

RAFAEL FARONI GONZAGA CASTRO

**EQUAÇÃO DE CARGA-DISTÂNCIA E SEU USO COMO
FERRAMENTA PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES NO DESMONTE
DE ROCHA POR EXPLOSIVOS**

SÃO PAULO
2011

RAFAEL FARONI GONZAGA CASTRO

**EQUAÇÃO DE CARGA-DISTÂNCIA E SEU USO COMO
FERRAMENTA PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES NO DESMONTE
DE ROCHA POR EXPLOSIVOS**

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

Orientador:
Prof. Dr. Wilson Siguemasa Iramina

SÃO PAULO
2011

TF-2011
C279L
2270693

INSTITUTO GONÇALVES

COMISSÃO DE REGISTRO DE DOMÍNIOS
FERRAMENTAS PARA CONTROLE DE REGISTROS
DE REGISTROS PORTUGUESES

M2011i

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700009061

FICHA CATALOGRÁFICA

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Castro, Rafael Faroni Gonzaga

**EQUAÇÃO DE CARGA-DISTÂNCIA E SEU USO COMO FERRAMENTA
PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES NO DESMONTE DE ROCHA POR
EXPLOSIVOS**

São Paulo, 2011.

Trabalho de Formatura apresentado à Escola Politécnica/USP

Orientador: Iramina, Wilson Siguemasa

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer o Prof. Dr. Wilson Siguemasa Iramina, por ter aceitado ser meu orientador e pela ajuda e paciência.

Agradeço ao professor Sérgio Médici de Éston, por conceder gentilmente material do LACASEMIN e a ajuda imprescindível da pós graduando Giselle Martinez, Pedro Margutti e Michiel Wichers Schrage sem a qual não teria conseguido fazer este trabalho a tempo.

Agradeço também ao gerente da unidade da Holcim de Mairiporã, Valter Rezende, que permitiu as medições na mineração e forneceu dados para o andamento do trabalho.

Gostaria também de agradecer a José Domingo, Renata Silva e Edvan José, funcionários da Holcim por terem dado todo o apoio no dia do monitoramento.

Gostaria de agradecer a todos as amizades feitas durante o curso de engenharia de minas, que tornaram esses anos de Escola Politécnica, no mínimo mais engraçados.

Gostaria de agradecer a Carla Ramos dos Santos pelo apoio incondicional e pelos três anos que estamos juntos.

Por fim gostaria de agradecer a meus pais por terem me dado toda a estrutura e condição necessária para estudar na Universidade de São Paulo. Sem eles acredito que nem estaria escrevendo este trabalho agora.

RESUMO

O desmonte de rochas com o uso de explosivos gera diversos efeitos indesejáveis entre eles as vibrações no solo, os quais podem causar desconforto às comunidades vizinhas e danos às estruturas construídas. Com a aproximação das populações em torno de empreendimentos mineiros, principalmente pedreiras, a quantidade de reclamações e de processos judiciais vem aumentando. Com o uso de monitoramentos de vibrações é possível determinar uma relação entre a velocidade de vibração de partícula, sua distância para a bancada desmontada e a carga máxima por espera através da equação de carga-distância. Neste trabalho são apresentados estudos com relação às vibrações geradas no desmonte de rocha por meio de explosivos na pedreira Holcim, unidade de Mairiporã. Para tanto, foi realizado um monitoramento simultâneo com oito sismógrafos, e um levantamento histórico de vibrações do desmonte do ano de 2010. Após análise dos dados foram sugeridas duas equações de carga-distância nas direções do norte e do sul da mineração. Os resultados mostraram que é possível determinar uma equação carga-distância com dados pontuais, porém que a equação, quando determinada com dados de um monitoramento simultâneo, fornece uma aproximação muito mais confiável.

PALAVRAS-CHAVE: Vibrações, equação carga-distância, sismografia, velocidade de vibração de partícula, monitoramento simultâneo

ABSTRACT

Rock blasting generates many undesired effects including ground vibrations, which can cause discomfort to the surrounding communities and damage to built structures. With the increase of population living near the mining enterprise, especially quarries, the number of complaints and lawsuits are increasing. With the use of vibrations monitoring is possible to determinate a relationship between the vibration velocity of particle, its distance to the blasting bench and the maximum load per time trough the load-distance equation. This paper presents studies related to the vibrations generated in rock blasting in Holcim's quarry at Mairiporã. To that end, was performed a simultaneous monitoring of eight seismometers, and a historical survey of the blasting vibration related to the year of 2010. After analysis of the data were suggested two load-distance equations away from the north and south of the mining. The results showed that is possible to determinate a load-distance equation through punctual data but the equation, when determined with a simultaneous monitoring data, provides a more reliable approach.

KEY-WORDS: Vibration, load-distance equation, seismography, vibration velocity of a particle, simultaneous monitoring.

SUMÁRIO

	pág.
1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Apresentação do problema.....	8
1.2 Objetivo	8
1.3 Justificativa	8
2 MATERIAIS E MÉTODOS	9
2.1 Instrumentos.....	9
2.1.1 Sismógrafos.....	9
2.1.2 Outros instrumentos.....	9
2.2 Metodologia:.....	9
2.3 Metodologia para o trabalho em campo	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 Definições	12
3.2 Conceitos do bem mineral	13
3.2.1 Caracterização / ocorrências.....	13
3.2.2 Granito.....	14
3.3 Detonação e propagação de ondas sísmicas em um maciço rochoso.....	14
3.4 Normas de controle ambiental	17
3.4.1 Norma ABNT NBR 9653.....	17
3.4.2 Norma CETESB D7.013	18
4 DADOS DO LOCAL ESCOLHIDO PARA AS MEDIÇÕES.....	19
4.1 Localização.....	19
4.2 Caracterização da rocha.....	19
4.2.1 Geologia Regional.....	19
4.2.2 Petrologia.....	20
5 EQUAÇÃO CARGA DISTÂNCIA.....	21
6 VALORES OBTIDOS DOS MONITORAMENTOS SISMOGRÁFICOS	23
6.1 Dados históricos.....	23
6.2 Monitoramento com oito pontos de medição.....	24
7 RESULTADOS.....	27
7.1 Determinação das equações carga-distância.....	27
7.1.1 Equação carga-distância direção Norte.....	27
7.1.2 Equação carga-distância direção Sul	28
7.2 Análise dos resultados obtidos.....	28
7.3 Usos da equação de carga distância para a mineração HOLCIM	29
8 CONCLUSÕES.....	30
9 REFERÊNCIAS	31

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1 - Posicionamento do geofone sobre a rocha	10
Figura 2- Onda primária (OBSIS).....	15
Figura 3 – Onda secundária (OBSIS).....	15
Figura 4- Onda de Rayleigh (OBSIS)	16
Figura 5 - Onda de Love (OBSIS)	16
Figura 6- Representação gráfica dos limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência (ABNT, 2005)	18
Figura 7- Frente de desmonte sul e ponto de monitoramento	23
Figura 8- Pontos de posicionamento dos sismógrafos	25
Figura 9 - Regressão de 17 pontos monitorados em 2010 na direção Norte da pedreira Holcim	27
Figura 10- Regressão de 8 pontos monitorados na direção Sul da pedreira Holcim	28

LISTA DE TABELAS

	pág
Tabela 1- Limites velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência (ABNT, 2005).....	17
Tabela 2- Histórico de sismografia de 2010 (detonações na face Sul)	24
Tabela 3- Coordenadas e nomenclatura dos pontos de monitoramento.....	25
Tabela 4- Resultados do sismógrafo BE7092.....	26
Tabela 5- Resultados dos monitoramentos do dia 08/11/2011	26
Tabela 6- Distâncias mínimas para atender a norma da CETESB	29

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do problema

Apesar de fundamental no desenvolvimento das civilizações, a mineração sempre foi vista de uma forma predatória quando relacionada a assuntos ambientais, tendo em vista que suas atividades geram vibrações, ruídos, impacto visual, resíduos tanto líquidos como sólidos, emissão de particulados e gases poluentes entre outros.

Muitas das minerações de granito, que atendem a região metropolitana de São Paulo, iniciaram suas atividades em áreas não urbanas. Por serem na maioria das vezes a atividade de maior importância econômica em suas respectivas localidades, geram um adensamento urbano em seu entorno, e com o passar do tempo, essas pedreiras, antes isoladas, acabam envolvidas por novos núcleos habitacionais, iniciando conflitos entre o bem estar da comunidade e os impactos intrínsecos da atividade de mineração.

Um dos fatores que mais geram atritos entre minerações e a população circunvizinha são os impactos do desmonte de rocha por explosivo, com maior importância às vibrações do terreno.

Um desmonte mal planejado pode gerar vibrações excessivas, levando a protestos por parte de vizinhos. Quando esses conflitos não são resolvidos entre a própria mineração e o reclamante, podem entrar em âmbito judicial e terminar por multas, ou em casos extremos o encerramento das atividades do empreendimento.

O objetivo de toda mineração, como um empreendimento sustentável, deve ser produzir insumos, com o menor impacto ambiental a um custo acessível.

1.2 Objetivo

Este trabalho propõe estabelecer equações de carga-distância na pedreira Holcim, localizada na cidade de Mairiporã, através de medições de sismografia buscando prever o comportamento da velocidade de vibração de partícula gerado nos desmontes de rocha relacionando a distância e a carga máxima por espera, assim podendo ser determinado o valor ótimo dos parâmetros do desmonte, sem que a mineração corra o risco de entrar em conflito com a comunidade vizinha.

1.3 Justificativa

O controle e a minimização dos efeitos gerados pelo desmonte por explosivo é uma prática importante que deve acompanhar o planejamento e os parâmetros para o plano de fogo, principalmente em áreas urbanas.

Em junho de 2011 houve uma reclamação, alegando aumento de vibrações durante os desmontes. Por ser uma das residências mais próximas as frentes operacionais da cava foi decidido então fazer o estudo mais apurado do comportamento de vibrações do terreno na direção da residência a fim de evitar novos conflitos e fornecer ferramentas para um planejamento de lavra mais refinado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Instrumentos

2.1.1 Sismógrafos.

Para o monitoramento, foram utilizados oito sismógrafos de engenharia.

Sete deles foram disponibilizados pelo LACASEMIN (Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração) sendo cinco deles da marca GEOSONICS modelo 3000-EZ Plus, com os números de série SN8894, SN8895, SN8897, SN8896 e SN8893 e dois deles da marca GEOSONICS modelo 3000C com os números de série SN3702, SN3706.

Todos esses sismógrafos foram programados para atuar com os seguintes parâmetros:

- Tempo de gravação do evento 15.0 segundos;
- Limite inferior de sensibilidade de 0.51 mm/s;
- Limite inferior do microfone desativado;
- Acionamento manual iniciado entre 5 e 30 minutos antes da detonação;
- Foram acoplados apenas os geofones nos sismógrafos;

Um dos sismógrafos foi disponibilizado pela empresa de desmonte, da marca INSTANTEL modelo MiniMate Plus de número de série BE7029.

Os parâmetros utilizados no monitoramento foram:

- Tempo de gravação do evento 2.0 segundos;
- Limite inferior de sensibilidade de 0.492mm/s;
- Limite inferior do microfone de 116 dB;
- Acionamento manual iniciado 5 minutos antes da detonação;
- Foram acoplados tanto o geofone como o microfone no sismógrafo.

2.1.2 Outros instrumentos

Foram utilizados também um aparelho de GPS da marca Garmin, modelo 100 SRVY II e uma câmera fotográfica digital Sony modelo W530.

2.2 Metodologia:

O método, discutido e orientado pelo prof. dr. Wilson Siguemasa Iramina e Michiel Wichers Schrage, pesquisador do LACASEMIN, foi o de monitoramento simultâneo de vibração do terreno durante o desmonte de rocha por explosivo, partindo de medições realizadas com pontos alinhados na direção do desmonte, e que são suficientes para gerar de forma razoável uma equação do tipo carga-distância para uma dada direção (IRAMINA, 2002).

As etapas que compõe esse método são:

- Escolha da bancada a ser desmontada.

