

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas,
Metalúrgica e de Materiais- PPGEM

**ESTUDO DA EFETIVIDADE DE BARREIRAS DE
AMORTECIMENTO NO CONTROLE DE VIBRAÇÕES
GERADAS PELO DESMONTE COM EXPLOSIVOS EM MINA
DE CARVÃO À CÉU ABERTO**

LUIS ANTONIO ABADI E SILVA

Dissertação para obtenção do título de Mestre
em Engenharia

Porto Alegre
2005

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas,
Metalúrgica e de Materiais- PPGEM

**ESTUDO DA EFETIVIDADE DE BARREIRAS DE
AMORTECIMENTO NO CONTROLE DE VIBRAÇÕES
GERADAS PELO DESMONTE COM EXPLOSIVOS EM MINA
DE CARVÃO À CÉU ABERTO**

LUIS ANTONIO ABADI E SILVA
Engenheiro de Minas

Dissertação realizada no Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia

Área de concentração: Tecnologia Mineral e Metalurgia Extrativa

Porto Alegre
2005

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração de Metalurgia Extrativa e Tecnologia Mineral e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador:

Prof. Dr. João Felipe Coimbra Leite Costa

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jair Carlos Koppe

Prof. Dr. Paulo Salvadoretti

Dr. Enrique Munaretti

Prof. Dr. Antônio Carlos Cezar Faria Vilela
Coordenador do PPGEM

Não nos atrevemos a muitas coisas porque são difíceis,
mas são difíceis porque não nos atrevemos a fazê-las.

Sêneca

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

aos meus pais e irmãos,
que sempre estiveram ao meu lado, incentivando e
apoiando com todos os recursos que dispunham;

à minha esposa Daniela,
companheira incansável em todos os momentos desta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. João Felipe C. L. Costa
pela orientação em todas as etapas deste trabalho e pelo
apoio, entusiasmo e dedicação dispensados.

Ao Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro,
onde fui acolhido por vários anos, me permitindo
evoluir tecnicamente e como pessoa.

A todos os meus colegas da UFRGS
com quem durante a minha vida acadêmica tive oportunidade de
conviver, trabalhar e aprender.

**A todos os professores, funcionários e coordenadores da
UFRGS, Escola de Engenharia, DEMIN e PPGEM**
pela oportunidade oferecida a mim e a todos os que têm interesse
em pesquisar e desenvolver trabalhos que possam ajudar
na evolução das técnicas de mineração em nosso país.

A Copelmi Mineração S.A.
pela disponibilização dos recursos materiais e logística
necessários para a realização dos testes apresentados neste
trabalho.

SUMÁRIO

Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	xi
Resumo	xii
Abstract	xiii

Capítulo 1

Introdução	1
1.1 Estado-da-arte	3
1.2 Meta	7
1.3 Objetivos específicos.....	8
1.4 Metodologia	8
1.5 Organização dessa dissertação	10

Capítulo 2

Caracterização e controle de vibração gerada por detonação	11
2.1 Processos de detonação e fragmentação	11
2.2 Mecanismos de propagação das ondas no maciço	14
2.3 Equipamentos para monitoramento de vibração	18
2.4 Técnicas de controle da vibração	21
2.4.1 Limitação da carga máxima por retardo	24
2.4.2 Sobreposição de frentes	30
2.4.3 Barreiras de amortecimento	33
2.4.4 Critérios para a utilização de barreiras de amortecimento .	41

Capítulo 3

Descrição da área de estudo	44
3.1 Localização geográfica	44
3.2 Geologia local e regional	45
3.3 Características geomecânicas	47

Capítulo 4

Detalhamento da montagem do experimento, das variáveis envolvidas e dos recursos utilizados	50
4.1 Montagem do experimento	50
4.2 Resultados obtidos	57

Capítulo 5

Análise dos resultados	62
5.1 Coeficiente de redução na soma vetorial das velocidades	62
5.2 Mudança nos fatores da equação de previsão	64
5.3 Monitoramento da utilização de barreiras de amortecimento em escala de produção	68

Capítulo 6

Conclusões	74
6.1 Sumário dos resultados	74
6.3 Recomendações para trabalhos futuros	76

Referências Bibliográficas	78
---	-----------

Anexos	82
---------------------	-----------

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Representação da seqüência de detonação	12
Figura 2.2. Raios das zonas de ruptura (CHIAPETTA et al., 1987)	13
Figura 2.3. Relação entre DS e V usada para ajuste dos fatores de terreno	26
Figura 2.4. Efeito de atenuação (exagerado) de ondas com alta e baixa freqüência encontrando uma descontinuidade, no caso uma lacuna de ar	34
Figura 2.5. Valores de coeficiente de redução para diferentes razões de comprimento de onda e largura da barreira (1- cálculo teórico e 2- dado experimental) (KUSMENKO et al, 1993)	36
Figura 2.6. O fator de amortecimento como uma função da distância para diferentes relações h/λ (PERSSON et al., 1994)	37
Figura 2.7. Efeito de atenuação verificado em testes de pré-construção para situações com face livre e sem face livre prévia (adaptado de Dowding, 2000)	38
Figura 2.8. Mudança na velocidade em diferentes distâncias além da barreira. O gráfico (a) corresponde a velocidade ao longo do eixo Z e (b) ao longo de X (KUSMENKO et al., 1993)	39
Figura 2.9. Fratura criada por <i>presplit</i> e vistas em planta/perfil de área de teste (DEVINE et al., 1965)	40
Figura 3.1. Mapa de localização da Mina do Recreio	45
Figura 3.2. Perfil estratigráfico da área de testes	46
Figura 4.1. Posicionamento dos geofones em relação aos furos de teste e à barreira de amortecimento	52
Figura 4.2. Vista em corte do posicionamento da barreira e dos furos de teste, onde Dt: distância entre a barreira e o talude; Db: distância entre a barreira e os furos de teste; Lb: largura da barreira; Hb: profundidade da barreira e H: profundidade dos furos	53

Figura 4.3. Etapas dos testes e iteração entre barreira e furos de teste (adaptado de CHIAPETTA et al. (1987), onde C_b : comprimento da barreira, C_t : comprimento da linha de furos de teste, D_t : distância entre a barreira e os furos de teste e L_b : largura da barreira	55
Figura 4.4. Gráfico de auste do pacote de lavra EA+A+EB+B	60
Figura 4.5. Gráfico de auste do pacote de lavra EC+C	61
Figura 4.6. Gráfico de auste do pacote de lavra S12+S3+EL+L+EM+M	61
Figura 5.1. Histograma dos coeficientes de redução na soma vetorial das velocidades de pico	64
Figura 5.2. Cargas máximas versus distância, calculadas via equação de previsão para velocidade de pico igual a 8,67 mm/s com e sem barreiras de amortecimento	68
Figura 5.3. Áreas comparadas no pacote EA+A+EB+B	70
Figura 5.4. Áreas comparadas no pacote EC+C	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Características dos métodos para controle de vibração	23
Tabela 3.1. Valores de RMR para as camadas de estéril e carvão presentes na área de estudos (Corrêa, 2000)	47
Tabela 4.1. Distribuição das detonações de teste nos pacotes de lavra	51
Tabela 4.2. Dimensões dos parâmetros construtivos utilizados nos testes	54
Tabela 4.3. Principais características dos explosivos utilizados	55
Tabela 4.4. Valores das cargas máximas, distâncias de monitoramento e distâncias escalonadas dos testes realizados	56
Tabela 4.5. Velocidades de pico com e sem a presença de barreira	57
Tabela 4.5. Continuação da Tabela 4.5	58
Tabela 4.6. Dados utilizados no ajuste das equações de previsão	59
Tabela 4.6. Continuação da Tabela 4.6	60
Tabela 5.1. Coeficientes de redução para os testes com mesma distância escalonada	63
Tabela 5.2. Parâmetros estatísticos e fatores das equações de ajuste	64
Tabela 5.3. Comparativo da redução percentual no fator k frente à largura e profundidade da barreira	66
Tabela 5.4. Comparativo de parâmetros operacionais dos monitoramentos em escala de produção	71
Tabela 5.5. Demonstração do efeito redutor da barreira em termos da variação de distância escalonada e PPV	72

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo da efetividade de barreiras de amortecimento para atenuar a vibração causada pela propagação de ondas sísmicas oriundas de detonações. A barreira consta de uma porção do terreno cujas características de propagação são modificadas artificialmente pela detonação de uma linha de furos com parâmetros idênticos aos dos furos de produção. Os resultados obtidos demonstram a efetividade deste recurso, evidenciado pelo coeficiente de redução entre os valores de vibração gerados em situações com e sem o uso de barreira (0,41) e também através da mudança dos coeficientes da equação de previsão via Distância Escalonada, possibilitando em escala de produção o aumento na carga máxima por tempo de retardo (4,9 % à 118,9%), com redução de custos devido ao menor consumo de retardos por furo (-5,7 % à - 40,7 %).

