacionado com a intensidade de vibração (Jimeno, Lopes)

2.1.5. Tipos de Explosivos

Existe uma correspondência entre as velocidades partícula e as tensões induzidas sobre as rochas, e tal proporcionalidade de impedância constante no meio rochoso. Assim, a primeira consequência prática é que essas pressões explosivas que geram níveis mais baixos diminuir causa vibrações furo. Estes explosivos são de baixa densidade e sua velocidade de detonação, por exemplo o ANFO. Quando se compara a mesma quantidade de um hidrogel ANFO com hidrogel comum, ou hidrogel aluminizado, a intensidade as vibrações geradas pelo primeiro é 2 vértices e 2,4 vértices inferior, respectivamente.

Em estudos vibrográficos, são utilizados explosivos muito diferentes poderes, as cargas devem ser normalizadas a um explosivo padrão conhecido. ANFO é conhecido como explosivo é escolhido referência, uma vez que é consumido no maior montante.

2.1.6. Tipos de Retardo

O retardo entre a detonação de furos pode se referir ao tempo de retardo nominal ao tempo de retardo efetivo.

A primeira é a diferença entre os tempos nominais de iniciação, ao passo que o tempo de retardo efetivo é a diferença nos tempos de chegada de os impulsos gerados pela detonação dos furos detonados com períodos consecutivos. Em um caso uma única fila de furos estes parâmetros estão relacionados pela seguinte expressão:

$$t_e = t_n - \frac{S \cdot \cos \Phi}{VC}$$

Onde:

t_e = tempo de retardo efetivo .

t_n = tempo de retardo nominal .

S = Espaçamento entre furos.

VC = velocidade de propagação de ondas sísmicas

Φ = ângulo entre a linha de progressão da detonação

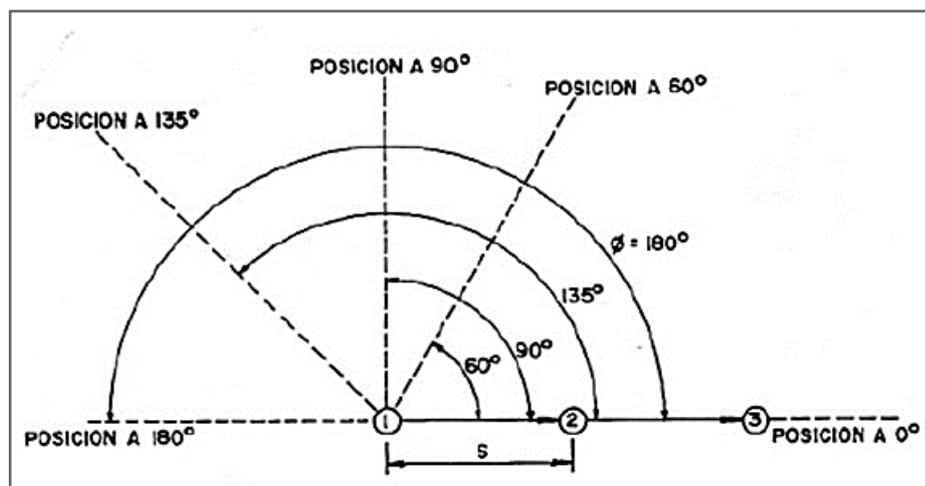


Figura 9: Posição relativa dos pontos de registro (Jimeno, Lopes)

2.1.7. Variáveis Geométricas da Bancada

A maioria das variáveis geométricas de desenho da bancada tem uma considerável influência sobre as vibrações geradas. Alguns parâmetros são:

Diâmetro de perfuração: Diâmetro maior Perfuração é negativa, porque a quantidade de explosivo por furo é proporcional ao quadrado diâmetro, resultando numa carga operante por vezes muito elevada.

Altura da bancada: Deve tentar manter uma relação de $H / B > 2$ para a boa fragmentação e eliminar os problemas repiés, os enquanto que o nível de vibração é reduzido para ser cargas menos confinados.

Afastamento e Espaçamento: Se o afastamento for maior do que resistência de encontro explosão de gás a se fragmentar e deslocando a pedra e parte da energia explosiva é transformada em energia aumentando a intensidade das vibrações sísmicas. Este fenômeno tem sua manifestação é mais clara em bancada onde confinamento e você pode registrar as vibrações da ordem de cinco

vezes mais elevadas do que um banco de detonação convencional. Se o tamanho do afastamento é reduzido gases escapam e expandir em direção ao rosto de uma livre muito alta velocidade, fragmentos de propulsão balançar projetando de forma descontrolada e também causando um aumento na onda aérea e ruído. No que diz respeito ao espaçamento, a sua influência é semelhante ao parâmetro anterior e ainda dimensão depende do valor do afastamento.

Superperfuração: Quando são usados comprimentos maior do que o necessário, cada seção adicional colabora com uma grande quantidade de energia cada vez menor movimento de corte na rocha na base, e, por conseguinte, cada vez que uma porcentagem a maior parte da energia produzida pelo explosivo fuma as vibrações no solo, gerando gastos supérfluos paralelo em perfuração e explosivos e deixando um piso irregular.