- Determinação da direção dos monitoramentos.
- Seleção dos pontos a serem monitorados.
- Plotagem dos pontos.
- Medição da distância entre os pontos e a origem.
- Instalação e acionamento dos sismógrafos.
- Monitoramento do desmonte.
- Obtenção da equação carga-distância para a direção selecionada.

2.3 Metodologia para o trabalho em campo.

A montagem dos sismógrafos foi efetuada em duas etapas.

A primeira, realizada horas antes do desmonte, consistindo em posicionar os geofones em quatro pontos internos à propriedade da pedreira.

Nos pontos posicionados em bancadas, foi necessária a utilização de gesso para formar uma base para fixação e nivelamento do geofone (fig. 1). Nesses pontos foram usados os sismógrafos modelo 3000C da GEOSONICS.

Os outros dois pontos foram posicionados em uma estrada de terra, não sendo necessário o uso de gesso para sua fixação e nivelamento. Nesses pontos foram usados sismógrafos modelo 3000-EZ Plus da GEOSONICS.



Figura 1 - Posicionamento do geofone sobre a rocha

Por questões de segurança e de normas da empresa, não foi permitido a presença de uma pessoa junto ao sismógrafo nos pontos internos da pedreira, e o acionamento manual foi feito 30 minutos antes do desmonte.

A segunda etapa foi realizada em pontos externos a propriedade da pedreira, com montagem e acionamento manual minutos antes do desmonte.

Os quatro pontos estavam locados em estradas de terra, e não necessitaram do uso de gesso para fixação e nivelamento. Nesses pontos foram usados três sismógrafos modelo 3000-EZ Plus da GEOSONICS e um modelo MiniMate Plus da INSTANTEL.

Os geofones instalados na terra foram preferencialmente montados próximos a muros, árvores ou postes, para aumentar a confiabilidade na medida.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Definições

A ABNT (Agência Brasileira de Normas Técnicas) define na norma ABNT 9653 de 2005 os seguintes termos:

Pressão acústica: Aquela provocada por uma onda de choque aérea com componentes na faixa audível (20 Hz a 20 000 Hz) e não audível, com duração menor do que 1 s.

Desmonte de rocha com uso de explosivos: Operação de arrancamento, fragmentação, deslocamento e lançamento de rocha mediante aplicação de cargas explosivas.

Área de operação: Área compreendida pela união da área de licenciamento ambiental mais a área de propriedade da empresa de mineração.

Ultralancamento: Arremesso de fragmentos de rocha decorrente do desmonte com uso de explosivos, além da área de operação.

Pico da componente de velocidade de vibração de partícula: Máximo valor de qualquer uma das três componentes ortogonais de velocidade de vibração de partícula medida durante um dado intervalo de tempo.

Nota – Enquanto que uma perturbação ocasionada por uma fonte de vibrações se propaga a partir desta com uma dada velocidade de onda, as partículas do terreno oscilam com uma velocidade de partícula variável. Em qualquer ponto ao longo do percurso, o movimento pode ser definido em termos de três componentes mutuamente perpendiculares (geralmente vertical, transversal e longitudinal ou radial). Para garantir que a velocidade de vibração de partícula de pico seja medida corretamente as três componentes devem ser medidas simultaneamente.

Velocidade de vibração de partícula de pico: Máximo valor instantâneo da velocidade de uma partícula em um ponto durante um determinado intervalo de tempo, considerado como sendo o maior valor dentre os valores de pico das componentes de velocidade de vibração de partícula para o mesmo intervalo de tempo.

Velocidade de vibração de partícula resultante de pico (VR): Máximo valor obtido pela soma vetorial das três componentes ortogonais simultâneas de velocidade de vibração de partícula, considerado ao longo de um determinado intervalo de tempo.

$$VR = [(VL)^2 + (VT)^2 + (VV)^2]^{1/2}$$

Equação 1 - Velocidade Resultante de Vibração (BACCI, LANDIM, ÉSTON, IRAMINA, 2003)

Onde:

- VR = velocidade resultante de vibração da partícula, em mm/s
- VL = velocidade de vibração na direção longitudinal, em mm/s
- VT = velocidade de vibração na direção transversal, em mm/s
- VV = velocidade de vibração na direção vertical, em mm/s

Frequência de vibração de partícula: Número de oscilações por segundo em que o terreno vibra conforme energia sísmica criada pela detonação de explosivos que passa por um

ponto determinado, obtido a partir da análise do registro de velocidade de vibração de partícula, dada em hertz (1 Hz é igual a uma oscilação por segundo).

Deslocamento de partícula de pico: Máxima distância na qual a partícula se desloca quando colocada em movimento por uma onda sísmica criada pela detonação de explosivos, segundo as direções das três componente ortogonais.

Distância escalonada (DE) ou distância reduzida: Calculada através da seguinte equação e usada para estimar a vibração do terreno:

$$DE = D/Q^{0,5}$$

Equação 2 - Distância Escalonada

Onde:

- D é a distância horizontal entre o ponto de medição e o ponto mais próximo da detonação, em metros;
- Q é a carga máxima de explosivos a ser detonado por espera, em quilogramas.

3.2 Conceitos do bem mineral

Agregados para Construção Civil são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para uso em obras de engenharia civil, tais como, a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escórias de aciaria, produtos industriais, entre outros. Os agregados são abundantes no Brasil e no mundo. (LA SERNA e REZENDE, 2009)

Os agregados podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são os que se encontram de forma particulada na natureza (areia, cascalho ou pedregulho) e os artificiais são aqueles produzidos por algum processo industrial, como as pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno e argilas expandidas, entre outros.

A mineração de agregados para a construção civil gera grandes volumes de produção, apresenta beneficiamento simples e, para melhor economicidade, necessita ser produzido no entorno do local de consumo, geralmente áreas urbanas, devido ao baixo valor unitário. Este setor é o segmento da indústria mineral que comporta o maior número de empresas e trabalhadores e o único a existir em todos os estados brasileiros.

3.2.1 Caracterização / ocorrências

Os agregados para a construção civil são obtidos de materiais rochosos variados, consolidados ou granulares, fragmentados naturalmente ou por processo industrial. Podem ser oriundos de rochas sedimentares, metamórficas ou ígneas como o granito, Sienitos, basaltos e diabásios. (LA SERNA e REZENDE, 2009)

A dispersão geográfica é uma das características naturais dos minerais usados no emprego imediato na construção civil. Todavia, para que eles sejam economicamente viáveis, fatores como a legislação mais ou menos restritiva, a inviabilização de reservas e jazidas pelas cidades e por usos do solo impeditivos à mineração, o uso e posse de tecnologia de pesquisa e lavra, o sistema de transportes e a demanda por minerais para agregados são fundamentais.

RAFAEL FARONI GONZAGA CASTRO - EQUAÇÃO DE CARGA-DISTÂNCIA E SEU USO COMO FERRAMENTA PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES NO DESMONTE DE ROCHA POR EXPLOSIVOS

Em todas as regiões brasileiras há mineração de areias, cascalhos e rochas para brita. Entretanto, em vastas áreas da Região Norte as rochas próprias para britagem são escassas, devido principalmente ao extenso manto sedimentar que encobre as reservas possíveis de serem aproveitadas economicamente. Para a produção de agregados graúdos naquela região são explorados os raros maciços cristalinos no Amapá, Roraima e Amazonas, lateritos e cascalhos no Maranhão. As rochas basálticas são utilizadas nas localidades assentadas sobre a Bacia do Paraná. Granitos, gnaisses e calcários são usados para brita principalmente nas regiões litorâneas, mas também em áreas do interior de Goiás, São Paulo, e Estados do Nordeste.

3.2.2 Granito

O granito é uma rocha ígnea ácida de grão fino, médio ou grosseiro, composta essencialmente por quartzo e feldspatos, tendo como minerais acessórios micas, hornblenda, zircão e outros minerais. Podem apresentar coloração avermelhada, cinza, amarela e rosada, entre outras. Tem resistência mecânica relativamente alta e pequena alterabilidade, são, portanto muito adequados para uso como pedra britada. (LA SERNA e REZENDE, 2009)

A composição mineralógica dos granitos é definida por associações muito variadas de quartzo, feldspato potássico, micas (biotite e/ou moscovite), anfíbolas (sobretudo hornblenda), piroxenas (augite e hiperstena) e olivina. Alguns desses constituintes podem estar ausentes em determinadas associações mineralógicas, anotando-se diversos outros minerais acessórios em proporções bem mais reduzidas. Quartzo, feldspatos, micas e anfíbolas são os minerais dominantes nas rochas graníticas e afins.

Macroscopicamente, o quartzo é reconhecido como mineral incolor, geralmente translúcido, muito comum nos granitos. Os feldspatos (microclina, ortoclase e plagioclases), são os principais condicionantes do padrão cromático das rochas silicáticas, conferindo as colorações avermelhada, rosada e creme-acinzentada a estas rochas. A cor negra variavelmente impregnada na matriz das rochas silicatadas, é conferida pelos minerais máficos (silicatos ferro-magnesianos), sobretudo anfíbolas (hornblenda) e micas (biotita), chamados vulgarmente de "carvão".

Nos granitos mais leucocráticos (claros), portanto com menor quantidade de minerais ferro-magnesianos, o quartzo e o feldspato compõem normalmente entre 85% e 95% da rocha.

A textura das rochas silicatadas é determinada pela granulometria e hábito dos cristais, sendo a estrutura definida pela distribuição desses cristais. Composição, textura e estrutura representam assim parâmetros de grande importância para caracterização de granitos.

3.3 Detonação e propagação de ondas sísmicas em um maciço rochoso

Quando é detonada uma carga explosiva no interior de um maciço rochoso, sua energia potencial é liberada em um intervalo de tempo muito curto (SANCHEZ, 1995). O mecanismo de detonação é tal que se cria uma elevada pressão na zona de reação química. Esta pressão instantânea pode alcançar até 30.000 bars. Os explosivos comuns na exploração mineira produzem pressões da ordem de 2000 a 6000 bars, ou seja, de 2 a 6×10^8 Pa.

Da mesma forma, a potência de uma detonação de explosivo é altíssima. Os valores típicos são da ordem de 16 Gigawatts.

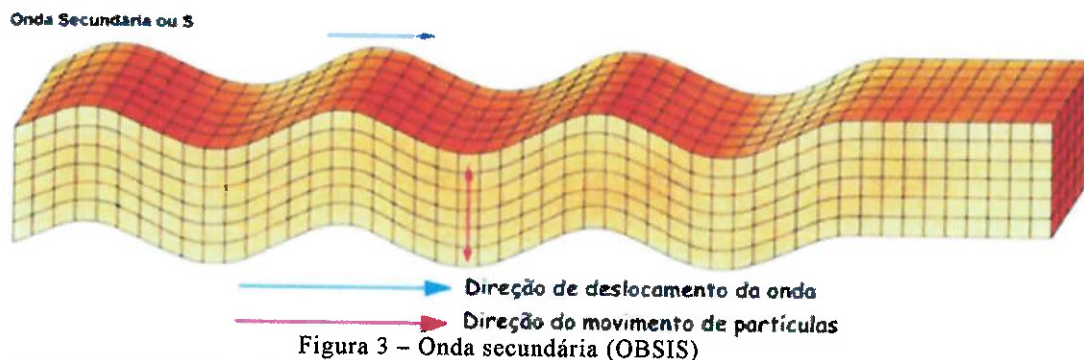
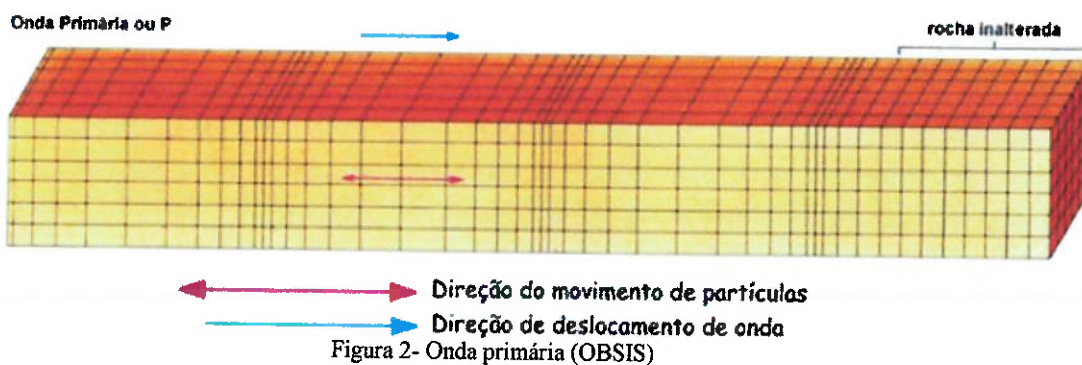
Esta pressão provoca uma onda de choque que se utiliza no trabalho de fragmentação da rocha e da formação, sobre a frente de desmonte, em uma pilha de fragmentos de forma adequada a seu carregamento. Outra parte dessa energia é liberada no ambiente, propagando-se através do maciço rochoso, do lençol freático e do ar.