ABSTRACT

This work shows a study of damping screens effectiveness to attenuate the vibration caused by blast seismic waves. The screen is a portion of the ground which propagation characteristics are artificially changed by one row of blasted holes with the same parameters of the production holes. The achieved results show the effectiveness, evidenced for the reduction coefficients between vibration levels generated in situations with and without screens (-41 %) and also by the change of the scaled distance equation coefficients, allowing in production activity the maximum charge per delay increase (4,9 % à 118,9%), with cost reduction due the lower delay per hole consume (-5,7 % à -40,7 %).

Capítulo 1

Introdução

Apesar dos constantes avanços tecnológicos verificados nos últimos anos na indústria de mineração, focado principalmente no desenvolvimento de equipamentos para mecanização do processo de lavra, o desmonte de rochas com explosivos continua sendo imprescindível na maioria dos empreendimentos. Tal importância é justificada por ser um processo eficiente em termos de aproveitamento de energia, bem como de apresentar um custo, quando comparado à outros métodos, bastante reduzido para a fragmentação e movimentação de maciços rochosos.

Mesmo apresentando estas importantes vantagens dentro da indústria mineral, atualmente o uso de explosivos, bem como outras operações unitárias do setor, vêm sendo questionado sob muitos aspectos. Os maiores questionamentos referem-se a seu impacto externo, onde se destacam fatores políticos, ambientais e sociais, tais como, no caso de explosivos, a possibilidade de sua utilização em atentados terroristas, geração de gases, contaminação de lençol freático, ruído, vibração, deslocamento de ar e ultralancamento. Em face destas implicações, vêm sendo constantemente desenvolvidas e implementadas tecnologias e procedimentos para a solução ou minimização destes problemas, buscando-se harmonizar a obtenção de resultados produtivos com baixa geração de danos ambientais e sociais.

Apesar deste compromisso das empresas de mineração, as pressões advindas da opinião pública e de organizações ambientais levaram as

entidades governamentais à criar ou rever regulamentos específicos sobre o uso de explosivos em atividades de extração mineral, tais como o USBM RI8507 e OSMRE nos Estados Unidos, a DIN 4150 na Alemanha, a BS 6472 na Inglaterra, a UNE 22.381 na Espanha e a NBR 9653 no Brasil.

Tais regulamentos apresentam vários parâmetros que devem ser seguidos pelas empresas, tais como distâncias mínimas, áreas de exclusão para mineração, armazenagem, transporte e limites de emissão para amplitudes de vibração e ruído, obrigando às empresas a refinar os seus métodos de controle.

Um fator que é determinante para a adequação aos padrões legais é a localização da jazida. Ao contrário de muitas indústrias, na mineração a definição da localização das estruturas de uma mina, tais como acessos, corte e planta de beneficiamento, não seguem apenas fatores de mercado, mas principalmente a geologia, resultando muitas vezes em serem estas estruturas estabelecidas em locais muito próximos à ambientes urbanos ou áreas de proteção ambiental. Destes, o que apresenta maiores desafios é a proximidade de núcleos urbanos, uma vez que, ao contrário de áreas de proteção ambiental, cujos limites permanecem inalterados, tendem a se expandir devido ao crescente aumento de população.

Neste contexto, este trabalho tem pôr finalidade investigar e adequar um método de controle de vibrações geradas pelo desmonte com explosivos que possa conjugar redução de níveis sem alteração dos parâmetros de plano de fogo, permitindo desta forma a continuidade da operação em locais onde exista proximidade de estruturas com propensão à sofrerem danos. Este método se baseia no princípio da interposição, entre a área à ser desmontada e as estruturas à serem protegidas, de um meio com características de propagação de ondas sísmicas diferente do meio circundante, construído artificialmente e que permita, baseado no princípio de reflexão e refração, a redução da vibração.

1.1 Estado da arte

Duvall & Fogelson (1961) descrevem os primórdios do estudo das vibrações geradas pelo desmonte de rochas com explosivos, tanto em território norte-americano como em outros países com tradição nesta área, como a Suécia e Canadá. Neste cenário inicial, merece destaque o hoje já extinto Bureau of Mines, órgão do governo dos Estados Unidos da América voltado ao apoio das atividades de mineração do país, pelo pioneirismo no estudo do problema com enfoque técnico e científico modernos.

Comeau (1977) analisa as primeiras equações de propagação de vibração, conceito fundamental para o desenvolvimento de controles para o efeito das vibrações em estruturas civis e mineiras. Duvall et al. (1962) aplicaram conceitos científicos mais rigorosos para a definição desta equação, posteriormente revista no trabalho de Devine et al. (1967). Também deste período, são os estudos sobre os efeitos de vários limites de velocidade de vibração em estruturas, associados com a frequência e o deslocamento de partícula.

Estes trabalhos iniciais, além de apresentarem conceitos básicos, serviram para definir duas áreas distintas no estudo de vibrações, divisão bastante lógica devido à constatação da complexidade do tema. A primeira destas áreas enfoca o mecanismo de geração e propagação das ondas sísmicas através do maciço rochoso, associado à massa e tipo de explosivo e ao meio de propagação, além de aspectos geométricos da malha de furos. O conhecimento desses fatores possibilita a definição de cargas máximas, tempos de retardo entre as cargas e parâmetros para construção de meios artificiais usados no controle da propagação. A segunda linha de investigações enfoca o efeito direto da vibração sobre as estruturas envolvidas e seu principal objetivo é o entendimento do mecanismo de transferência das ondas sísmicas que se propagam do maciço para a estrutura.

Com a evolução das técnicas de caracterização do mecanismo de propagação e de transferência da vibração para as estruturas, surge a indústria de equipamentos de monitoramento de vibrações, baseados em dois sistemas distintos de captação do movimento: acelerômetros e geofones, sendo este último incorporado à construção da maioria dos sismógrafos comerciais. São aparelhos, em sua configuração moderna, constituídos por três geofones independentes, montagem que permite captar o movimento em três direções distintas para um mesmo evento, além de funcionarem como registradores, permitindo a visualização, amplificação e tratamento dos sinais captados pelos geofones, sendo por isto os mais amplamente utilizados. Duvall (1960, 1964) faz um estudo das variáveis físicas envolvidas no mecanismo de monitoramento e apresenta as primeiras especificações técnicas para a construção de sismógrafos portáteis. Fogelson & Johnson (1961) discutem vários aspectos construtivos de três modelos portáteis de sismógrafo utilizados em seus trabalhos de monitoramento.

Apesar dos grandes avanços verificados posteriormente, principalmente devido à incorporação de micro-processadores, os princípios físicos da construção e calibração destes aparelhos continuaram os mesmos. Uma vez estabelecidos os fundamentos de propagação, transferência e sistemas de monitoramento, a maioria dos trabalhos posteriores se dedicou ao estudo de técnicas de controle e ao estabelecimento de limites de velocidade e frequência.