Tamponamento: Se o comprimento é muito do tampão, bem como apresentar problemas de fragmentação, confinamento é aumentada, o que pode resultar em níveis mais elevados de vibração. Como se o tamponamento for insuficiente haverá baixo confinamento e grande perda de energia que deveria ser utilizada para fragmentar o bloco.

Inclinação dos furos: Os furos inclinados diminuem a porcentagem de desmonte secundário assim como o consumo específico de explosivo e a intensidade da vibração do terreno. Apenas adotando a inclinação e possível reduzir até 10 % da vibração assim como o consumo específico de explosivo.

Tamanho do desmonte: As dimensões do desmonte são limitadas, por um lado, pelas necessidades de produção, e em segundo lugar, pôr as cargas máxima operativa determinado em estudos vibrográficos das leis da propagação, tipos de estruturas de proteção e parâmetros característicos fenômenos de perturbação.

2.2 Características das Vibrações Terrestres

Nessa etapa se estuda aspectos teóricos da geração e propagação das vibrações produzidas nos desmontes e atividades mineiras onde se possa gera um impacto na região circunvizinha, de modo que se possa tratar do problema de forma mais precisa para que se possa realizar um trabalho bastante completo devido os diferentes tipos de ondas geradas.

2.2.1. Tipos de ondas sísmicas geradas

As vibrações geradas nos desmontes se transmite através das matérias através das ondas sísmicas cujo a frente se dispersa radialmente a partir do ponto de detonação. As ondas no caso são ondas internas (propagação no meio do maciço rochoso) e ondas superficiais.

Os primeiros tipos de ondas internas são chamados "primária ou compressão." Essas ondas são propagadas dentro do material, produzindo alternadamente expansões e compressões resultante um movimento das partículas no sentido de propagação da onda. Eles são os mais rápidos e produzem alterações de volume, mas não estão no material através do qual se propagam. O segundo tipo é o de "ondas transversais de cisalhamento ou S que resultam num movimento das partículas perpendicular à direção propagação da onda. A velocidade das ondas transversais é constituída entre as ondas longitudinais e as ondas de superfície. Materiais por causa dessas ondas de sofrer alterações de forma, mas nem volume. Ondas tipo de superfície que são normalmente geradas em explosões de rochas são: ondas R-Rayleigh e Love-O. Outros tipos de ondas as ondas de superfície são as ondas Stonely canal e, sem importância pela pouca informação fornecimento.

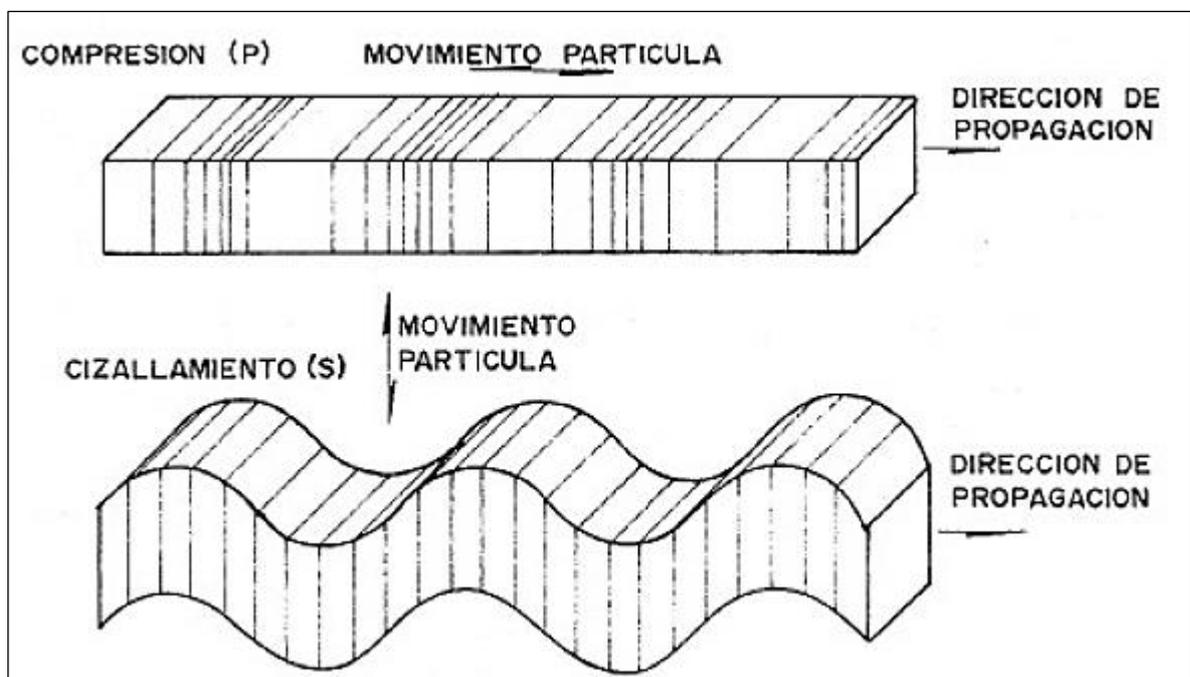


Figura 10: Ondas de compressão e cisalhamento (Jimeno, Lopes)