A onda de choque é uma onda sísmica que pode ser de tipos diferentes. Os quatro mais comuns são:

- i. Ondas longitudinais (ou ondas de compressão, ou primárias ou P).
- ii. Ondas transversais (ou ondas de cisalhamento, ou secundárias, ou S).
- iii. Ondas de Rayleigh (ou ondas R)
- iv. Ondas de Love (ou ondas Q)

As frentes de onda têm formas diferentes. As ondas P (fig. 2) se propagam por trações e compressões sucessivas do meio e, ao alcançar uma superfície livre, ou mudar de meio de propagação (por exemplo, passar de um estrato geológico para outro) a um ângulo diferente de 90° , estão sujeitas a fenômenos de reflexão e refração que dão origem as ondas S (fig. 3), aonde a vibração é perpendicular à direção de propagação. As ondas P e S se propagam em todas as direções e são chamadas de ondas de volume.

É comum descrever o movimento do terreno provocado pela passagem de uma onda sísmica como a trajetória de uma partícula imaginária, solidária com o meio atravessado. Deste modo, nas ondas longitudinais a partícula se move em torno de um ponto de repouso para frente e para trás na direção de propagação da onda, ou seja, longitudinalmente. Com relação às ondas transversais, o movimento da partícula se dá em um plano perpendicular ao da propagação da frente de onda.



Na interface entre ar e superfície do terreno as ondas de volume dão lugar as ondas chamadas de superfície, que se propagam nesse limite. As ondas de superfície se caracterizam por frequências mais baixas que as de volume. As ondas R (fig. 4) são as ondas de superfície mais comuns e transportam a maior parte da energia propagada na superfície (Tritsch, 1983) e por isso apresentam maior potencial de risco às estruturas.

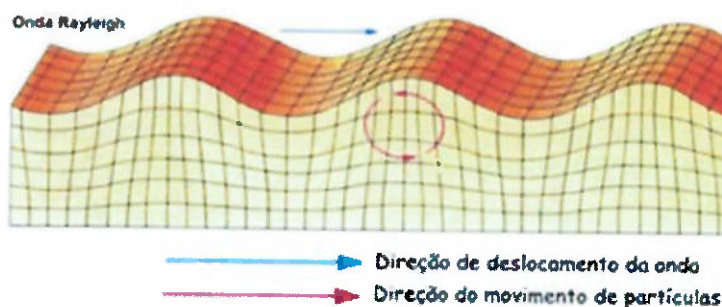


Figura 4- Onda de Rayleigh (OBSIS)

Nas ondas R as partículas desenvolvem um movimento elíptico retrógrado principalmente nas direções verticais e longitudinais, enquanto que nas ondas Q (fig. 5) as partículas se movem predominantemente na horizontal em uma direção transversal a aquela de propagação da frente de onda.

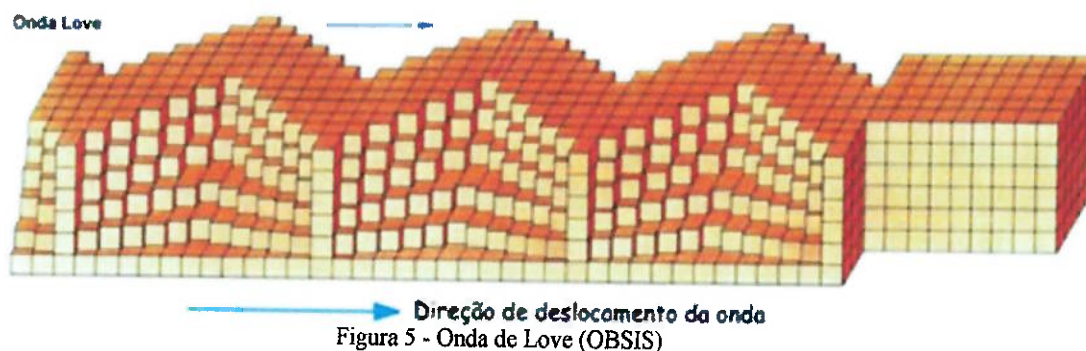


Figura 5 - Onda de Love (OBSIS)

Cada tipo de onda se propaga com uma velocidade característica do meio que atravessa. A onda P é sempre a mais rápida, seguida da onda S e das ondas de superfície.

A onda de choque é amortecida conforme se afasta de sua origem. Além da dispersão de energia no espaço tridimensional, o caráter não completamente elástico das rochas, e a presença de água nos vazios são também responsáveis pelo amortecimento. A amplitude, a velocidade a frequência e a aceleração do movimento oscilatório diminuem conforme aumenta a distância.

No registro de um desmorte não interessa os diferentes tipos de ondas gerados, mas sim os efeitos totais das vibrações geradas.

3.4 Normas de controle ambiental

No estado de São Paulo existem duas normas em vigor, que estabelecem valores limites para parâmetros ligados ao desmonte de rocha por meio de explosivos.

3.4.1 Norma ABNT NBR 9653

A norma brasileira ABNT NBR 9653 “Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas” de outubro de 2005 fixa a metodologia para reduzir os riscos inerentes ao desmonte de rocha com uso de explosivos em minerações, estabelecendo parâmetros a um grau compatível com a tecnologia disponível, para a segurança das populações vizinhas, referindo-se a danos estruturais e procedimentos recomendados quanto ao conforto ambiental. A norma se aplica a emissões de ruídos impulsivos, vibrações pelo terreno e ultralancamentos, sendo compulsória apenas para áreas urbanas.

A norma substitui a antiga publicação de 1986, sendo que a nova associa a frequência à velocidade de vibração de partícula de pico.

3.4.1.1 Critérios de avaliação e limites recomendáveis de segurança

Ultralancamento: O ultralancamento não deve ocorrer além da área de operação do empreendimento, respeitadas as normas internas de segurança referentes à operação de desmonte.

Pressão acústica: 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.

Velocidade de vibração de partícula de pico: Os riscos de ocorrência de danos induzidos por vibrações do terreno devem ser avaliados levando-se em consideração a magnitude 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 e graficamente na tabela e na figura abaixo.

Tabela 1- Limites velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência (ABNT, 2005)

Faixa de Frequência	Limite de velocidade de vibração de partícula de pico
4 Hz a 15 Hz	Iniciando em 15 mm/s, aumenta linearmente até 20mm/s
15 Hz a 40 Hz	Acima de 20 mm/s, aumenta linearmente até 50 mm/s
Acima de 40 Hz	50 mm/s
NOTA	Para valores de frequência abaixo de 4 Hz, deve ser utilizado como limite o critério de deslocamento de partícula de pico de no máximo 0,6 mm (de zera a pico).

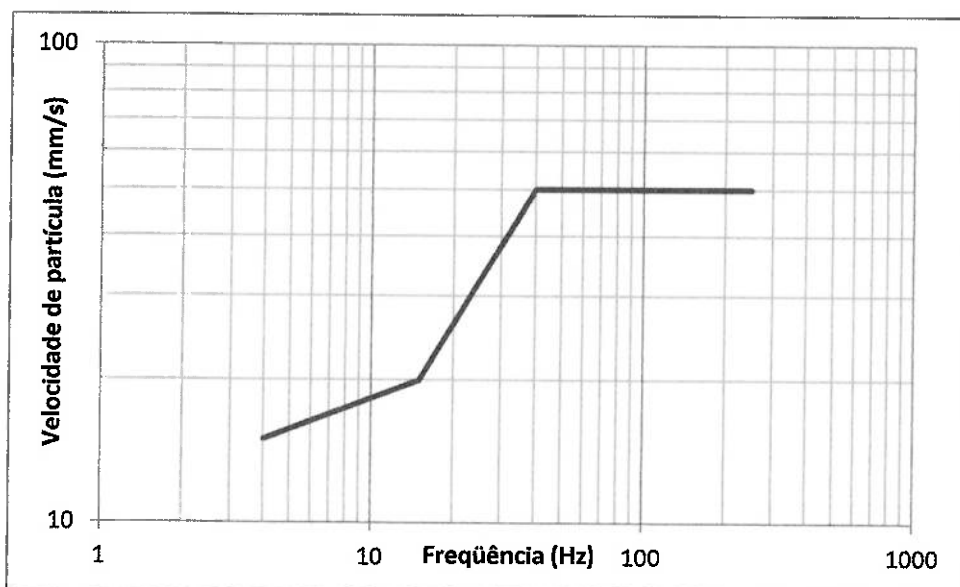


Figura 6- Representação gráfica dos limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência (ABNT, 2005)

3.4.2 Norma CETESB D7.013

A CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) define através da norma D7.013 “Mineração por explosivos” de abril de 1992 fixa as condições exigíveis para a atividade de mineração por explosivos, com relação à poluição e conservação do meio ambiente, e é válida somente para o estado de São Paulo. (fonte: IRAMINA, 2002)

3.4.2.1 Critérios de avaliação e limites recomendáveis de segurança

Velocidade de vibração de partícula de pico: De acordo com a norma, o valor limite de velocidade de vibração de partícula é de 3,0 mm/s medido na componente vertical, ou de 4,2 mm/s no caso de instrumentos cujos resultados sejam a integração das três componentes.

A norma não especifica nenhuma relação entre a velocidade de partícula e a frequência, sendo assim incompleta quando comparada a norma da ABNT.

4 DADOS DO LOCAL ESCOLHIDO PARA AS MEDIÇÕES

4.1 Localização.

A pedreira Holcim (antiga Cantareira) está localizada no município de Mairiporã, a norte da cidade de São Paulo, entre os municípios de Mairiporã e Franco da Rocha, km 67 da Rodovia Fernão dias, nas coordenadas 23°19'59.92"S e 46°34'48.74"O.

A pedreira atende a região metropolitana de São Paulo. Sua produção de aproximadamente 100.000 toneladas por mês de minério é consumida por vários segmentos da construção civil como concreteiras, fábricas de cimento, construtoras, prefeituras e distribuidores de material de construção.

4.2 Caracterização da rocha

O maciço possui cerca de 37 km² de aflorantes, comprimento total de 14,6 km com largura máxima de 3,5 km sob concessão de quatro pedreiras, entre elas a Holcim. (fonte: DA SILVA, 1995)

4.2.1 Geologia Regional.

No Estado de São Paulo foram identificados muitos domínios tectônicos e estratigráficos que se estendem desde o Arqueano ao Holoceno. A maior parte do embasamento da plataforma é constituída por rochas graníticas e granitóides diversas. Estas possuem tipologias e características tectônicas variadas e encontram-se associadas aos diferentes compartimentos do Pré-Cambriano de São Paulo. (fonte: DA SILVA, 1995)

Os dados petrográficos, estruturais, químicos e geocronológicos, entre outros, permitem o desmembramento em duas suítes de caráter sintectônico e postectônico, em que se conhecem tipos faciográficos distintos.

Dentro deste contexto geológico, temos a unidade objeto deste estudo, a fácies Cantareira, que faz parte das Suítes Graníticas Sintectônicas e constituem a maior parte do magmatismo granitóide do embasamento paulista.

A fácies Cantareira é a de maior representatividade no Pré-Cambriano paulista, tanto quanto ao número de corpos como quanto à expressão em área. Espalha-se por todos os blocos tectônicos formando grandes batólitos e stocks, destacando-se os maciços Três Córregos, Agudos Grandes e Natividade. São afetados pelas grandes falhas transcorrentes, aparecendo em núcleos de geanticlínios e anticlinórios gerados na segunda fase de dobramentos do Ciclo Brasileiro.