O enfoque tradicional para o controle dos níveis de vibração está centrado basicamente na diminuição da carga máxima por retardo e na especificação de parâmetros, tais como malha de furos, tampão e direção de iniciação, que permitam gerar baixas velocidades de vibração. O principal recurso utilizado para a determinação da quantidade máxima de explosivo à ser detonado é o ajuste de equações de propagação empíricas, nas quais os coeficientes de ajuste são obtidos de monitoramentos prévios, cujo princípio fundamental é assumir que o meio

de propagação é um fator incontrolável e que a redução é possível de ser alcançada apenas com a redução dos níveis de energia da fonte, no caso a carga de explosivos. Caso a carga máxima definida seja inferior ao mínimo necessário para a fragmentação e movimentação exigidos, é preciso que sejam feitas adaptações dos parâmetros do plano de fogo, resultando em várias implicações, tais como diminuição de malha, diminuição de diâmetro do furo, aumento do uso de retardos e redução de volume desmontado, com efeitos diretos na produtividade e nos custos. Em função destas desvantagens, surgiu a necessidade do desenvolvimento de técnicas alternativas para o controle da emissão de vibrações, que permitissem manter ou reduzir minimamente a carga ideal.

Basicamente, os fatores determinantes para o nível de vibração são a fonte e o meio na qual as frentes de onda geradas irão se propagar e, conforme dito anteriormente, existem muitas desvantagens, principalmente em termos operacionais, em focar o controle dos níveis de emissão unicamente na quantidade de explosivo, que é a fonte de energia geradora. As técnicas alternativas diferem dos meios tradicionais por assumirem que o meio de propagação, sob determinadas condições, pode ser um fator controlável. Nestas técnicas, o enfoque passa a ser o mecanismo de propagação e suas principais variáveis dependentes (velocidade, frequência e comprimento de onda), às quais podem ser alteradas artificialmente pela definição de tempos de retardo que possam causar a sobreposição nas frentes de onda geradas pela detonação de cargas individuais e também pela mudança artificial do meio de propagação, em uma determinada extensão entre o local de detonação e a estrutura à ser protegida.

Anderson et al. (1985) discutem os primeiros trabalhos voltados ao estudo do efeito de sobreposição entre as frentes de ondas geradas pela detonação de cargas individuais. A técnica se baseia na suposição de que cada furo de uma malha de detonação irá gerar uma frente de ondas com características semelhantes, porém defasadas no tempo devido a

seqüência de inicialização. Vuillaume et al. (1996) apresentam vários resultados obtidos com o uso desta técnica em desmontes realizados tanto em pedreiras como em minas. Também Djordjevic et al. (1990) utilizaram os conceitos de sobreposição, porém combinados com o monitoramento da vibração natural da estrutura, cujo objetivo seria gerar frentes de onda não coincidentes.

Apesar de serem empregados conceitos científicos já comprovados, como no caso da interferência entre frentes de onda, este método apresenta sérios inconvenientes quando aplicado à desmontes em escala industrial, principalmente devido a variações estruturais no maciço, mesmo em áreas de extensão reduzida, fazendo com que as características da frente de ondas sejam diferentes entre os furos da malha. Outros fatores que afetam os resultados são a variação no padrão de carregamento entre os furos e o elevado espalhamento (desvio padrão) entre os tempos de retardos pirotécnicos. Para este último existe a alternativa do uso de retardos eletrônicos, mas com limitações de aplicação devido ao seu elevado custo unitário.

Persson et al. (1994) analisaram experimentos voltados ao estudo do amortecimento de vibrações com o emprego de fendas, construídas entre a fonte e o ponto de monitoramento, cujo objetivo é reduzir a intensidade da vibração aproveitando a fenda como uma barreira de amortecimento. Estes trabalhos indicaram que a redução obtida é proporcional à profundidade da abertura e aos comprimentos de onda através do meio e que o efeito pode ser alcançado construindo-se a abertura diretamente em frente à fonte ou distante da fonte, porém junto à estrutura, denominados isolamento ativo e passivo, respectivamente.

Kuzmenko et al. (1993) exploram exaustivamente as variáveis envolvidas na utilização deste recurso na redução da magnitude do efeito das ondas sísmicas induzidas por desmonte com explosivos, tanto em escala de laboratório como em operações industriais. Também Dowding (2000) relata o efeito de redução obtido em linha de furos detonados

atrás de área previamente fragmentada, evidenciado o efeito de atenuação na plotagem da distância escalonada (razão entre distância de monitoramento e a raiz quadrada ou cúbica da carga instantânea) *versus* velocidade de vibração.

Muitos dos parâmetros de eficiência apresentados nestes trabalhos, todos relativamente recentes, servem para justificar os insucessos relatados em trabalhos anteriores. Devine et al. (1966) utilizaram a técnica de *presplit*, que consiste de um plano de fratura bastante estreito criado pela detonação de cargas reduzidas em linha de furos de pequeno diâmetro, e concluíram que este método não é efetivo para a redução do nível de vibração. Da mesma forma, Worsey et al. (1996) relatam a ineficiência do uso de *presplit* no controle de vibração. A análise das metodologias empregadas neste dois trabalhos, quando comparadas aos trabalhos onde os autores obtêm reduções consideráveis nos níveis, indicam que a provável causa da ineficiência observada esteja relacionada tanto com o posicionamento da barreira de amortecimento como também devido à pouca espessura da abertura.

Quando analisadas do ponto de vista operacional, o método de controle de vibrações que oferece melhores perspectivas de utilização é o da construção de barreiras de amortecimento artificiais, por existir a possibilidade destas frentes serem construídas com os mesmos parâmetros do restante da malha de furos: mesmo diâmetro de furo, mesma profundidade, mesma razão de carga e mesmos tempos de retardo, o que evita a despadroneização de medidas, equipamentos e acessórios (inicializadores).

1.2 Meta

Considerando o estado da arte para controle de vibrações geradas por desmonte com explosivos e motivado pela necessidade de se obter solução viável para o problema, tanto em termos econômicos como ambientais, o presente trabalho têm como meta definir um sistema de

controle de vibrações causadas por desmonte de rocha com explosivos, que possa ser utilizado com o mínimo de interferência, tanto na rotina operacional como nos custos da operação de desmonte. À partir da definição do coeficiente de redução da velocidade de vibração máxima alcançado pelo emprego de barreiras de amortecimento para isolamento passivo, espera-se poder estimar o acréscimo possível de ser aplicado sobre a quantidade máxima de explosivo detonado instantaneamente, indicada pelas equações de propagação.

1.3 Objetivos específicos

Visando alcançar a meta proposta, foram propostos os seguintes objetivos.

(i) avaliar os valores de velocidade de vibração para detonações realizadas com e sem o uso de barreiras de amortecimento.

(ii) ajustar equações de propagação em separado para valores de vibração com e sem isolamento e comparar as diferenças entre os componentes destas equações.

(iii) validar, com as equações ajustadas, as diferentes cargas máximas instantâneas de explosivo para o limite de vibração permitido pela legislação brasileira.

1.4 Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos por este trabalho, foram empregados recursos de geração, monitoramento e análise de valores de velocidade de vibração. O local de teste foi a Mina do Recreio, de propriedade da empresa Copelmi Mineração Ltda., localizada na cidade de Butiá-RS, onde se faz a lavra de carvão mineral pelo método *strip mining*. O planejamento dos experimentos foi voltado para englobar as diferentes situações operacionais, relacionadas com a variabilidade de espessura e de características geomecânicas existentes entre os distintos pacotes de lavra.