2.2.2 Parâmetros das ondas

A passagem de uma onda sísmica através de um meio rochoso produzida em cada ponto de movimento que esta vibração é conhecida. Uma simplificação para o estudo das vibrações gerada pela detonação estiver a considerar estas ondas senoidais:

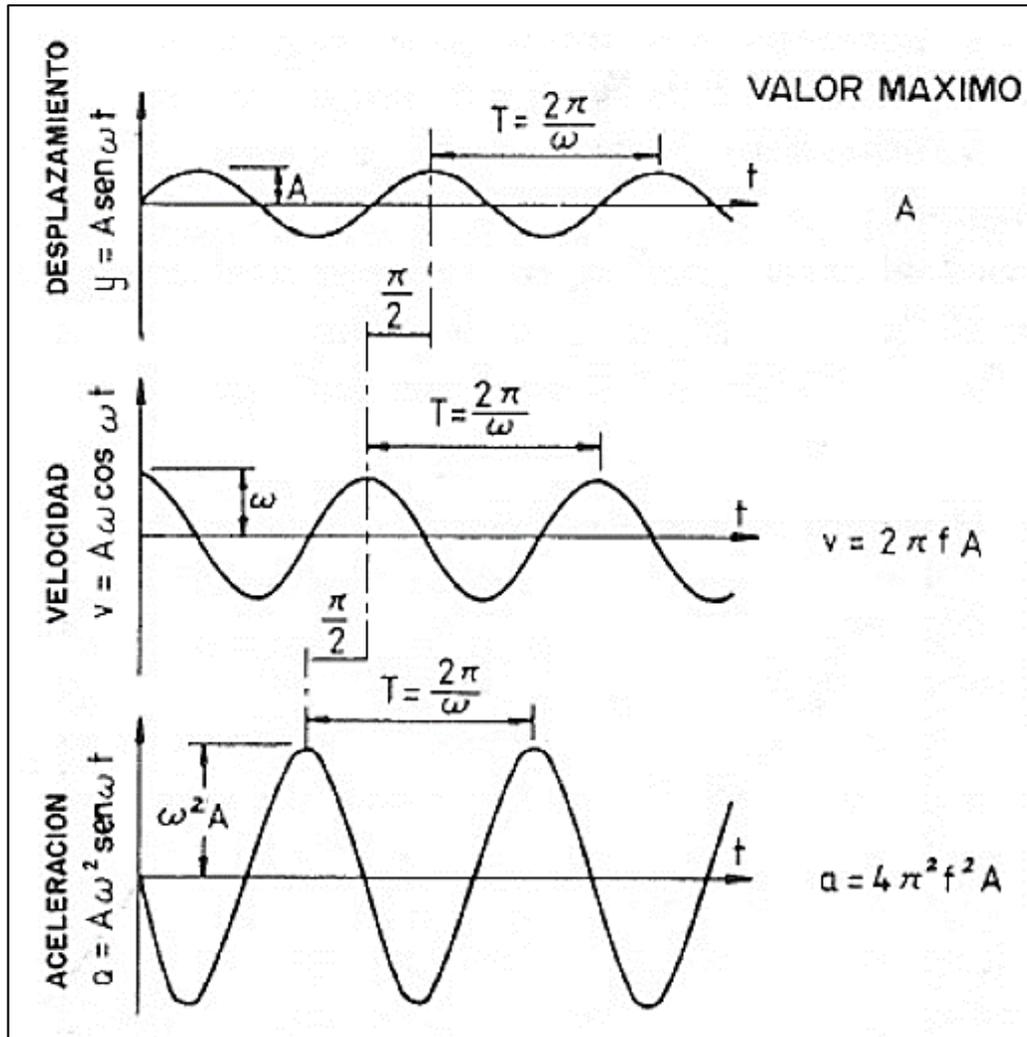


Figura 11: Movimento ondulatório senoidal (Jimeno, Lopes)

Os parâmetros básicos da análise são:

A amplitude (A): Deslocamento máximo de um ponto a partir da sua posição de repouso.

Velocidade da partícula (v): Taxa em que move o ponto.

Aceleração (a): Taxa de variação de velocidade.

Frequência (f): Número total de oscilações ou ciclos por segundo. A frequência é inversa período de "T".

2.2.3 Atenuação Geométrica

A densidade de energia na propagação dos pulsos gerados pela detonação de uma carga diminuições explosivas como as ondas são ou afetar volumes maiores de rocha. Uma vez que as vibrações no solo induzidas por detonações compreendem uma combinação complexa de onda parece lógico considerar alguns fatores atenuantes geometria para cada um dos diferentes tipos. Em

um meio elástico de amplitude homogêneo e isotrópico cai devido ao amortecimento geométrica, sendo a sua queda, para diferentes tipos de ondas dominantes, proporcional.

2.2.4 Amortização Inelástica

Na natureza, os maciços rochosos não são para a propagação de vibração elástica significativa, isotrópica e homogênea. Pelo contrário, eles aparecem numerosos efeitos inelásticos causou uma perda energia durante a propagação das ondas. Além de que, devido à atenuação geométrica. São muitas causas desta atenuação inelástica cada um com diferentes graus de influência:

- Dissipar matriz inelástica, devido ao movimento em superfícies e no intercrystalina planos de descontinuidade.
- Atenuação em rochas saturadas devido ao movimento de fluido em relação à matriz.
- Fluxo dentro das rachaduras.
- Difusão de tensões induzidas absorvida volátil.
- Reflexão sobre grandes rochas porosas ou com grandes espaços vazios.
- Absorção de energia em sistemas experimentando mudanças de fase.