De origem mesozonal a catazonal, os corpos graníticos da fácies Cantareira apresentam caráter alóctone e para alóctone, com feições de contato tanto transicionais quando parcialmente discordantes, desenvolvendo inclusive algumas auréolas de contato quanto intrudidos em metamorfitos de baixo grau. Esta ação periférica vem acompanhada, em geral, de processos pneumatolíticos e injeções de veios pegmatíticos e aplíticos nas encaixantes, como nas regiões de Perus e Mairiporã.

São observados também, tipos bastante diversificados textural, composicional e mineralogicamente. O tipo granito-gnaissico é o mais comum, com a foliação concordante ao trend regional. Possui uma granulação fina a média, composição granítica a granodiorítica e ocorrência conspícua de megacristais de feldspato potássico, advindo de uma metassomatose tardia, conferindo à rocha caráter porfiróide.

4.2.2 Petrologia.

Em linhas gerais, predomina o granito do tipo porfiróide, com grandes cristais de microclínio róseos ou brancos, imersos em matriz constituída de quartzo, feldspato e biotita. Predomina a existência de granodioritos, com variações para monzogranitos e raios monzodioritos.

A análise petrográfica (DANTAS, 1990) indica relativa homogeneidade ao longo do maciço, possibilitando descrição genérica.

O quartzo forma, em média, 25% a 30% em volume da matriz. As feições de deformação são comuns, incluindo fraturamento, lamelas de deformação, texturas mortar e moderada recristalização.

Plagioclásios ocorrem em cristais, alcançando até 1 cm. Perfazem, em média, 30% da rocha total, diminuindo em tipos mais ricos em megacristais de microclínio. As inclusões em plagioclásios são raras.

Os principais processos de alteração são saussuritização, sericitização e carbonatação, pouco pronunciados no maciço. Os minerais de alteração encontrados são a sericita, muscovita, epidoto, clorita, carbonatos e zeólitas, em quantidades traço, denotando reduzida incidência de processos de alteração pós-magmática.

Microclínio ocorre na matriz ou como megacristais. Há uma tendência ao enriquecimento de megacristais no sentido borda-centro. A coloração predominante é creme esbranquiçado, com variações em cinza e rosa.

Os megacristais de K-feldspato apresentam feições de deformação como fraturamento e recristalização.

As biotitas compõem aproximadamente 15% dos litotipos, havendo traços de titaníferas, de tonalidade acastanhada. Apresentam-se em microplaquetas isoorientadas ou em filetes circundando os minerais maiores, estando com frequência, deformadas em lamelas encurvadas.

5 EQUAÇÃO CARGA DISTÂNCIA

Um dos efeitos no desmante de rocha por explosivo é a formação de ondas sísmicas, fundamentais para a quebra e fragmentação da rocha. Essas vibrações se propagam nas direções transversal, vertical e longitudinal ortogonais entre si, cada qual com sua velocidade característica.

É possível estabelecer uma velocidade resultante como soma vetorial das três componentes. Em um monitoramento sismográfico, um dos parâmetros mais importantes é a velocidade de pico da partícula (VPP) que é o máximo valor que essa resultante encontra durante o desmante e é a velocidade que as normas tanto da ABNT quanto da CETESB estabelecem limites.

A velocidade de partícula é a medida da velocidade de partícula do terreno durante a passagem da onda de vibração.

Em um desmante, quando se aumenta a carga por espera, ou diminui a distância para a bancada detonada, é fácil notar um aumento nas vibrações. Existe realmente uma relação entre velocidade resultante da partícula com a carga e a distância, e podemos dizer que a velocidade é proporcional a carga e inversamente proporcional à distância.

A equação carga-distância consiste nessa relação entre a velocidade de partícula de pico (PPV) e a distância escalonada (DE).

O USBM (United States Bureau of Mines) define a equação como sendo:

$$Vp = k \left(\frac{D}{Q^{0,5}} \right)^{-b}$$

Equação 3- Equação carga-distância

Onde:

- Vp = velocidade de partícula de pico (mm/s)
- D = Distância da detonação ao ponto de medição
- Q = Carga máxima por espera
- k = fator do local
- b = fator do local

E k e b são constantes determinadas empiricamente, de acordo com as medições feitas em cada local de desmante em particular.

A equação acima plota uma reta com eixos x e y em escala logarítmica, e o valor da constante k, é dado pela interceptação com o eixo vertical, na distância escalonada igual a uma unidade, e a constante b é dada pela inclinação da reta.

A equação tem fundamental importância com relação a definir uma previsão do comportamento de vibração para uma certa direção, necessitando apenas de grandezas conhecidas em um desmante por explosivo, que é a distância entre o desmante e a área afetada e a carga máxima por espera.

Experimentalmente, um possível método para se determinar a equação de carga-distância para uma direção é realizar um desmonte com explosivos e realizar diversas medições de sismografia simultâneas, posicionados sob uma linha reta que liga o desmonte e o ponto onde deseja prever o comportamento de vibrações.

Utilizando os valores da distância escalonada e das velocidades das medições, é possível através de uma regressão encontrar a equação no formato da equação 3.

6 VALORES OBTIDOS DOS MONITORAMENTOS SISMOGRÁFICOS

6.1 Dados históricos

A Holcim tem como política realizar o monitoramento dos desmontes, não apenas para atender aos órgãos ambientais como também para ter um histórico em caso de eventuais reclamações. Existem duas frentes de desmonte na pedreira, sendo uma delas na face Oeste e outra na face Sul da cava.

Foi levantado um histórico de 17 medições, realizadas pela empresa de desmonte, do ano de 2010, sendo que todos os fogos foram realizados na mesma face Sul da pedreira e as medições foram feitas em frente ao escritório, descrevendo uma linha entre desmonte e ponto de sismografia em direção ao norte, como mostrado na figura abaixo.

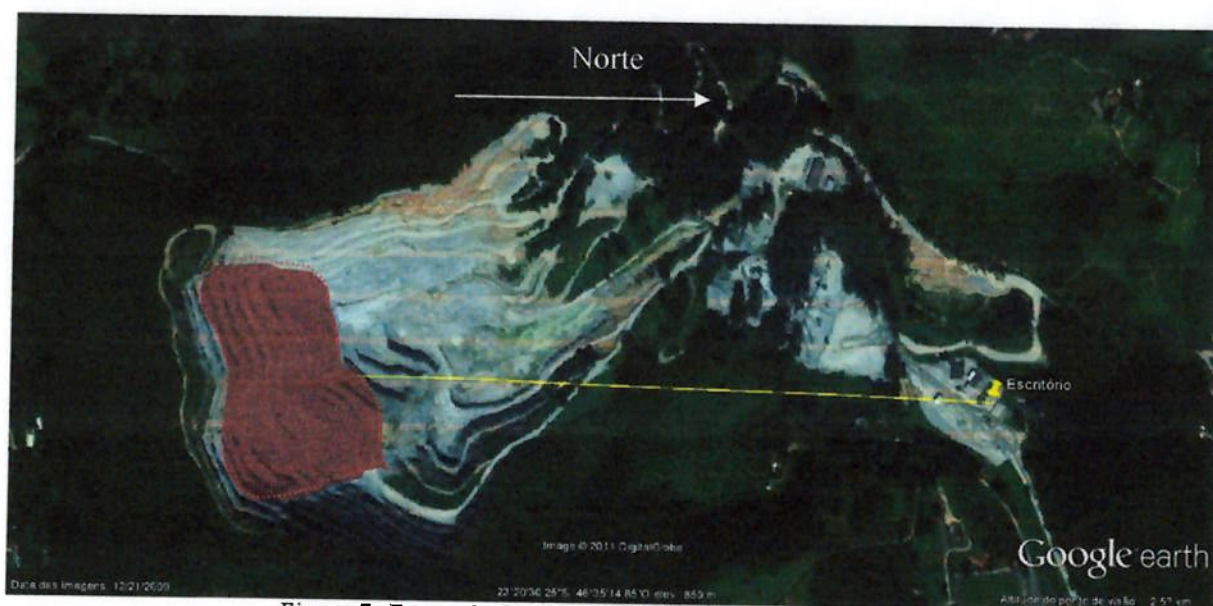


Figura 7- Frente de desmonte sul e ponto de monitoramento

Todos os desmontes tabelados obedeceram ao plano de fogo com os seguintes parâmetros:

- Altura da bancada variando entre 10 – 12 metros;
- Inclinação dos furos de 5° a 15°;
- Malha triangular;
- Afastamento de 2,5 metros;
- Espaçamento de 3,0 metros;
- Diâmetro dos furos de 3" (76mm);
- Cota das bancadas variando de 980 até 940 metros;
- Explosivo usado foi emulsão bombeada;
- A iniciação foi feita com tubo de choque;
- Booster de 250g;
- Retardos de 17, 25 e 42 ms.
- Subfuração de 0,60 metros;
- Tamponamento de 1,5 a 2,5 metros;

A tabela abaixo mostra o histórico desses 17 fogos, com a distância da bancada até o ponto de medição e a carga máxima por espera.

Tabela 2- Histórico de sismografia de 2010 (detonações na face Sul)

Data	Distância (m)	Carga máxima por espera (kg)	VPP (mm/s)	DE
28/dez	1116	64	0,381	139,5
23/nov	1147	72	0,413	135,2
09/nov	1094	48	0,286	157,9
03/nov	1080	79	0,270	121,5
22/ago	783	77	0,746	89,2
20/ago	885	48	0,318	127,7
10/ago	940	70	0,318	112,4
06/ago	950	65	0,460	117,8
27/jul	908	58	0,381	119,2
20/jul	903	59	0,365	117,6
09/jul	942	59	0,286	122,6
06/jul	930	53	0,587	127,7
25/jun	860	65	0,683	106,7
08/jun	934	54	0,349	127,1
25/mai	825	62	0,349	104,8
21/mai	860	56	0,413	114,9
14/mai	907	55	0,270	122,3

6.2 Monitoramento com oito pontos de medição

Durante o mês de Junho de 2011, houve reclamação de uma residência vizinha a mineração, alegando um aumento nas vibrações. O problema foi prontamente resolvido com uma modificação na amarração do fogo, e foi decidido então que seria determinada uma equação carga-distância na direção da casa, com objetivo de se ter um maior controle sobre as vibrações, refinar o plano de fogo e evitar reincidência de reclamações.

A residência fica a Sul da mineração a aproximadamente 500 metros das frentes de desmonte da face Sul da cava.

O monitoramento foi planejado, estabelecendo uma linha entre a casa e a bancada a ser desmontada (fig.8) na direção do Sul. Foram cedidos sete sismógrafos do LACASEMIN e instalados sob essa linha em todas as vias com acesso, a uma distância máxima de 1.000 metros do desmonte, além de um monitoramento realizado na residência do reclamante, feita pela empresa responsável pelo desmonte.

A montagem e o monitoramento foram realizados no dia 08/11/2011 e contou com o apoio de Giselle Martinez e Pedro Margutti pesquisadores do LACASEMIN.