A primeira etapa da seqüência metodológica consistiu em gerar vibração com a detonação de cargas de explosivo, confinadas em furos feitos no maciço utilizando-se perfuratriz pneumática sobre carreta. O diâmetro utilizado em todos os furos foi de 75 mm e a profundidade acompanhou a espessura dos diferentes pacotes de lavra a serem desmontados. Os explosivos utilizados nos testes foram ANWO (Ammonium Nitrate Wasted Oil) e emulsão. Para inicialização dos furos, empregou-se acessórios não elétricos. Todos estes elementos são os mesmos empregados nas áreas de produção, bem como a forma de carregamento, tamponamento e ligação. Estes eventos foram monitorados com sismógrafos digitais Instantel® Minimate Plus® para a captação dos valores de velocidade de vibração gerados, totalizando 29 eventos para três pacotes distintos, nos quais os valores de carga máxima instantânea variaram de 1,60 kg a 49,92 kg e a distância máxima entre o ponto de geração e o de monitoramento de 62,00 à 267,62 metros. Com os valores monitorados, foi montado um banco de dados vinculando velocidade de vibração com carga máxima e distância, para furos detonados com e sem a utilização de barreiras de amortecimento. Utilizou-se o *software* BlastWare® Series III 4.02 para a interpretação dos sinais monitorados e também para o ajuste das equações de previsão. Para a obtenção dos coeficientes de redução e análise estatística dos resultados, empregou-se o *software* Microsoft® Excel.

Com a finalidade de se avaliar o efeito das variáveis operacionais na efetividade do método, a segunda etapa envolve o monitoramento de valores de velocidade de vibração, da mesma forma em situações com e sem o uso da barreira, em escala de produção para três diferentes pacotes de lavra, totalizando 58 eventos monitorados. Destes, 27 eventos foram inicialmente monitorados durante um período de trinta dias, no qual não se empregaram barreiras de amortecimento. Os 31 eventos restantes, estes com o uso de barreiras, foram monitorados no mês seguinte, nos mesmos pacotes de lavra anteriores.

1.5 Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em seis capítulos distintos, nos quais são detalhados os seguintes temas:

No Capítulo 2, é feita uma breve revisão dos fundamentos científicos e tecnológicos envolvidos nos processos de detonação, tais como mecanismo de fragmentação e características da propagação de ondas sísmicas no maciço. Neste capítulo igualmente são discutidos os princípios de funcionamento de equipamentos de monitoramento e analisadas técnicas de controle de vibração.

No Capítulo 3, se faz a descrição da área de estudo, em termos de localização geográfica, descrição dos aspectos geológicos regionais e locais, assim como das características geomecânicas mais relevantes.

No Capítulo 4 é detalhado a montagem do experimento, descritas as variáveis envolvidas e os recursos utilizados na geração dos eventos e no monitoramento dos valores de velocidade de vibração, assim como os critérios de tratamento destas variáveis.

A análise dos dados obtidos é feita no Capítulo 5, sendo empregados dois critérios distintos para se verificar o efeito redutor das barreiras de amortecimento: cálculo do coeficiente de redução das somas vetoriais das velocidades de pico e o comparativo dos coeficientes de ajuste da equação de previsão para situações com e sem barreira de amortecimento. Neste capítulo também são analisados os resultados obtidos do monitoramento de detonações realizadas em escala de produção com a utilização de barreiras de amortecimento.

O encerramento deste trabalho é feito no Capítulo 6, onde são apresentadas as conclusões sobre o emprego de barreiras de amortecimento para o controle de vibração na Mina do Recreio. Também, neste capítulo são apresentadas recomendações para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Caracterização e controle de vibração gerada por detonação

Neste capítulo, é feita uma revisão dos principais fundamentos científicos e tecnológicos envolvidos na caracterização e controle das vibrações geradas no desmonte com explosivos. Também são discutidos com mais detalhes os três métodos de controle citados no capítulo anterior.

2.1 Processos de detonação e fragmentação

Um explosivo é um composto ou mistura de compostos químicos, o qual, quando inicializado por calor, fricção ou choque, é capaz de gerar uma rápida decomposição, liberando grandes quantidades de calor e gás. O trabalho realizado pelos explosivos químicos na fragmentação e deslocamento da rocha depende da energia de choque e, também, da energia dos gases expandidos (Aimone, 1992).

Quando inicializado, uma zona de detonação viaja para fora do ponto de inicialização, através do material explosivo, conforme mostrado na Figura 2.1. Esta zona de detonação inclui uma zona de choque bastante estreita (na qual a pressão alcança um pico) e uma zona de reação química. A zona de detonação é acompanhada pelos produtos da

reação, os quais fluem em direção à porção não detonada do explosivo, em alta velocidade (Cook, 2001).

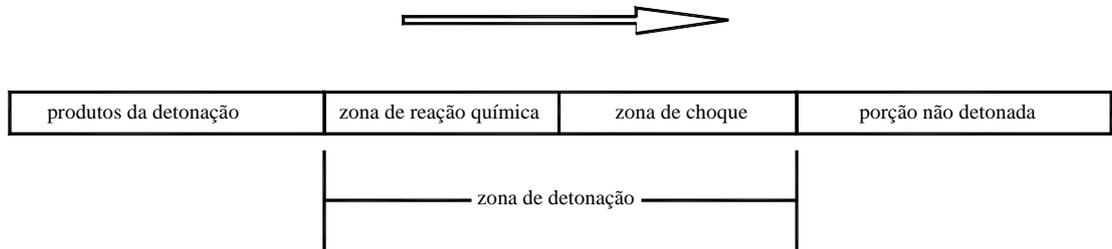


Figura 2.1 - Representação da seqüência de detonação (Cook, 2001)

A rápida liberação de uma grande quantidade de energia, resultado da reação química, envolve um re-arranjo dos átomos (hidrogênio, carbono, oxigênio e nitrogênio) presentes no explosivo. Esta liberação se manifesta na forma de calor e gases primários, os quais quando confinados, se expandem subitamente e com alta velocidade, comprimindo a camada de ar circundante. Devido ao brusco aumento de pressão, se forma um tipo de onda conhecida como onda de choque (Cook, 2001). Após esta fase, é liberada uma segunda forma de energia, conhecida como pressão de gás, a qual exerce pressão nas paredes do furo pela expansão dos gases gerados na reação química, causando a maioria das rupturas no maciço quando as cargas de explosivo são confinadas em furos (Konya, 1995).

O processo de fragmentação ocorre em quatro etapas distintas. Ao detonar-se os explosivos, uma onda de tensão move-se através da rocha uniformemente e em todas as direções ao redor da carga. Fraturas radiais então propagam-se predominantemente em direção à face livre. Após o processo de fraturamento radial ser finalizado, gases à altas pressões penetram nas fraturas aproximadamente dois terços da distância entre o furo e a face, através de todo o sistema de fraturas. Somente após ter penetrado dentro do sistema de fraturas que o nível de tensões é

suficiente para causar o movimento da face. Antes da face começar o movimento e curvar-se para fora, fraturas são criadas em três dimensões, como resultado de ruptura flexural (Konia, 1995).

Segundo Chiapetta et al. (1987), o grau de dano e fraturamento ao redor do furo pode ser caracterizado por quatro zonas (Figura 2.2). Na zona pulverizada imediatamente em volta do furo, o explosivo induziu pressão e tensão fazendo exceder o limite de resistência a compressão da rocha. Após esta zona pulverizada aparece a região definida por zona fraturada, na qual o fraturamento pode variar de zona severamente fraturada, passando por moderadamente fraturada, para uma zona de transição onde ocorre deformação plástica, próxima ao limite de deformação da rocha. Nas zonas 3 e 4 (zonas elásticas), fraturas por tensão ocorrem de modo pouco intenso, por ter sido a amplitude da onda atenuada significativamente. Quando a tensão tangencial for atenuada para níveis abaixo do limite de resistência da rocha, não haverá mais fraturamento além deste ponto, ilustrado na zona 5. Uma vez passada a onda ou perturbação pela última zona, as partículas individuais do meio oscilam e vibram, retornando à sua posição original dentro dos limites de elasticidade da rocha, sem resultar em danos permanentes.