2.2.5 Interações de Ondas Elásticas

As interações das ondas sísmicas no tempo e no espaço pode levar a uma concentração ou atenuação valores dos coeficientes fornecendo atenuação de maior ou menor do que o teoricamente calculado. A topografia e a geometria das formações Geológicas podem levar à reflexão e concentração de frentes de onda em determinados pontos.

2.2.6 Equipamentos de Registro e sua Utilização

A cadeia de registro é composta por vários elementos que executam as seguintes funções:

- Detecção pelos sensores.
- A transmissão de sinais eléctricos res capturadas por meio fios condutores e
- Registo dos sinais com um sismógrafo para estudo e análise posterior.

Um esquema geral será mostrado sobre as operações e instrumentação utilizado em estudos de vibrações. Os receptores é o primeiro elemento cadeia de medição, e deve ser tão conjuntamente ligado ao meio sob vibração de modo a que o sinal transmitido reflete com precisão as características da onda. Esta fixação pode ser feita por vários sistemas: simplesmente descansar no chão, sendo

parafusado um pino de alumínio ou outro material não ferroso a serem capturados são eletro dinamicamente.

Os modos de utilização vão de fixação do Geofone são:

- No chão através da fixação com gesso.
- No chão através do seu enterramento no solo.

De modo que a sua fixação possa ser melhor aproveitada na recepção das ondas sísmicas que serão geradas e avaliadas no estudo.



Figura 12: Equipamento fixado para registro sísmográfico proveniente de detonações.



Figura 13: Equipamento fixado para registro sismográfico proveniente de detonações. (Vila Velha/ES)



Figura 14: Equipamento fixado para registro sismográfico proveniente de operações de bate estaca (Olinda/PE).



Figura 15: Equipamento fixado para registro sismográfico proveniente de detonações (Camaragibe/PE).

2.3. Estudo Sismográficos e Sobrepressão Acústica do Ar

2.3.1 Planejamento dos Estudos Sismográficos

Os objetivos do estudo sismográficos são basicamente dois:

- Conhecer a lei de propagação de vibrações, Depois de determinar a carga máxima de operação para uma dada distância e critérios de prevenção adotada.
- Conhecer as frequências de vibração predominantes para a massa de rocha a ser escavada e definir por baixo da sequência de ignição mais eficaz.

Para a coleta dos dados necessita-se de um reconhecimento área geológica que se situa entre o desmonte e estruturas a serem preservadas. Dependendo das variáveis da detonação é projetada para escalas de estudos, individuais ou múltiplos, que podem ser cargas variadas operatória ou distâncias a partir do primeiro furo carregado próximo aos pontos de registro, a fim de cobrir uma ampla gama de distâncias curtas. Após os resultados do primeiro levantamento é você pode decidir qual o componente que está mais interessado em medir, quais serão as medidas prévias e/ou de controle de redução até as estações sismográficas e determinar qual será a quantidade ótima para que se possa realizar um cálculo estatístico das variáveis vibratórias. No entanto, quando não estão disponíveis um grande número de estações deve-se levar em conta os pontos mais críticos a fim de que se determine um parâmetro pela situação mais adversa, caso a mesma esteja dentro do padrão necessário estabelecido por normas de segurança.

O número mínimo de detonações para que se realize o estudo é fazer entre 8 e 10 medições levando em conta o desempenho em termos de confinamento, escovamento, amarração, etc. As detonações devem ser semelhantes aos desmontes de produção normais de determinado empreendimento, como muitas vezes adotam posições conservadoras a respeito dos fogos de bancadas.

Além disso, a situação espacial é importante, porque um estudo realizado num certo nível e dentro um contexto geológico-estrutural pode em por vezes, não ser extrapolados para outras áreas. Qualquer estudo a respeito da vibração é no tempo e no espaço de validade limitado.

Uma vez reproduzida registros laboratoriais ele fornece a análise relevante, prossegue tratamento estatístico dos mesmos, a fim de lei de atenuação. Anteriormente, eles foram resumidos todos os dados um comprimido, que aparecem, por exemplo, os níveis máximos vibração, a velocidade das partículas e distâncias reduzidas.

2.3.2 Inspeção prévia ao desmonte

O objetivo destas inspeções é reunir um documento escrito o status de uma estrutura antes começando a escavação com explosivos. Muitos edifícios têm rachaduras em alguns lugares cujos ocupantes são inconscientes que, após iniciar o trabalho de inicialização a culpa a explodindo vibrações e sopro de ar.

Em alguns países, estas inspeções são comuns, e assim no Escritório de Mineração de superfície dos Estados Unidos "Prevê que qualquer residente cuja propriedade está localizada a cerca de 800 m do local de desmonte pode solicitar à Administração um estudo antes do trabalho.

A primeira vantagem oferecida por essa documentação é sensibilizar os moradores próximos que muitas das fendas ou danos a edifícios têm origens muito diferentes para sísmica e pode ser devido a mudanças sazonais, temperatura, umidade, vento, condições a qualidade do solo e de construção das estruturas.