Figura 8- Pontos de posicionamento dos sismógrafos

Os pontos de medição foram numerados de 01 a 08 conforme aumentava a distância à frente de desmorte. Suas nomenclaturas e coordenadas estão indicadas na tabela abaixo

Tabela 3- Coordenadas e nomenclatura dos pontos de monitoramento

PONTO	LOCAL	TIPO DE PISO	COORDENADAS	
	Desmorte		23°20'42,56"S	46°35'06,72"O
P01	Cota 960	Rocha	23°20'46,60"S	46°35'06,98"O
P02	Cota 980	Rocha	23°20'47,27"S	46°35'07,47"O
P03	Bota Fora Inferior	Terra	23°20'49,20"S	46°35'07,24"O
P04	Bota Fora Superior	Terra	23°20'49,63"S	46°35'07,82"O
P05	Casa da Reclamação	Terra	23°20'57,39"S	46°35'06,87"O
P06	Rampa	Terra	23°21'02,62"S	46°35'11,19"O
P07	Caseiro	Terra	23°21'06,39"S	46°35'09,68"O
P08	Bifurcação	Terra	23°21'14,90"S	46°35'10,23"O

O desmorte ocorreu às 12h30min e foi realizado de acordo com o relatório de carregamento (Anexo 01) e com os seguintes parâmetros do plano de fogo:

- Altura da bancada 11 metros;
- Inclinação dos furos 15°;
- Malha triangular;
- Afastamento de 2,5 metros;
- Espaçamento de 3,0 metros;
- Diâmetro dos furos de 3" (76mm);
- Cota da bancada 930 metros;
- Explosivo usado foi emulsão bombeada;
- A iniciação foi feita com tubo de choque;
- Booster de 250g;
- Retardos de 17, 25 e 42 ms.
- Subfuração de 0,60 metros

- Tamponamento de 1,5 metros;

Os valores do monitoramento dos sete sismógrafos do LACASEMIN (anexos 2 - 8) e do sismógrafo da empresa responsável pelo desmonte (tabela 4) foram compilados na tabela 5 abaixo.

Tabela 4- Resultados do sismógrafo BE7092

	Tran	Vert	Long	
PPV	1,14	1,4	0,699	mm/s
ZC Freq	28	51	47	Hz
Time (Rel. to Trig)	0,427	0,319	0,305	sec
Peak Acceleration	0,0331	0,053	0,0331	g
Peak Displacement	0,00701	0,00536	0,00834	mm/s
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7,7	8	7,7	Hz
Overswing Ratio	3,5	3,6	3,8	
Peak Vector Sum	1,45 mm/s at 0,364 sec			

Tabela 5- Resultados dos monitoramentos do dia 08/11/2011

PONTO	Nº DE SÉRIE DO SISMÓGRAFO	DISTÂNCIA (m)	CARGA MÁXIMA POR ESPERA (kg)	DE $\left(\frac{m}{\sqrt{kg}}\right)$	VPP (mm/s)
P01	3702	131,67	57	17,44	27,11
P02	3706	148,42	57	19,66	16,45
P03	8894	209,53	57	27,75	6,29
P04	8895	230,43	57	30,52	3,81
P05	BE7029	452,64	57	59,95	1,45
P06	8897	633,17	57	83,87	1,27
P07	8896	805,12	57	106,64	0,89
P08	8893	1002,28	57	132,76	0,70

7 RESULTADOS

Para ambas as séries de dados, foram levantadas as equações carga-distância que correlacionam a velocidade de vibração de partícula com a distância escalonada.

Cada uma das séries forneceu uma equação particular para uma direção, sendo a dos monitoramentos do ano de 2010 no sentido Norte, e a dos monitoramentos simultâneos no sentido Sul.

7.1 Determinação das equações carga-distância

7.1.1 Equação carga-distância direção Norte

Para a direção Norte foram usados os 17 dados do ano de 2010, que resultaram no gráfico apresentado pela figura abaixo.

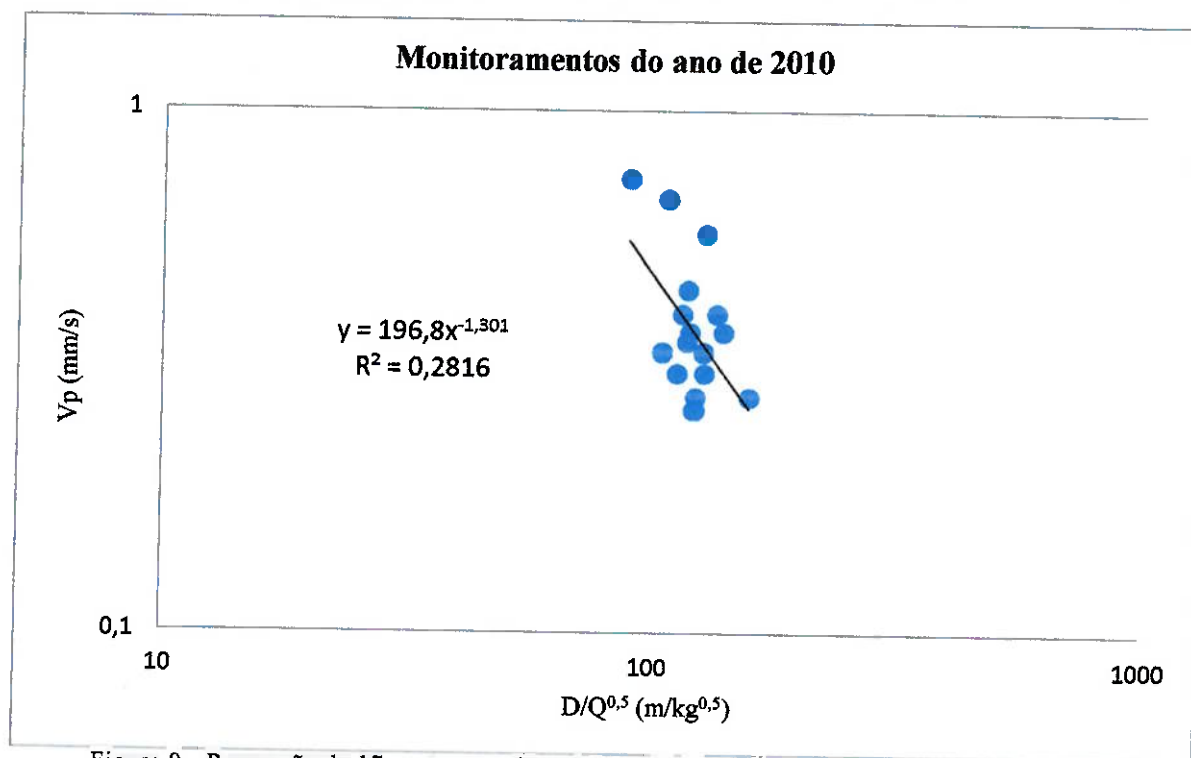


Figura 9 - Regressão de 17 pontos monitorados em 2010 na direção Norte da pedreira Holcim

A equação carga distância resultante desta regressão é dada por:

$$V_p = 196,8 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,301}$$

Onde:

- V_p = Velocidade de vibração de partícula resultante em mm/s
- D = Distância ao ponto de detonação em m
- Q = Carga máxima por espera em kg

A correlação da equação de regressão com os dados foi de 53,1%

7.1.2 Equação carga-distância direção Sul

Para a direção sul foram usados os valores obtidos no monitoramento simultâneo com oito sismógrafos que resultaram no gráfico apresentado pela figura abaixo.

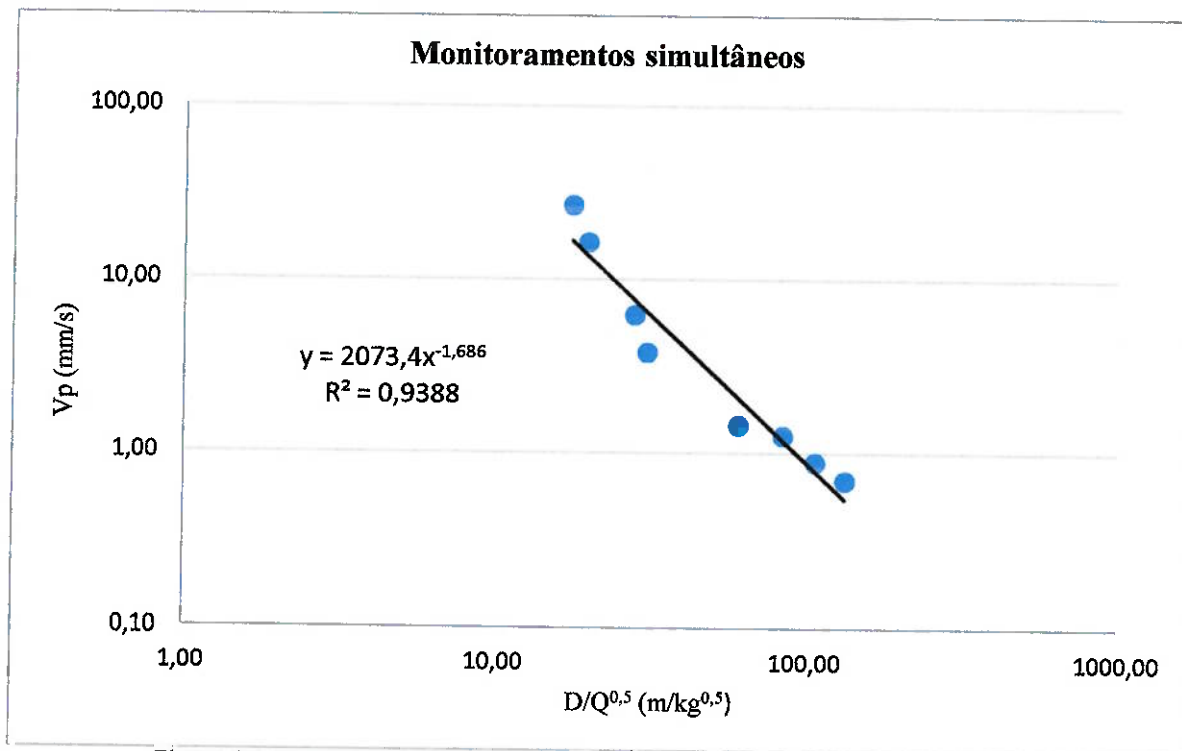


Figura 10- Regressão de 8 pontos monitorados na direção Sul da pedreira Holcim

A equação carga distância resultante desta regressão é dada por:

$$V_p = 2073,4 \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,686}$$

Onde:

- V_p = Velocidade de vibração de partícula resultante em mm/s
- D = Distância ao ponto de detonação em m
- Q = Carga máxima por espera em kg

A correlação da equação de regressão com os dados foi de 96,9%

7.2 Análise dos resultados obtidos.

Conforme esperado, ambas as equações apresentaram um comportamento onde a velocidade de vibração de partícula é proporcional a carga máxima por espera e inversamente proporcional a distancia do ponto de detonação.

A equação que descreve a velocidade no sentido do Norte, apresenta uma correlação baixa, devido às medidas terem sido feitas por um longo período de tempo, variando muito a posição e as cotas das bancadas. A distância entre as bancadas e o ponto de monitoramento

não variaram o suficiente (entre 780 e 1150 metros) e as cargas máximas por espera foram praticamente as mesmas no período, fazendo uma concentração muito grande de pontos para uma mesma distância escalonada gerando uma regressão menos confiável.

No caso da equação que descreve a velocidade na direção do Sul, a correlação foi melhor.

O fato de o monitoramento ter sido feito com oito pontos, alinhados e espaçados a uma boa variedade de distâncias (de 130 até 1000 metros) permitiu uma maior dispersão dos dados no eixo distância escalonada o que resultou em uma regressão com melhor correlação.

Ambas as equações permitem prever o comportamento das velocidades de vibração de partículas de acordo com a razão de carregamento e a distância e vice-versa.

7.3 Usos da equação de carga distância para a mineração HOLCIM.

Foram analisadas duas possíveis situações em que a equação carga-distância pode ser útil a mineração Holcim.

A maior concentração de vizinhos está na região sul da mineração, onde as casas mais próximas distam a 500 metros das bancadas em operação.

Partindo deste valor, e da norma da CETESB com valor limite de 4,2 mm/s para velocidade de vibração resultante, é possível determinar:

1. A distância mínima em que desmontes com carga máxima de espera de 65 kg (usual na unidade) ficarão dentro do limite da norma.
2. A carga máxima por espera que a pedreira pode utilizar sem que ultrapasse os limites de vibração nas residências vizinhas.

Utilizando a equação carga-distância, na direção do Sul temos que:

Tabela 6- Distâncias mínimas para atender a norma da CETESB

Vp (mm/s)	D (m)	Q (kg)
4,2	319,14	65
4,2	354,06	80
4,2	385,83	95
4,2	415,17	110
4,2	442,57	125
4,2	468,37	140
4,2	492,83	155
4,2	516,12	170

A partir de aproximadamente 320 metros da bancada desmontada na direção do Sul, as velocidades de vibração de particulada estão abaixo da norma (1) e é possível aumentar a carga máxima por espera para até 155 kg sem que as velocidades ultrapassem os limites da norma (2).