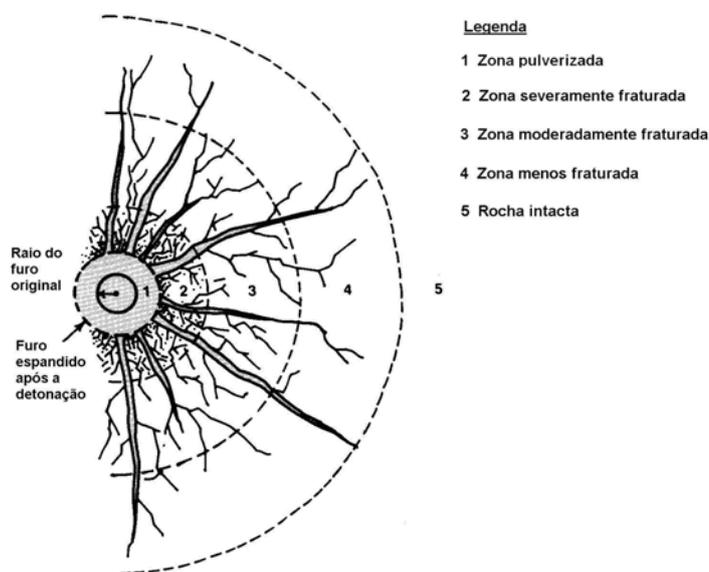


Figura 2.2 – Raios das zonas de ruptura (Chiapetta et al., 1987)

2.2 Mecanismo de propagação das ondas no maciço

Quando uma carga de explosivo é detonada em um furo, os produtos gasosos de alta densidade, resultantes da reação, exercem pressões extremamente elevadas nas paredes do furo, criando movimento e um campo de tensão dinâmico no maciço circundante. O efeito inicial na porção junto ao furo é uma onda de choque de alta intensidade e curta duração, a qual decai rapidamente. A expansão continuada de gás leva adiante o movimento, expandindo o campo de tensão na rocha. Onde a face livre é próxima o suficiente do furo, a rocha sofre fraturamento e deslocamento. Em outras direções, o movimento propaga-se no terreno sob forma de frentes de onda de vibração, que são uma complexa combinação de ondas elásticas (Kuzmenko et al., 1993).

Essas ondas são classificadas em ondas internas de corpo (ou subterrâneas) e ondas de superfície. As ondas que compõe o primeiro grupo são as ondas P, ou de compressão, que causam movimento de partículas no mesmo sentido da propagação, e as ondas S ou de cisalhamento, que causam movimentos de partícula perpendiculares à direção de propagação da onda, possuindo velocidade inferior às ondas P, ambas propagando-se dentro do maciço. O segundo grupo é composto pelas ondas R (Rayleigh) e Q (Love), que se propagam na interface de meios diferentes, como tipos de litologia com características elásticas distintas ou na interface entre o meio sólido, no caso o maciço rochoso e o ar (face livre). As ondas R causam um movimento elíptico, com sentido contrário à propagação das ondas, enquanto que as ondas Q, mais rápidas que as ondas R, causam deslocamento em direção transversal ao do movimento de propagação.

Próximo ao ponto de detonação, as ondas internas (longitudinal e transversal) predominam. Elas são caracterizadas por possuírem frequências na ordem de 10-40 Hertz e rápida atenuação, comparadas às ondas de superfície. As ondas de superfície surgem em seguida (em termos de tempo) e são caracterizadas por fraco amortecimento após uma

certa distância, altas amplitudes e baixas frequências (na ordem de 2-8 Hertz). A atenuação da energia das ondas geradas por detonação depende da estrutura das rochas e solo e, usualmente, a velocidade de deslocamento depende da rigidez acústica (impedância) da rocha à longas distâncias. Kuzmenko et al. (1993) esclarecem que a máxima atenuação de deslocamento ocorre em rochas frágeis e fraturadas, enquanto que em solos argilosos e úmidos há um comportamento inverso por possuírem alta sismicidade (propriedade de permitir a propagação das ondas sísmicas).

As ondas sísmicas podem ser consideradas como do tipo senoidal e os seus principais parâmetros são:

i) velocidade de propagação: irá depender principalmente do meio em que ocorre a propagação. A velocidade é uma função das propriedades elásticas do meio, podendo alcançar valores que variam de 200 m/s a 5900 m/s (Dowding, 1985). Podem ser obtidas através das seguintes equações (Persson et al., 1994):

$$\text{- ondas P:} \quad V_p = \left[\frac{E(1-\nu)}{\rho(1-2\nu)(1+\nu)} \right]^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad (2.1)$$

$$\text{- ondas S:} \quad V_s = \left[\frac{E}{2\rho(1+\nu)} \right]^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad (2.2)$$

$$\text{- ondas R:} \quad V_r = \frac{0,86 + 1,14\nu}{1 + \nu} \quad (\text{m/s}) \quad (2.3)$$

onde:

E : Módulo de Elasticidade (Pa)

ρ : densidade do material (Kg / m³)

ν : coeficiente de Poisson

ii) comprimento de onda: o comprimento de onda λ corresponde a distância ao longo de um eixo, após a qual a forma da onda começa a se

repetir. O comprimento de onda é um parâmetro que influencia muito no efeito da vibração em diferentes estruturas. Conforme Persson et al. (1994), quando o comprimento de onda é comparável ao comprimento do prédio, haverá flexão e curvatura com a ondulação do terreno, causando danos mesmo em velocidades de vibração moderadamente altas. O valor do comprimento de onda é obtido pela seguinte relação:

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (\text{m}) \quad (2.4)$$

onde:

V : velocidade de propagação (m/s)

f : freqüência (Hz)

iii) freqüência: corresponde ao número de oscilações ocorridas em um segundo, expressa em Hertz.

A incidência das diferentes frentes de onda sísmica, geradas pela detonação de cargas explosivas, causa um movimento oscilatório nas partículas do maciço, que sofrem um deslocamento D , retornando à sua posição inicial após a passagem da frente de ondas. Este efeito é conhecido como vibração e seus principais parâmetros são deslocamento, velocidade, freqüência e aceleração.

Conforme Siskind et al. (1980), este tipo de vibração pode ser aproximada por uma onda sinusoidal (movimento harmônico simples). Porém, para vibrações muito complexas, isto não é possível, sendo necessário o emprego de métodos numéricos ou computacionais para aproximação dos valores de seus parâmetros. Para as vibrações não complexas, são sugeridas as seguintes equações:

$$D = D_o \operatorname{sen} (2 \pi f t) \quad (2.5)$$

$$V = D_o (2 \pi f t) \operatorname{cos} (2 \pi f t) = V_o \operatorname{cos} (2 \pi f t) \quad (2.6)$$

$$A = -D_o (2 \pi f t)^2 \operatorname{sin} (2 \pi f t) = -A_o \operatorname{sin} (2 \pi f t) \quad (2.7)$$

sendo:

D_o , V_o e A_o : constantes

D : deslocamento (mm)

V : velocidade (mm/s)

A : aceleração (mm/s²)

f : freqüência (Hz)

t : tempo (s)

O deslocamento corresponde à distância percorrida pelas partículas, movendo-se desde a sua posição de repouso até um determinado ponto, geralmente expressado em milímetros.

A velocidade de vibração corresponde à velocidade com a qual a partícula move-se desde o seu ponto de repouso até o ponto de deslocamento máximo, podendo ser calculada em função do deslocamento pela seguinte relação :

$$\frac{dD}{dt} = V_o \operatorname{cos} (2 \pi f t) \quad (\text{mm/s}) \quad (2.8)$$

A definição de freqüência de vibração f é semelhante à freqüência de onda, também expressa em Hertz, e corresponde ao número de oscilações das partículas que compõe o meio, ocorridas em um segundo, à medida que a onda passa por ele.