A segunda vantagem é que a documentação pode ser usada, se necessário, para verificar ou refutar reclamações por danos alegadamente causados pela vibração. Muitas vezes o custo inicial da realização desses documentos é amplamente compensado pela redução do número de reclamações e situações de conflito contencioso entre as empresas operadores e residentes nas proximidades. Uma pessoa treinada pode inspecionar um com uma média de 7-8 casas. O procedimento para realizar a descrição o estado de uma estrutura deve ser o mais sistemático e detalhada quanto possível, recolher escrito tudo defeito visual e até mesmo fazer imagens dos mesmos.

Cada documento deve contemplar em primeiro lugar identidade dos proprietários, endereço e o estado de residência e data da inspeção. O sistema utilizado para o estudo do interior de uma habitação. Outros aspectos a serem incluídos são o relativa fachadas externas, garagens, fundação, etc.

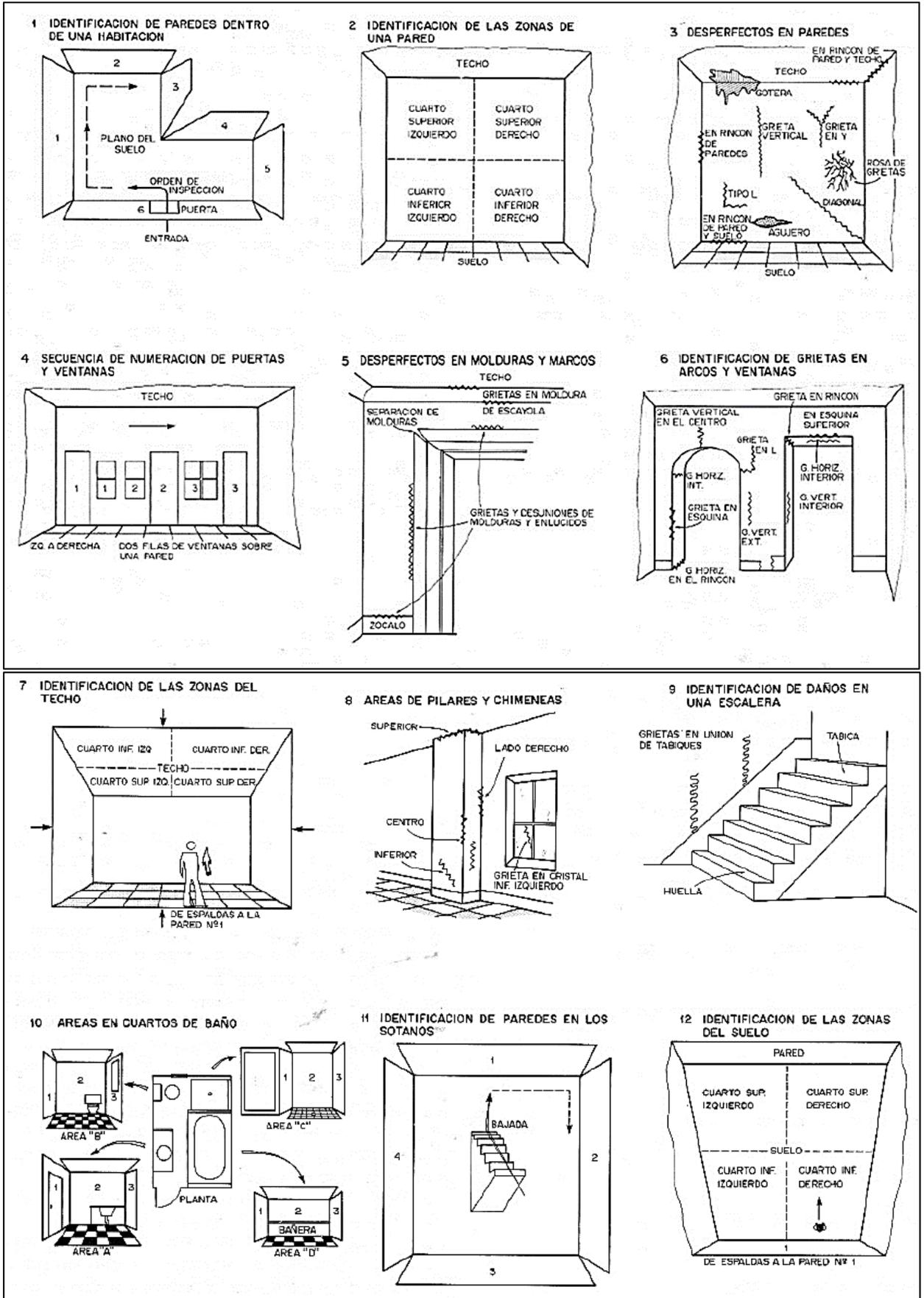


Figura 16: Sistema de inspeção de residências/ estruturas (Jimeno, Lopes).

2.4. Critério para Prevenção de Danos Estruturais

2.4.1 Resposta Estrutural das Edificações

Os danos gerados em uma estrutura construídas gerados através de uma ação externa do tipo vibratório que depende da dinâmica de todo o edifício, o qual, por sua vez está condicionada por vários fatores como:

- Tipo e características de vibração, comprimento, muitas vezes transmitida de energia, etc.
- Classe do terreno em que fica o estrutural
- Características de vibração na estrutural, fatores de construção não estruturais e fatores modificadores dos mesmos.