8 CONCLUSÕES

É possível equacionar o comportamento da velocidade de vibração de partículas para uma direção através da equação de carga-distância, com uso tanto de uma série de dados de monitoramentos sismográficos de diferentes desmontes, como também com uma medição única com múltiplos sismógrafos de um desmorte.

Para o caso de regressão através de dados levantados de medições por apenas um sismógrafo a cada desmorte a equação carga-distância tem uma correlação mais baixa. No caso de regressão feita com dados de um monitoramento alinhado de um desmorte, dispondo de cinco a oito sismógrafos, a equação carga-distância é mais precisa.

A precisão e a correlação desta equação aumentam na medida em que se tem uma maior variação das distâncias escalonadas e na maior quantidade de medições para uma mesma direção.

O ideal seria o monitoramento de um único desmorte com maior numero de pontos possíveis (acima de 100 sismógrafos) em diversas direções, para se obter as equações carga-distância correspondentes, permitindo gerar um mapa de iso-velocidades com o comportamento da velocidade de vibração de partícula.

Uma opção viável é realizar diversos monitoramentos de cinco a oito pontos alinhados de desmontes diferentes, variando as direções de posicionamento dos sismógrafos em cada monitoramento, o que permitiria a elaboração de um mapa de iso-velocidades, com menor precisão.

As minerações que tem rotina de monitoramento de seus desmontes realizam-nos com apenas um sismógrafo. Um bom planejamento para esses monitoramentos, fazendo variar a distância entre os pontos e o desmorte, desde que, estes respeitem uma direção desejada e as bancadas desmontadas estejam próximas, permite a melhora dos dados obtidos e conseqüentemente a equação.

Como ferramenta para mineração a equação carga-distância é de grande valia, já que permite ao empreendimento mineiro prever a velocidade de vibração de partícula decorrente do desmorte de rocha por explosivo em uma direção, assim podendo determinar as áreas mais críticas e que possivelmente possam gerar conflitos com a comunidade. Permite também extrapolar variações de carga, distância e velocidades de vibração de partícula e estudar a melhor situação operacional.

Recomendo à mineração Holcim, unidade de Mairiporã, que realize monitoramento de desmontes para pelo menos outras sete direções (N, L, O, NE, SE, NO, SO) com múltiplos sismógrafos, de modo a mapear o comportamento das vibrações no seu entorno, e com isso ter uma ferramenta útil para o planejamento de lavra e de compra de novas áreas .

9 REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 9653 “Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas”**. 11p. 2005
- BACCI, D.L.C. LANDIM, P.M.B. ESTON, S.M. IRAMINA, W.S. Principais normas e recomendações existentes para o controle de vibrações provocadas pelo uso de explosivos em áreas urbanas – Parte I. **REM R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 56(1), p. 51-57, jan. mar. 2003
- BACCI, D.L.C. LANDIM, P.M.B. ESTON, S.M. IRAMINA, W.S. Principais normas e recomendações existentes para o controle de vibrações provocadas pelo uso de explosivos em áreas urbanas – Parte II. **REM R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 56(2), p. 131 - 137, abr. jun. 2003
- BACCI, D.L.C. **Vibrações geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rochas: avaliação dos parâmetros físicos do terreno e dos efeitos ambientais**. Volume II. Rio Claro, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP, 2000.
- DA SILVA, Rosangela Lima. **Otimização do desmonte de rocha da Predreiras Cantareira, unidade Mairiporã**. Monografia para formatura. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 22p. 1995
- DANTAS, A. S. L. **Geologia da faixa São Roque e intrusivas associadas na região entre São Paulo e Mairiporã, norte de São Paulo - SP**. São Paulo, 1990
- INSTITUTO DE GEOCIÊNCIA DA UNB. Brasília. **Ondas sísmicas**. Disponível em <http://www.obsis.unb.br/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=66&lang=pt>. Acesso em 13 de Nov. 2011.
- IRAMINA, Wilson Siguemasa. **O mapa de iso - velocidades como ferramenta de controle ambiental**. Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 233p. 2002
- LA SERNA, H.A. REZENDE, M.M. **Agregados para a construção civil**. p. 602 – 635, 2009. Disponível em <www.dnpm.gov.br>. Acesso em 13 de Nov. de 2011.
- NETO, C.D. FERREIRA, G.C. DOURADO, J.C. Utilização de sismógrafos de engenharia como ferramenta no controle de qualidade de acessórios de detonação não elétricos. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 61(2): 185 - 192, abr. jun. 2008
- SÁNCHEZ, Luis Enrique. Control de Vibraciones. **Aspectos Geológicos de Protección Ambiental**, volume 1, p. 282 – 293, UNESCO, 1995
- RAFAEL FARONI GONZAGA CASTRO - EQUAÇÃO DE CARGA-DISTÂNCIA E SEU USO COMO FERRAMENTA PARA CONTROLE DE VIBRAÇÕES NO DESMONTE DE ROCHA POR EXPLOSIVOS

ANEXOS

ANEXO 1 – Relatório de carregamento do dia 08/11/2011

ANEXO 2 – Análise sismográfica do ponto 01

ANEXO 3 – Análise sismográfica do ponto 02

ANEXO 4 – Análise sismográfica do ponto 03

ANEXO 5 – Análise sismográfica do ponto 04


ANEXO 6 – Análise sismográfica do ponto 06

ANEXO 7 – Análise sismográfica do ponto 07

ANEXO 8 – Análise sismográfica do ponto 08

ANEXO 1 – Relatório de carregamento do dia 08/11/2011

ORICA MINING SERVICES										Relatório de Carregamento										N.º 05944	
Data: 08.11.2011 Início: 07:50 Banco: 730										Página 01 de 01											
Cliente: HOLLAND										Altura (m): 10.40										Densidade (g/cm³): 40	
Local: M. 3. 2. 4. 5										Diâmetro (pol.): 3										Temperatura (°C): 40	
Unidade Móvel: 0.10										Inclinação (°): 15										Solução m/min: 0.90	
Rocha: 0.574 m³										Subfuração (m): 0.60										Hora início: 08:00	
Vol. de rocha "in situ": 0.574 m³										Malha (m): 2.5 x 3.0										00:00	
Quant. Furos: 33										Quant. Linhas: 02.00										00:10	
Operador: R. 0. 0. 0										Equipe: 0. 0. 0										00:15	
Observações										Observações										00:30	
Observações										Observações										01:00	
A1	11.0	52	44	1.5						A11	11.0	52	44	1.5							
A2	11.0	52	44	1.5						B11	11.0	52	44	1.5							
A3	11.0	52	44	1.5						A12	11.0	52	44	1.5							
A4	11.0	52	44	1.5																	
A5	11.0	52	44	1.5																	
A6	11.0	52	44	1.5																	
A7	11.0	52	44	1.5																	
A8	11.0	52	44	1.5																	
A9	11.0	52	44	1.5																	
A10	11.0	52	44	1.5																	
A11	11.0	52	44	1.5																	
A12	11.0	52	44	1.5																	
B1	11.0	52	44	1.5																	
B2	11.0	52	44	1.5																	
B3	11.0	52	44	1.5																	
B4	11.0	52	44	1.5																	
B5	11.0	52	44	1.5																	
B6	11.0	52	44	1.5																	
B7	11.0	52	44	1.5																	
B8	11.0	52	44	1.5																	
B9	11.0	52	44	1.5																	
B10	11.0	52	44	1.5																	
B11	11.0	52	44	1.5																	
B12	11.0	52	44	1.5																	
C1	11.0	52	44	1.5																	
C2	11.0	52	44	1.5																	
C3	11.0	52	44	1.5																	
C4	11.0	52	44	1.5																	
C5	11.0	52	44	1.5																	
C6	11.0	52	44	1.5																	
C7	11.0	52	44	1.5																	
C8	11.0	52	44	1.5																	
C9	11.0	52	44	1.5																	
C10	11.0	52	44	1.5																	
C11	11.0	52	44	1.5																	
C12	11.0	52	44	1.5																	

Total Contador (kg): 1.635	Total Balança (kg): 1.600	Fim Carregamento: 09:30	Horário de Detonação: 11:00
Responsabilidade (informar nomes das pessoas)		Acessórios/Ligação	
Análise do relatório de Boretrak: 2.0.0		<input checked="" type="radio"/> Não Elétrico <input type="radio"/> Elétrico <input type="radio"/> Eletrônico RETARDO (ms): 1.2.0	
Revisão da ligação: 2.0.0		Acessórios/Furo	
Detonação: 2.0.0			
Quant. Exp. Bombeado 1.600 kg	Observações:		
Quant. Exp. Convencional 50 kg			
Razão de carga 6.41 g/m³	Nota: um croqui com a disposição dos furos deve ser anexado a esse relatório		
VISTO DO CLIENTE: _____		VISTO ORICA: _____	

1ª VIA - ARQUIVO ORICA 2ª VIA - CLIENTE

ANEXO 2 – Análise sismográfica do ponto 01

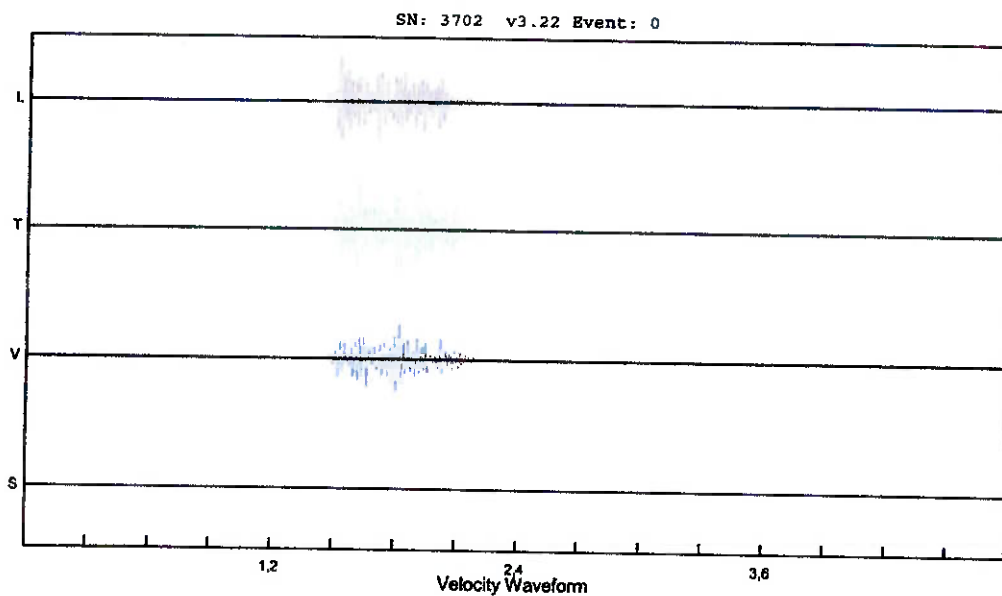
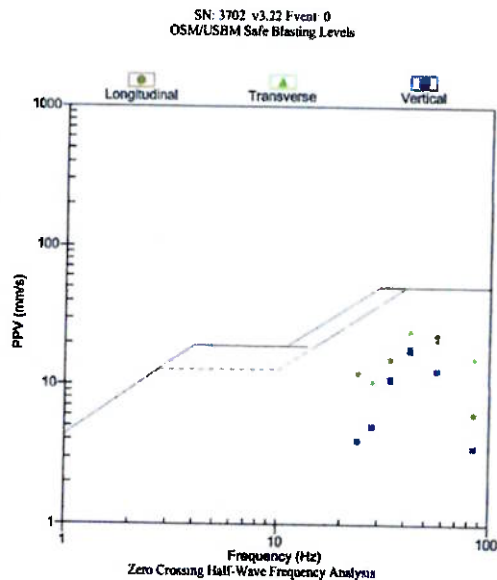
SN: 3702 Firmware: v3.22
 Date: 07/12/2011 Time: 12:27:04
 Event: 0 Record Time: 15.0 s
 Client:
 Operation:
 Location: P06
 Distance: 0.
 Operator:
 Comment:
 Trigger Level: 0.51 mm/s
 Velocity Waveform Graph Scale:
 Time = 0.300 s
 Seismic = +/- 1.28 mm/s
 Sound = +/- 0.0023 psi