Aceleração refere-se à taxa com que a velocidade da partícula muda durante a oscilação. As partículas exercem uma força proporcional à

aceleração e pode ser expressa, alternativamente, em função da aceleração gravitacional (g), dividindo-se o valor obtido em mm/s^2 por esta constante.

2.3 Equipamentos para monitoramento de vibração

Existem três principais tipos de mecanismos de captação de vibração causada por desmonte com explosivos e sua aplicação está vinculada às suas características construtivas e aos parâmetros do movimento vibratório:

- geofones
- acelerômetros
- *strain-gauges*

Todos os três sistemas baseiam seu funcionamento na conversão de um tipo de energia em outra, através de princípios elétricos de baixa intensidade. Usam a proporcionalidade entre voltagem e energia de vibração captada, diferenciando-se entre eles principalmente na forma como é feita a conversão.

Scott et al. (1996) fazem um apanhado e relacionam as principais características destes três sistemas, bem como comentam alguns critérios para seleção:

- Geofones: trabalham com o mesmo princípio de um gerador elétrico. Um magneto suspenso por uma mola move-se através de uma bobina, devido à influência do movimento do terreno. Possuem baixo custo e são fáceis de instalar e usar, mas têm deslocamento limitado e somente fornecem leituras válidas abaixo de sua frequência de ressonância. O limite de sinais distorsivos de muitos geofones, para uma leitura acurada, fica abaixo de 2000 Hz, não sendo satisfatórios para situações envolvendo altos níveis de vibração.

- Acelerômetros: usam materiais piezoelétricos (um material piezoelétrico consiste de campos carregados, os quais são alinhados na

mesma direção) como elemento sensível. Quando sujeito a uma força é distorcido e suas cargas movem-se para fora do alinhamento, causando instabilidade no equilíbrio das partículas carregadas, gerando um fluxo de carga elétrica até que o equilíbrio seja restabelecido. Este fluxo é diretamente proporcional à força agindo no elemento piezoelétrico. Não possuem partes móveis e podem ser usados para aplicações a baixa e alta frequência, porém exigindo uma fonte de energia. Podem ser caros, caso seja requerida alta resolução nas leituras.

- *Strain gauges* : são baratos e precisos e podem ser usados como captadores de vibração. No entanto, a sua montagem pode ser difícil e requerer amplificadores de sinal de alto custo, para prover sinais apropriados para análise. Conseqüentemente, eles são raramente usados para monitoramento de vibrações simples, sendo utilizados mais para monitoramento especializado de tensão dinâmica geradas por cargas de explosivo.

Atualmente, o equipamento mais indicado para o monitoramento de vibrações causados por desmonte com explosivos são os sismógrafos digitais portáteis. Basicamente, estes equipamentos são compostos pelos seguintes mecanismos :

- mecanismo de captação: utiliza geofones em arranjo triaxial, cada um captando o movimento em direções perpendiculares entre si (longitudinal, transversal e vertical) podendo ser montados na mesma estrutura dos outros componentes ou independentemente.

- processador: dispositivo eletrônico que interpreta o sinal elétrico gerado pelos geofones, possibilitando a sua análise em termos dos parâmetros de vibração da partícula.

- memória: complemento do processador, servindo para armazenar os dados processados para posterior transferência a computadores

- bateria interna recarregável: fornece energia ao processador

- microfone externo para captação da pressão acústica gerada pela detonação

Para a análise dos resultados obtidos, os *softwares* que acompanham os equipamentos fornecem um documento denominado boletim, no qual são apresentados, de forma gráfica ou não, os principais parâmetros monitorados. O formato do boletim varia de fabricante para fabricante, mas basicamente apresenta os seguintes dados:

- data e horário da leitura
- valores de regulação para o acionamento automático
- número de série do equipamento
- data da última calibração, bem como entidade que fez a calibração
- valores numéricos para os parâmetros de pico independentes para cada direção, sendo esses: velocidade de partícula, soma vetorial das velocidades, aceleração e deslocamento
- sismogramas para as três direções de vibração
- valor da pressão acústica máxima no evento
- limites gráficos, disponíveis em algumas normas, como é o caso da americana USBM RI8507 e OSMRE, da alemã DIN 4150 e da britânica BS 6472, entre outras.

Por ser a principal grandeza de referência para a verificação da adequação dos valores de vibração gerados, é importante que se entenda o sistema de cálculo da soma vetorial das velocidades de pico (PVS – *Peak Vector Sum*) utilizado nos sismógrafos digitais, como é o caso do Instantel® Minimate Plus®, equipamento utilizado neste trabalho.

Downding (2000) discute as diferenças no cálculo da soma vetorial de velocidades de vibração das direções longitudinal, transversal e vertical. Segundo este autor, a passagem das frentes de onda de vibração forçam o meio à mover-se de maneira elíptica, nas três dimensões. Para definir este movimento, três componentes mutuamente perpendiculares são medidas. A diferença entre as três componentes resulta da presença

de vários formatos de onda na frente, apresentando por isso diferentes picos. Em geral, nas observações empíricas de danos, verifica-se que estas surgiram com picos de componentes simples; assim o uso da máxima soma vetorial gera um grande fator de segurança.

Quando a soma vetorial é feita usando o maior pico das três direções, com os dois picos complementares obtidos no mesmo instante, denomina-se Soma Vetorial Real. No entanto, existe outra forma de cálculo para a soma vetorial: utiliza-se como componentes da soma os picos das três direções, independente do instante de tempo em que ocorreram. Geralmente, a soma vetorial apresentada nos boletins de sismógrafos digitais é a Soma Vetorial Real, que pode apresentar diferença significativa no valor obtido, quando comparada ao sistema de soma pelos maiores picos das três direções.

2.4 Técnicas de controle de vibração

No processo de desmonte de rochas com explosivos, uma porção da energia não consumida na fragmentação e movimentação do maciço acaba gerando ondas sísmicas que se propagam pelo terreno, causando vibração em áreas adjacentes ao ponto de detonação. Dependendo dos valores dos parâmetros do movimento vibratório e das características estruturais das construções dentro do raio de alcance das frentes de onda, podem ser causados sérios danos aos prédios e estruturas vizinhos à área de desmonte.

Tecnologicamente, a operação de desmonte com explosivos consiste em executar-se n furos na porção no maciço a ser fragmentada e movimentada, cada furo carregado por uma quantidade Q de explosivo, com características químicas próprias, resultando em maior ou menor geração de energia de choque ou de gás. A quantidade Q deve gerar suficiente energia para ultrapassar os limites de resistência da rocha, ou rochas, que compõe o maciço, causando a fragmentação. Este valor é geralmente expresso em kg de explosivo por m^3 de rocha, relação

denominada razão de carga, podendo ser expressa também em kg / tonelada. Para obter-se o melhor aproveitamento da energia liberada, existe um arranjo geométrico ideal do conjunto de furos, isto é, espaçamento em relação a face livre e o afastamento entre eles. Este arranjo denomina-se malha de furos.

Os métodos de controle que podem ser empregados em atividades de mineração têm por finalidade minimizar a geração de vibração, enfocando o mecanismo de formação e de propagação de ondas. Como acessório aos métodos de controle propriamente ditos, existem procedimentos que têm como objetivo reduzir ao máximo a perda de energia na fragmentação e movimentação, principal razão de vibração no terreno. Essa energia propaga-se para fora da zona de fragmentação por não ter intensidade suficiente para romper a rocha, mas mantém intensidade suficiente para vibrar o terreno e causar danos em estruturas. São exemplos destes procedimentos: controle de tampão, distância da face livre, direção de iniciação, tempo de duração da seqüência, entre outros.