Um parâmetro importante para controlar os danos potenciais vibrações devido à detonação provenientes do desmorte é a frequência dominante destes. Em casos onde a frequência natural dos edifícios estão muito perto ou eles são iguais às frequências dominantes, nesse caso produz um fenômeno de ressonância amplificadores efeitos

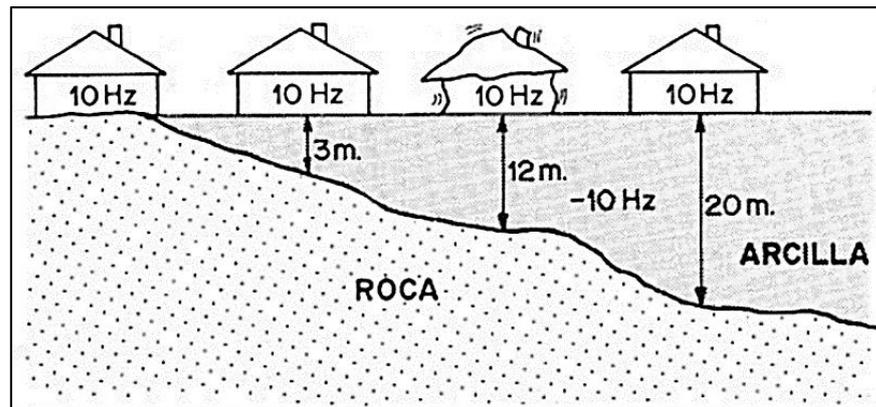


Figura 17: Efeito amplificador quando a frequência natural da estrutura coincide com a frequência natural propagada no terreno (Jimeno, Lopes).

2.4.2. Critério para Prevenção de Danos Provenientes da Vibração

Uma vez conhecida a lei que rege a propagação de ondas sísmicas no ambiente rochoso, é necessário estimar o grau máximo de vibração que podem tolerar os diferentes tipos de estruturas, perto área de escavação para evitar qualquer dano.

A adoção de critérios ou níveis de prevenção das vibrações é muitas vezes uma tarefa delicada, que requer uma compreensão completa dos mecanismos que interferem nos fenômenos de desmorte e de respostas nas estruturas. Um critério arriscado pode levar ao aparecimento de

defeitos e danos, enquanto que uma abordagem conservadora pode difícil ou mesmo paralisar o desenvolvimento da atividade de mineração ou obras civis com explosivos.

Os critérios para prevenir as vibrações geradas pelo desmonte de rocha têm sido extensivamente estudados desde o início do século. Entre estes são o de Rockwell em 1927, e Windes em Thoenen 1942 utilizado como um parâmetro mais característico aceleração de partículas, Crandell, em 1949, que usou a razão de poder, Morris em 1950, que estabeleceu um novo critério de danos com base na amplitude de vibração, Kihlstrom Langefors e em 1958 que adotou como parametro mais significativo a velocidade das partículas propondo diferentes níveis de acordo com intensidade dos danos potenciais. Subsequentemente, em 1963 OS autores consideraram o tipo de terreno em que as estruturas são cimentadas e proposto critérios de uma forma mais geral. Durante os anos 60 e 70, muitos pesquisadores como Northwood, Crawford, Edwards, Duvall, Fogelson, Nicholls, etc. Eles apresentaram vários limites de segurança todos baseados na velocidade da partícula, visando a necessidade de ajustar esses níveis prevenção: os diferentes tipos de construções, como Ashley fez em 1976, Chae em 1978, Wiss 1981, etc.

Numa outra etapa de desenvolvimento e aperfeiçoamento critérios que também apresenta o tipo de rocha e o tipo de estrutura fica a ser protegido, como outra variável importante como é a frequência de vibração, e publica o AFTES das normas francesas, (1976), o padrão de Deutsches Institut für Normung , o DIN (1983) , etc.

2.4.3. Critério para Prevenção de Danos Provenientes de Sobrepressão Acústica do Ar

O sopro de ar geralmente envolve menos problemas que as vibrações terrestres. Quebra de vidros pode ocorrer antes que os danos decorrentes estruturais, tal como, por exemplo, em fissuras. Os critérios propostos por Siskind e Summers (1974) para impedir que vidro quebrado são aqueles mostrado na figura abaixo.

DISTANCIA AL AREA DE LA VOLADURA	VELOCIDAD MAXIMA DE PARTICULA (mm/s)	DISTANCIA REDUCIDA QUE SE ACONSEJA CUANDO NO SE DISPONE DE INSTRUMENTACION (m/kg ^{1/2})
0 a 90 m	32	22,30
90 a 1500 m	25	24,50
> 1500 m	19	29,00

Figura 18: Critério de prevenção de sopro de ar (Jimeno, Lopes).

A probabilidade de vidro quebra de uma determinada sobrepressão de ar pode ser calculado pela equação Redpath dada por:

$$PR_c (\%) = 2.043 \times 10^{-9} \times A_v^{1,22} \times A_p^{2,78}$$

Onde:

A_v = Área do painel de janela (m^2).