Summary Data

	L	T	V
PPV (mm/s)	23.05	24.77	17.78
PD (.01ms)	7.39	8.13	6.95
FPA (g)	0.788	0.716	0.573
FREQ (Hz)	55.6	41.7	41.7
Resultant PPV:	27.11 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	78 db		
	0.0 psi		

Additional Info:

Shaketable Calibrated: 05/06/2011
 By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrendale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



Printed: novembro 10, 2011 File: event000.ev3 (GeoSonics Inc. Analysis v6.3.37)

ANEXO 3 – Análise sismográfica do ponto 02

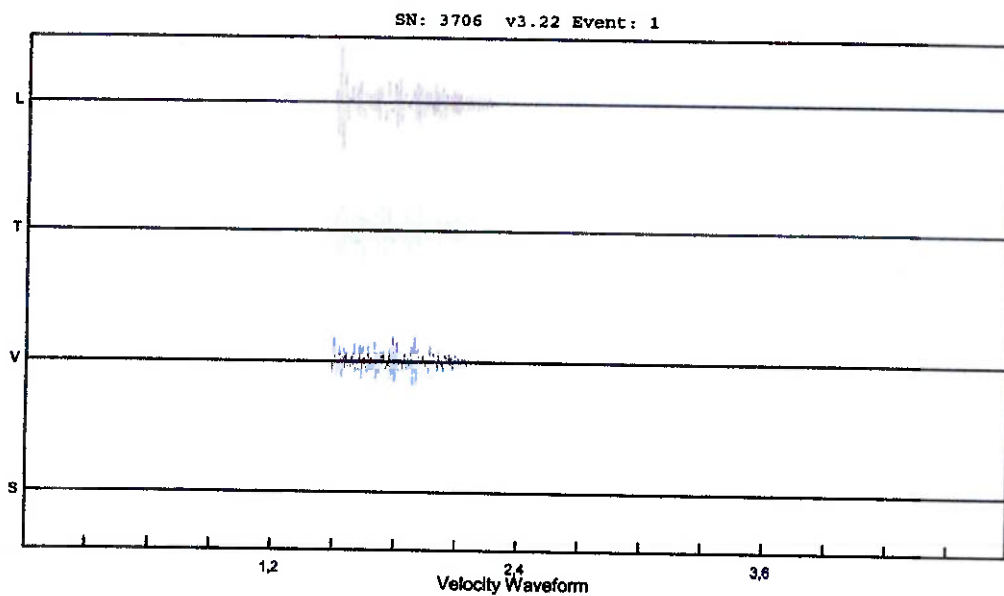
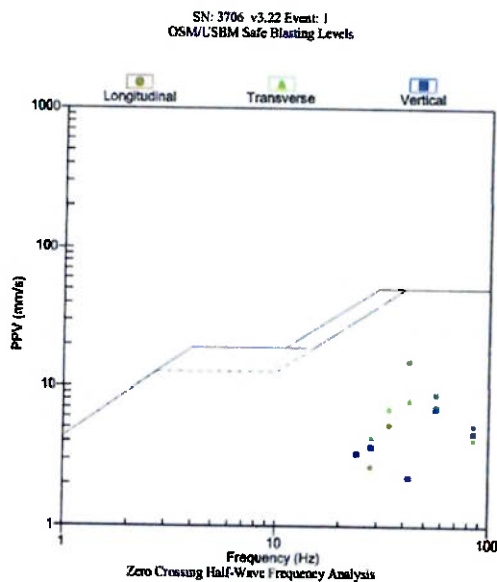
SN: 3706 **Firmware:** v3.22
Date: 11/08/2011 **Time:** 12:27:13
Event: 1 **Record Time:** 15,0 s
Client:
Operation:
Location: P08
Distance: 0,
Operator:
Comment:
Trigger Level: 0,51 mm/s
Velocity Waveform Graph Scale:
Time = 0,300 s
Seismic = +/- 0,64 mm/s
Sound = +/- 0,0023 psi

Summary Data

	L	T	V
PPV (mm/s)	15,11	7,94	6,99
PD (.01mm)	5,17	3,79	2,3
FPA (g)	0,410	0,228	0,260
FREQ (Hz)	41,7	41,7	55,6
Resultant PPV:	16,45 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	78 db		
	0,0 psi		

Additional Info:

Shaketable Calibrated: 05/10/2011
By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrendale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



Printed: novembro 11, 2011 File: even1001.ev3 (GeoSonics Inc. Analysis v6.3.37)

ANEXO 4 – Análise sismográfica do ponto 03

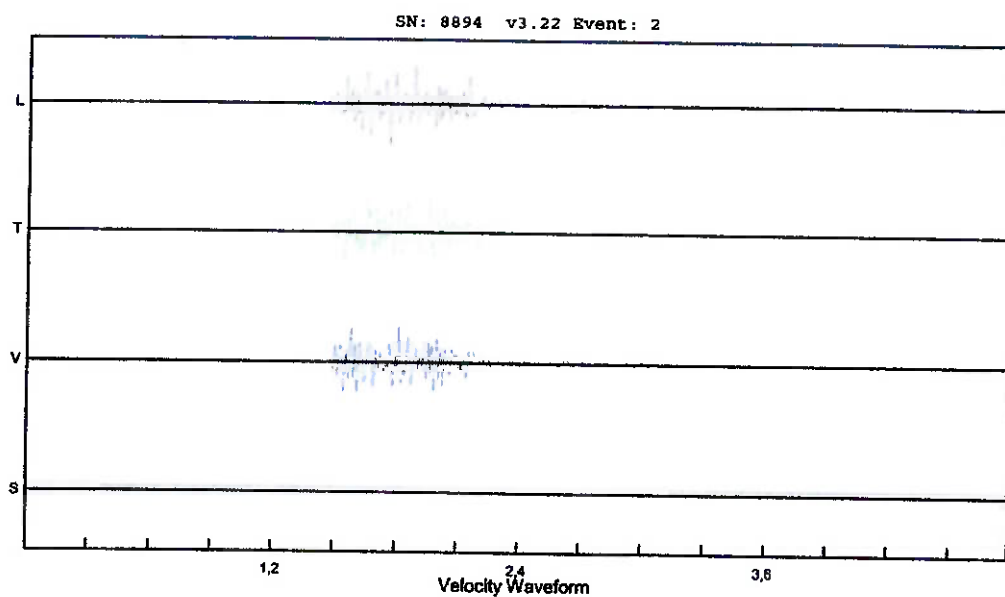
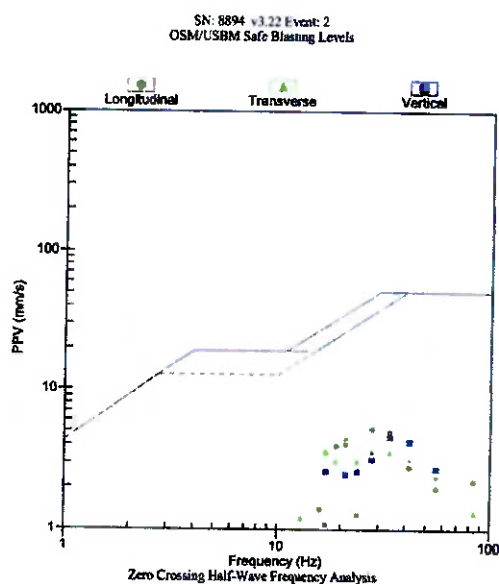
SN: 8894 **Firmware:** v3.22
Date: 11/08/2011 **Time:** 11:34:43
Event: 2 **Record Time:** 15,0 s
Client: MARIPORA
Operation: DESMORTE DE ROCHAS
Location: P02
Distance: 0
Operator: LACASMIN/SPUSP
Comment:
Trigger Level: 0,51 mm/s
Velocity Waveform Graph Scale:
Time = 0,300 s
Seismic = +/- 0,32 mm/s
Sound = +/- 0,0023 psi

Summary Data

	L	T	V
PPV (mm/s)	5,21	4,51	4,57
PD (.01mm)	3,2	3,01	2,57
PPA (g)	0,104	0,098	0,104
PEEQ (Hz)	27,8	20,8	33,3
Resultant PPV:	6,29 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	90 db		
	0,0 psi		

Additional Info:

Shaketable Calibrated: 05/02/2011
By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrendale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



Printed: novembro 11, 2011 File: even1002.ev3 (GeoSonics Inc. Analysis v4.3.37)

ANEXO 5 – Análise sismográfica do ponto 04

SN: 8895 **Firmware:** v3.22
Date: 11/08/2011 **Time:** 11:32:07
Event: 6 **Record Time:** 15.0 s
Client: MARIPORA
Operation: DESMONTA DE ROCHAS
Location: P03
Distance: 0
Operator: LACASMIN/EPUSP
Comment:
Trigger Level: 0.51 mm/s

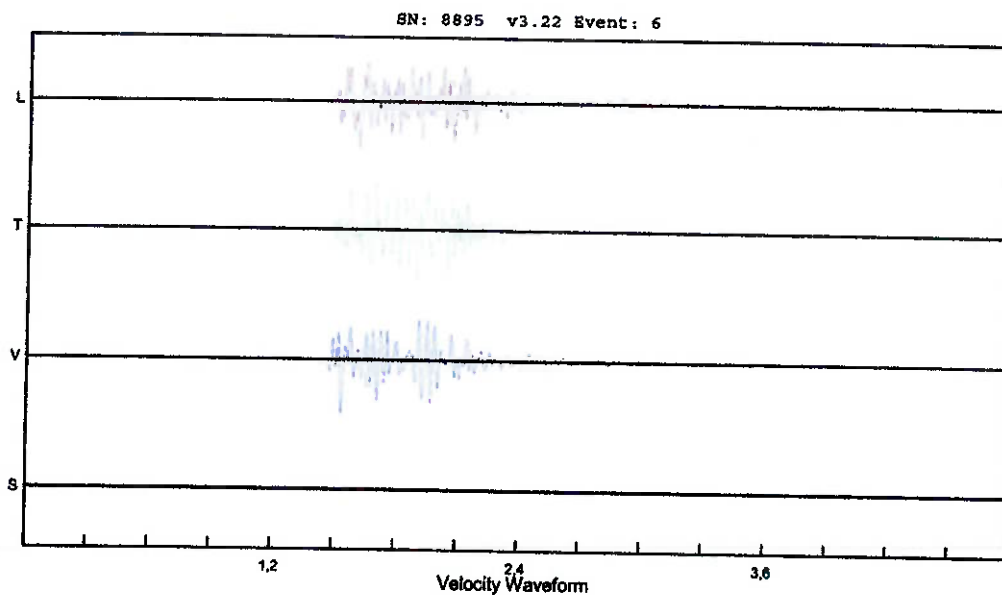
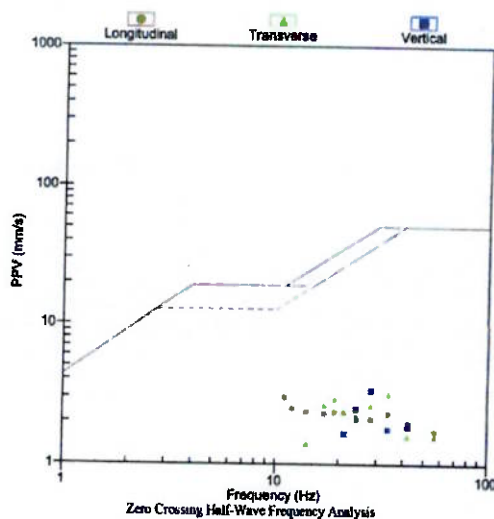
SN: 8895 v3.22 Event: 6
 OSM/USBM Safe Blasting Levels

Velocity Waveform Graph Scale:
Time = 0.300 s
Seismic = +/- 0.16 mm/s
Sound = +/- 0.0023 psi

Summary Data			
	L	T	V
PPV (mm/s)	2.98	3.18	3.37
PD (.01mm)	3.24	2.08	2.01
FPA (g)	0.059	0.059	0.052
FRQ (Hz)	10.6	33.3	27.8
Resonant PPV:		3.81 (mm/s)	
Peak Air Pressure:		81 dB	
		0.0 psi	