A_p = sobrepressão de ar (âmbar).

Especial atenção deve ser na comparação de níveis de ruído, como dB (L) refere-se a uma escala logarítmica. Uma sobrepressão de 120 dB (G) é 78,6 % maior do que 115 dB outro (G).

SOBREPRESION		EFFECTO PROBABLE
180 dB(L)	20,0 kPa	— Daños importantes en estructuras convencionales.
> 170	> 6,3	— Aparición de grietas en enlucidos.
170	6,3	— Rotura de muchos cristales de ventanas.
150	0,63	— Rotura de algunos cristales de ventanas.
140	0,2	— Probable rotura de grandes cristales de ventanas.
136	0,13	— Límite de onda aérea propuesto por el U.S.B.M.
120	0,02	— Quejas
115	0,0112	— <6% de la sobrepresión que puede causar la rotura de grandes cristales.

Figura 19: Efeitos do sopro de ar (Jimeno, Lopes).

Outra maneira de se evitar uma grande sobrepressão acústica é determinar o melhor horário e condições climáticas. Pois o horário pode-se evitar a inversão térmica que ocorre com geralmente no fim da tarde e as condições climáticas devido a grande presença de nuvens pode fazer que as ondas de choque não se dissipem completamente no ar e ganhe uma forma unidirecional podendo atenuar o dano às estruturas.

Podendo também se utilizar de uma cortina verde onde se possa gerar uma impedância par que diminua os efeitos causados pela detonação, onde se planta arvores nas extremidades da lavra a fim que de que todo o sopro de ar gerado seja parcialmente dissipado.

2.5. Normas de Controle

2.5.1. Normas Internacionais

Em muitos países desenvolvidos existem normas específicas que regulam as vibrações geradas pelas detonações, com limites para as mesmas.

No caso específico de minerações em áreas urbanas, a velocidade de vibração de partícula, normalmente expressa em mm/s, é o parâmetro que tem dado melhor correlação na avaliação de possíveis danos às estruturas civis, atribuídos às vibrações do terreno.

A maioria das normas existentes apresentam valores que variam de 2 mm/s até 150 mm/s dependendo do tipo de construção. A maioria considera na avaliação de danos estruturais, além da velocidade, a frequência da vibração, e algumas usaram parâmetros como o tipo de construção e o material.

As normas internacionais mais importantes são as seguintes:

- Alemanha: Deutsches Institut für Normung (DIN) 4150
- França: Recomendações da Association Française des Tunnelset del' Espace Souterrain (AFTES)
- Reino Unido: British Standards (BS) 7385
- Suécia: SS460 48 66
- Portugal NP-2074
- Vários países: International Organization for Standardization (ISO) 2631
- Estados Unidos: USBM RI 8507

A maioria das normas são semelhantes em termos dos critérios que limitam as vibrações e algumas características comuns são:

- Inclusão de diferentes tipos de estruturas (dependendo do nível de resistência que é assumida a priori) e exclusão de certas estruturas especiais como pontes, túneis, represas, etc.
- Variação dos limites de velocidade da vibração com a frequência, com uma relação diretamente proporcional entre elas.
- Estabelecimento de critérios para o cálculo da frequência predominante pelo método da Fast Fourier Transform (FFT). Com base nos registros de vibração o espectro de frequências permite determinar a frequência ou frequências predominantes ou principais da onda.

2.5.2. Norma Nacional (NBR) 9653

A NBR 9653 teve sua última atualização no ano de 2005. Uma norma que ainda precisa que se haja uma atualização quando se comparada a USBM e a DIN

A NBR 9653 tem como principal definição no seu item 3 os principais conceitos relacionados ao tema e no item 4 os critérios de avaliação e limites recomendáveis. Apresenta as seguintes condições que devem ser observadas nos desmontes por explosivos:

- Os ultralanchamentos não devem ocorrer além da área de operação do empreendimento e devem ser respeitadas as normas internas de segurança referentes à operação de desmonte.
- A pressão acústica medida além da área de operação, não deve ultrapassar o valor de 100 Pa, o que corresponde a um nível de pressão acústica de 134 dBL pico.
- Os riscos de ocorrência de danos induzidos por vibrações do terreno devem ser avaliados levando-se em consideração a magnitude (velocidade de vibração de partícula de pico) e a frequência de vibração de partícula.
- Os limites para velocidade de vibração de partícula de pico acima dos quais podem ocorrer danos induzidos por vibrações do terreno são apresentados numericamente.

Faixa de Frequência	Limite de Velocidade de vibração de partícula de pico
4 Hz a 15 Hz	Iniciando em 15 mm/s aumentando linearmente até 20 mm/s
15 Hz a 40 Hz	Acima de 20 mm/s aumentando linearmente até 50 mm/s
Acima de 40 Hz	50 mm/s

Figura 20: Limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência (ABNT 9653, 2005).

Para valores de frequência a baixo de 4 Hz deve ser utilizado como limite o critério de deslocamento de partícula de pico de no máximo 0,6 mm (de zero a pico).

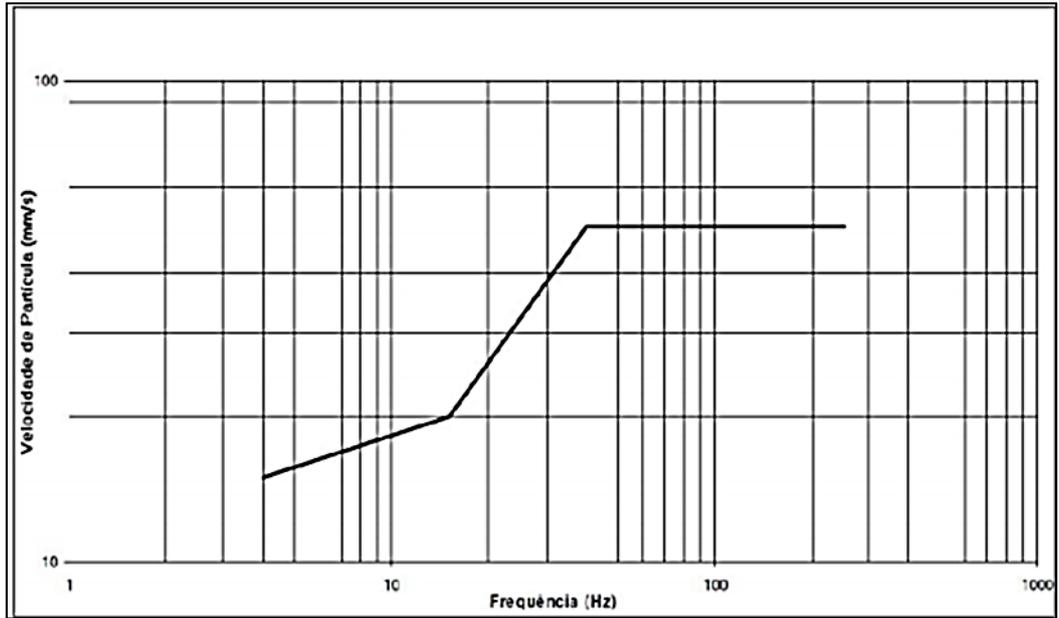


Figura 21: Gráfico dos limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência (ABNT 9653, 2005).

3. Considerações Finais

As principais conclusões obtidas nesse projeto foram:

- Antes de avaliar o tipo de controle devemos ter atenção a geologia do local e as características do maciço rochoso, por muitas vezes ela por si só já nos define a metodologia e como será o estudo para realizar o trabalho;
- Observar as variáveis do plano de fogo, pois com apenas algumas mudanças de tempos, carga máxima por espera (CME), sequenciamento do fogo e etc.; podemos reduzir os níveis de vibração gerada no maciço minimizando os efeitos nas estruturas;
- Determinar previamente o quantitativo de equipamentos necessários para determinar um raio de ação estatístico de modo que se possa ver todos os componentes da onda e sua ação após a detonação pelas leis de atenuação do corpo rochoso ou lei de atenuação do solo presente na estrutura;
- Realizar uma inspeção prévia antes da execução do desmonte nas residências/ estruturas pois a maioria dos danos estruturais já estão presentes no local, apenas atenuado com as ondas de choques e além do mais servindo até mesmo como peça de prova judicial caso venha ser necessário;
- Para prevenção de danos a estrutura temos que determinar qual será a energia utilizada para a o desmonte, classe do terreno/ solo, saber a frequência natural da estrutura a fim de trabalhar em faixas diferentes para se evitar o efeito da ressonância,
- Controlo da geometria e execução do plano de fogo a fim de gerar o mínimo de sobrepressão atmosférica;
- Está sempre trabalhando dentro das normas técnicas vigente para que haja um maior respaldo técnico para o trabalho e caso haja um eventual problema de vibração se possa estar guardado judicialmente, atualmente no Brasil a norma técnica vigente é a ABNT/NBR 9653/2005; no mundo há normas mais completas como a USBM e a DIN de modo que se avalia o tipo de estrutura e determinas os limites através delas. Só que infelizmente no Brasil não há uma estrutura padrão, logo esses mesmos critérios não se podem fazer valer;
- Utilizar de medidas prévias mitigadoras que possam minimizar os efeitos do empreendimento minério;
- Observar as condições climáticas e determinar um ótimo horário para as operações de desmonte de rochas;

4. Bibliografia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9653**: Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2005.

BACCI, D. C. **Vibrações geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rochas: avaliação dos parâmetros físicos do terreno e dos efeitos ambientais**. 2000. 2 v. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade estadual Paulista. Rio Claro, São Paulo, 2000.

BACCI, D. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 59, n. 1, p. 47-54, jan./mar. 2006.

DALLORA NETO, C.; FERREIRA, G. C. Controle de vibrações geradas por desmonte de rochas com explosivos. Estudo de caso: Calcário Cruzeiro, Limeira (SP). **Geociências**, v. 25, n. 4, p. 455-466, 2006

INTERNATIONAL SOCIETY OF EXPLOSIVE ENGINEERS/ISEE. **Blasters' Handbook**. Cleveland, 2003.

LLERA, J. M. P.; JIMENO, C. L.; URBINA, F. P. O.; JIMENO, E. L. **Manual de Perforación y voladura de rocas**. Madrid. Instituto Geológico y Minero de España, 2003.

Internet:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56416456012>