Additional Info:

Shaketable Calibrated: 05/02/2011
By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrendale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



Printed: novembro 11, 2011 File: evan1006.ev3 (GeoSonics Inc. Analysis v6.3.37)

ANEXO 6 – Análise sismográfica do ponto 06

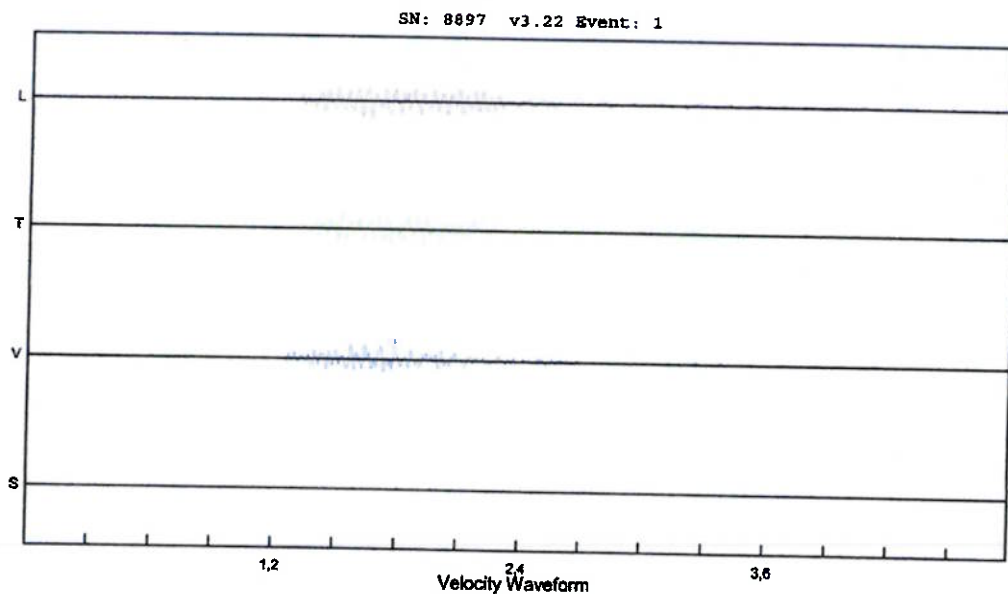
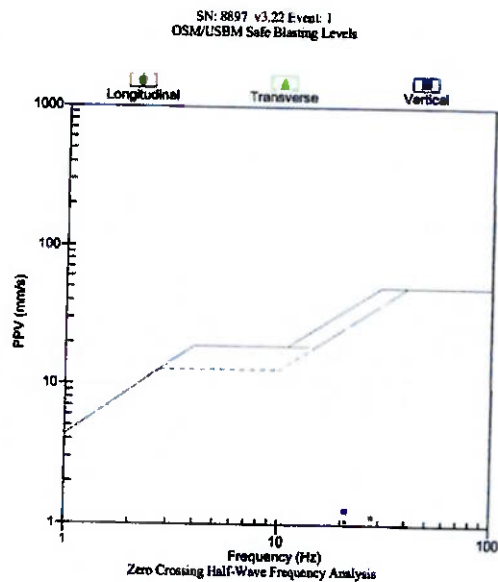
SN: 8897 **Firmware:** v3.22
Date: 11/08/2011 **Time:** 11:38:37
Event: 1 **Record Time:** 15,0 s
Client: MARIPORA
Operation: DESMONTA DE ROCHAS
Location: P05
Distance: 0,
Operator: LACASEMIN EPUSP
Comment:
Trigger Level: 0,51 mm/s
Velocity Waveform Graph Scale:
Time = 0,300 s
Seismic = +/- 0,16 mm/s
Sound = +/- 0,0023 psi

Summary Data

	L	T	V
PPV (mm/s)	1,14	1,08	1,27
PD (.01mm)	0,87	1,19	0,78
FPA (g)	0,020	0,020	0,020
FREQ (Hz)	27,8	20,8	20,8
Resultant PPV:	1,27 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	79 db		
	0,0 psi		

Additional Info:

Shaketable Calibrated: 05/03/2011
By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrendale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



Printed: novembro 11, 2011 File: evel1001.ev3 (GeoSonics Inc. Analysis v6.3.37)

ANEXO 7 – Análise sismográfica do ponto 07

SN: 8896 Firmware: v3.22
 Date: 11/08/2011 Time: 11:32:06
 Event: 2 Record Time: 15,0 s
 Client: MARIPORA
 Operation: DESMONTE DE ROCHAS
 Location: P04
 Distance: 0,
 Operator: LACASMIN/EPUSP
 Comment:
 Trigger Level: 0,51 mm/s

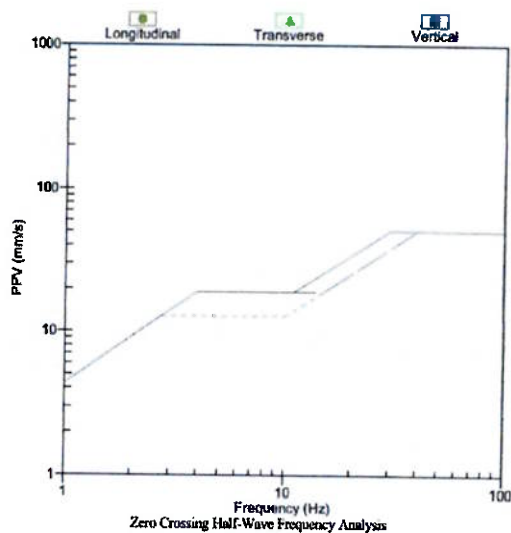
SN: 8896 v3.22 Event: 2
 OSM/USBM Safe Blasting Levels

Velocity Waveform Graph Scale:
 Time = 0,300 s
 Seismic = +/- 0,16 mm/s
 Sound = +/- 0,0023 psi

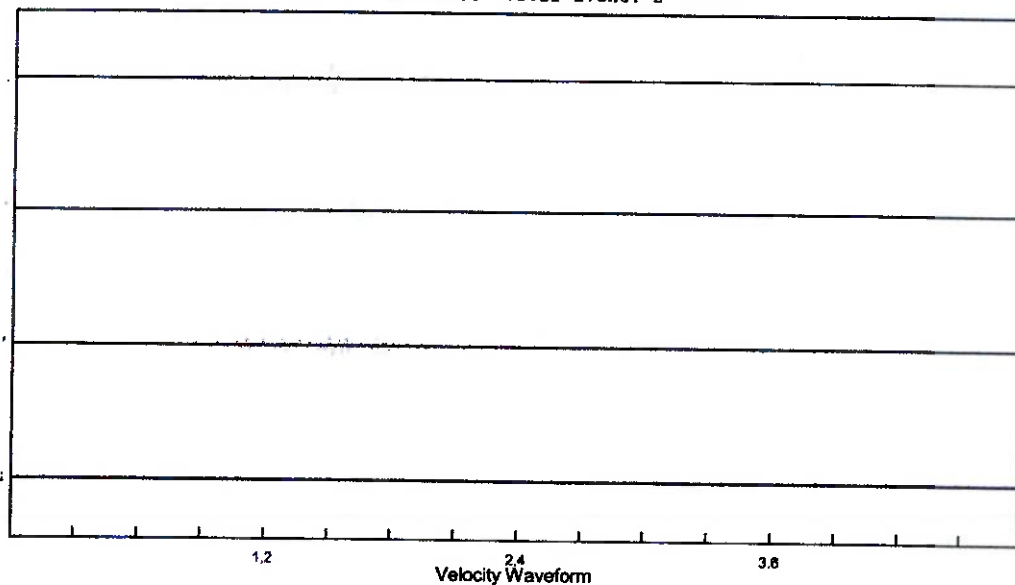
Summary Data			
	L	T	V
PPV (mm/s)	0,89	0,64	0,57
PD (.01mm)	0,86	1,17	0,37
PFA (g)	0,020	0,013	0,013
FRFQ (Hz)	20,8	33,3	27,8
Resultant PPV:	0,89 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	81 db		
	0,0 psi		

Additional Info:

Shaketable Calibrated: 05/03/2011
 By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrendale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2995



SN: 8896 v3.22 Event: 2



Printed: novembro 11, 2011 File: 8005_002.ov3 (GeoSonics Inc. Analysis v6.3.37)

ANEXO 8 – Análise sísmográfica do ponto 08

SN: 8893 Firmware: v3.22
 Date: 11/08/2011 Time: 11:33:18
 Event: 14 Record Time: 15,0 s
 Client: MARIPORA
 Operation: DESMONTA DE ROCHAS
 Location: P01
 Distance: 0,
 Operator: LACASEMIN / EPUSP
 Comment:
 Trigger Level: 0,51 mm/s

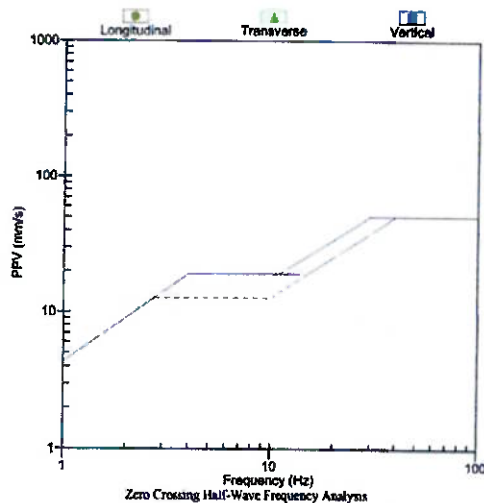
SN: 8893 v3.22 Event: 14
 OSM/USBM Safe Blasting Levels

Velocity Waveform Graph Scale:
 Time = 0,300 s
 Seismic = +/- 0,16 mm/s
 Sound = +/- 0,0023 psi

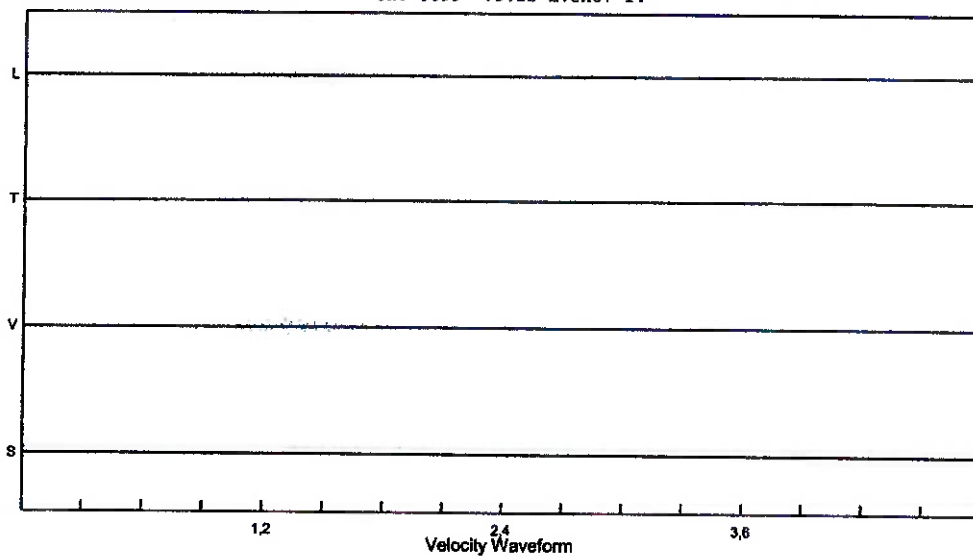
Summary Data			
	L	T	V
PFV (mm/s)	0,57	0,64	0,57
PD (mm)	0,69	1,09	0,7
FPA (g)	0,020	0,020	0,013
FREQ (Hz)	41,7	55,6	41,7
Resultant PFV:	0,70 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	95 db		
	0,0 psi		

Additional Info:

Shakerable Calibrated: 04/30/2011
 By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrendale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



SN: 8893 v3.22 Event: 14



Printed: novembro 11, 2011 File: even1014.ev3 (GeoSonics Inc. Analysis v6.3.37)