De uma forma simplificada, os métodos de controle podem ser classificados de acordo com o enfoque e a etapa do processo em que irão atuar. Métodos diretos agem sobre a fonte de vibração, no caso, as cargas de explosivo posicionadas em furos executados dentro do maciço a ser desmontado, ou na própria estrutura que será afetada pelo movimento vibratório. Por outro lado, quando o controle enfoca o meio de propagação e não a fonte ou estrutura a ser protegida, pode ser classificado como método indireto. Redução da quantidade máxima de explosivo detonada em cada tempo de retardo e sobreposição de frentes são exemplos de controle direto (atuam sobre a fonte), bem como o reforço de estruturas. Como exemplo de método indireto temos a construção de barreiras de amortecimento, tipo de controle que constitui o objeto de estudo deste trabalho.

Na Tabela 2.1, são relacionados alguns dos principais métodos de controle para vibrações sísmicas. Os métodos que enfocam a estrutura são voltados, em sua maioria, para fenômenos sísmicos naturais, provenientes de terremotos ou para propósitos militares, como construção de edifícios estratégicos resistentes à impactos de bombas nucleares e convencionais. Na indústria mineral, o propósito da utilização de explosivos e as características da vibração gerada apresentam pouca semelhança com as situações anteriores, sendo por isso os controles voltados aos parâmetros da vibração, de forma a adequá-los às exigências das normas.

Tabela 2.1. Características dos métodos para controle de vibração

Método	Classificação	Etapa	Parâmetro
Limitação da carga máxima por retardo	Direto	Geração	Velocidade de vibração
Sobreposição de frentes	Direto	Propagação	Frequência e comprimento de onda
Barreiras de amortecimento artificiais	Indireto	Propagação	Velocidade de vibração
Contrapesos estáticos ou dinâmicos	Direto	Efeito na estrutura	Frequência e amplitude de vibração
Fundações sobre colchões de amortecimento ou molas	Direto	Efeito na estrutura	Frequência e amplitude de vibração
Reforço de estruturas	Direto	Efeito na estrutura	Frequência e velocidade de vibração

A definição de qual método é o mais adequado irá depender de cada situação e atividade. A abordagem ideal seria construir estruturas resistentes em todos os locais onde houvesse possibilidade da existência de fontes de vibração. Porém, quando o desmonte com explosivos é necessário em áreas com estruturas antigas ou sem resistência ao efeito da vibração, as opções de controle ficam restritas às etapas de geração e propagação.

Esta constatação é particularmente válida para atividades de mineração à céu aberto em áreas urbanizadas. Como a expansão geográfica da área minerada é proporcional ao tamanho da jazida, que

muitas vezes é aumentada ao longo da vida da mina por trabalhos de exploração, poderá ocorrer a aproximação com as áreas urbanizadas ao redor, sendo que, em muitas situações, estas construções são posteriores à implantação da mina. Nos próximos subcapítulos são discutidos os principais tipos de controle aplicados a atividades de mineração, desenvolvidos ao longo dos anos com objetivo de se conciliar o avanço da área minerada com a preservação das estruturas adjacentes.

2.4.1 Limitação da carga máxima por retardo

Este método se baseia no princípio que a energia de vibração é proporcional à energia liberada pela quantidade Q de explosivos detonada a cada tempo de retardo e que é possível relacionar-se esta quantidade aos níveis de vibração que irão ser gerados. O parâmetro focado por este método é a velocidade de vibração, pois caso esta seja baixa, os efeitos da frequência de vibração podem ser desconsiderados, além de que muitas legislações, como é o caso da norma brasileira NBR- 9653, definem limite apenas para velocidade de vibração ignorando a frequência que essa vibração ocorre.

Para estimar a velocidade de vibração, são utilizadas equações empíricas, cujos componentes principais são a distância da fonte ao ponto de medida, a carga detonada e fatores físicos ligados as litologias que compõem o terreno por onde as ondas se propagam. Existem várias propostas de equações de previsão da vibração, cuja principal diferença é a relação matemática entre as suas componentes. Vogt & Singh (1998) analisam oito tipos distintos de equações, comparando os valores da quantidade máxima de explosivo estimados, para um valor fixo de velocidade de vibração (15 mm/s), utilizando dados para o ajuste dos fatores do terreno coletados de detonações realizadas em cinco locais diferentes. Os autores concluem que nenhuma das equações utilizadas foi capaz de satisfazer plenamente os parâmetros de vibração em todas as condições geológicas e tecnológicas estudadas na investigação,

ressaltando porém que a equação do USBM (United States Bureau of Mines) foi a mais adequada para a previsão, em muitas formações rochosas.

Esta equação de previsão da velocidade de vibração máxima (conforme trabalho publicado por Duvall et al. (1962) e que serviu de base para a regulamentação do USBM) é assim formulada :

$$V = k(DS)^{-m} = k\left(\frac{D}{Q^{1/2}}\right)^{-m} \quad (\text{mm/s}) \quad (2.9)$$

onde:

V : Velocidade de vibração máxima (mm/s)

DS : distância escalar (m / kg^{1/2})

D : distância entre a fonte e o ponto de monitoramento (m)

Q : carga máxima por retardo (kg)

k e m : fatores do terreno

Os fatores k e m que aparecem na equação são determinados através de calibração (regressão linear), à partir de detonações de teste executadas na área de produção. Para facilitar a interpretação, bem como o emprego de computadores e calculadoras, a Equação 2.9 é resultado de manipulação matemática, de forma a adequar os seus fatores à equação da reta:

- equação original: $V = k(DS)^{-m} \quad (2.10)$

- aplica-se logaritmo decimal nas duas partes da equação, resultando em:

$$\log(V) = \log(k) + (-m) \log(DS) \quad (2.11)$$

Este formato corresponde à equação da reta $y = b + mx$, onde b é o coeficiente linear, obtido geometricamente da interceptação do prolongamento da linha de ajuste no eixo y e m , o coeficiente angular, obtido do cálculo da tangente do ângulo θ formado entre a linha de ajuste e o eixo das abscissas. Como a relação entre a grandeza DS e V é inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a velocidade máxima de vibração V menor será a distância escalar DS , o coeficiente m será negativo, conforme mostrado na Equação 2.9. Na figura 2.3, é mostrado uma plotagem $DS \times V$:

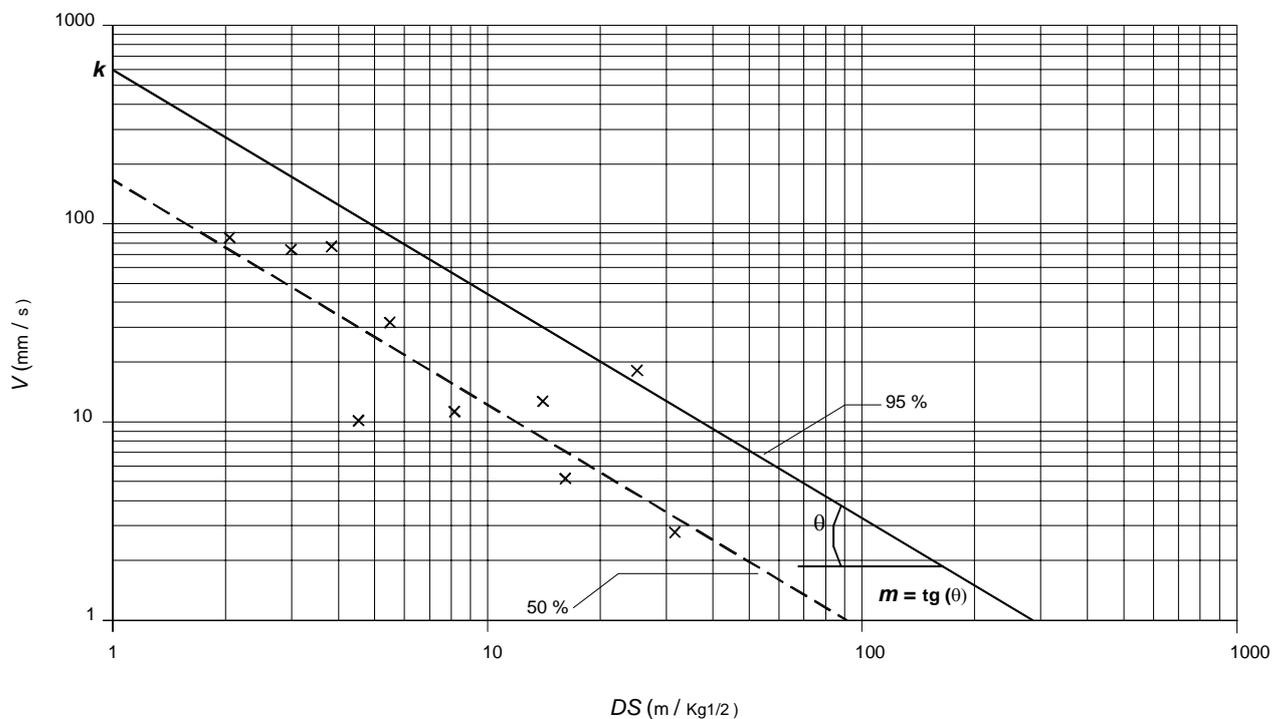


Figura 2.3 – Relação entre DS e V usada para ajuste dos fatores de terreno.

A formulação da distância escalonada é a diferença básica entre as equações de previsão. Conforme Dowding (2000), a velocidade de partícula pode ser aproximada por duas direções clássicas: relações de atenuação e relações de escalonamento. Relações de atenuação são mais freqüentemente associadas a obras civis em solos, e relações de

escalonamento com detonação em rocha ou solo. A relação de atenuação descreve o decaimento da velocidade de pico com a distância da fonte. Já a relação por escalonamento descreve o decaimento com a distância de forma normalizada (portanto escalonada) pela fonte de energia. É mais usado quando a mesma fonte, a uma mesma distância, libera energia variável, como em detonação e atividades de compactação dinâmicas.

A velocidade de vibração não escalonada é formulada da seguinte maneira:

$$V_2 = V_1 (R_1 / R_2)^{1/2} e^{-\alpha (R_2 - R_1)} \quad (\text{mm/s}) \quad (2.12)$$

onde:

V_1 : velocidade conhecida (mm/s)

V_2 : velocidade desconhecida (mm/s)

R_1 e R_2 : distâncias referentes às velocidades V_1 e V_2 , respectivamente (m)

α : coeficiente de atenuação (1/m).

A relação de escalonamento (distância escalar), necessária para estimar a velocidade de partícula causada por detonação, via equação de ajuste, possui duas formulações distintas: cúbica ou quadrática:

$$\text{Quadrática:} \quad DS = D / Q^{1/2} \quad (\text{m} / \text{kg}^{1/2}) \quad (2.13)$$

$$\text{Cúbica:} \quad DS = D / Q^{1/3} \quad (\text{m} / \text{kg}^{1/3}) \quad (2.14)$$

A definição do equacionamento ideal para distância escalonada é bastante controversa, sendo analisada em trabalhos de diversos autores, tais como Nicholls(1963), Siskind et al. (1977), Redpath et al. (1987) e Sames (1997), entre outros. Outra fonte de questionamentos, ainda com

relação a distância escalonada, é a definição de quantidade de explosivos detonada por retardo.

Com relação a escolha da equação de escalonamento, se quadrática ou cúbica, Chiapetta et al. (1987) indicam o uso de escalonamento quadrático para cargas cilíndricas, ou seja, onde a relação comprimento / diâmetro da carga é maior que 6 / 1. Para cargas esféricas (relação comprimento / diâmetro da carga é menor ou igual a 6 / 1) e para estimativa de níveis de pressão acústica, tradicionalmente é empregado o escalonamento cúbico. Também a OSM (*United States Office of Surface Mining*), órgão do governo dos Estados Unidos que regulamenta a atividade de mineração, bem como a norma brasileira NBR-9653, especificam o uso do expoente quadrático no cálculo da distância escalonada para vibração provocada por desmonte com explosivos.

Anderson (1989) discute a definição de distância escalonada, apresentada nos trabalhos que serviram de base para a regulamentação da OSM, para vibração gerada por detonação. A distância escalonada é definida como a distância da detonação dividido pela raiz quadrada de *pounds* (libras) por retardo, citando o texto original, que expressa a unidade de massa no sistema Imperial. Libras por retardo é definido como o número de libras de explosivo detonado dentro de um intervalo de 8 ms e, baseado nesta definição, gráficos de velocidade de pico *versus* distância escalonada são usadas para determinar prováveis valores de velocidade de pico. Segundo o autor, tal critério não pode ser aplicado, e por ser inapropriado atrapalha a eficiência do projeto de desmonte. Trabalhos recentes que empregaram o método de ajuste de equação de previsão para o controle de vibração, como Kahrman (2001) e Worsey et al. (1996) não relatam a utilização de tempos de retardo igual à 8 ms (Worsey utilizou retardos de 25 ms) para a obtenção dos coeficientes de ajuste da equação. Também Winzer et al. (1985) esclareceram que muitos esquemas de previsão e normas de agências reguladoras recomendam 8 ou 9 ms como tempo de retardo mínimo que pode ser usado entre cargas,

quando utilizados para separação com propósitos de controle de vibração. Entretanto, conforme o autor, retardos curtos podem oferecer uma adequada separação para detonações pequenas e próximas, o que não ocorre em grandes detonações e longas distâncias, nas quais retardos com tempos maiores são necessários para se obter uma separação real, pois a vibração de cada carga individual mantêm-se por um longo período de tempo.

Quando se plota a velocidade de pico da partícula *versus* distância escalonada, é esperada a existência de um espalhamento em relação a linha da média obtida do ajuste dos valores logarítmicos. Numerosos fatores são responsáveis pelo espalhamento a uma dada distância escalonada. Estes incluem a geologia, condições de confinamento, tipo de explosivo, propriedades da rocha, cargas cooperantes, tempos de retardo, diferentes tipos de onda e erros de medição e análise (Persson et al., 1994). Devido a este espalhamento, muitas vezes alto, o ajuste da reta para a determinação dos fatores k e m é feito com valores de confiança estatística mais elevados, tradicionalmente acima de 90%. A equação de previsão da velocidade de vibração máxima, obtida via detonações de teste, é então empregada para estimar níveis de vibração em função de distâncias e cargas definidas por critérios de produção ou, caso a velocidade de vibração seja limitada a um determinado valor, definir a carga máxima por retardo para que a vibração gerada não ultrapasse o limite especificado.

O uso de equações empíricas, com ajustes extremamente conservadores e simples, necessário devido a baixa reprodutibilidade dos valores de velocidade de vibração monitorados, conduz a alternativas operacionais muitas vezes prejudiciais a produtividade e aos custos do desmonte. Servem de exemplo as recomendações de Olofsson (1990), que são alternativas clássicas para o controle da vibração:

- Padrão de iniciação: o número de furos com mesmo tempo é reduzido, de forma a não exceder a carga máxima

- Redução do padrão de perfuração: o volume do furo não é utilizado ao máximo, como em detonações normais. O padrão de perfuração é mais fechado, com menos explosivo em cada furo

- Cargas divididas: a quantidade de carga necessária por furo é dividida em várias cargas parciais, iniciados com retardos diferentes. As cargas são separadas por tampões de areia

- Bancadas divididas: a bancada não é detonada de uma única vez, mas dividida em várias bancadas menores.

Ao reduzir-se o número de furos por retardo, dependendo da área desmontada e do limite de carga, haverá um considerável aumento de tempo na ligação e na duração da detonação, bem como aumento nos gastos com retardos. Empregando-se a segunda medida proposta, redução da malha, irá ocorrer um acréscimo na quantidade de metros perfurados, repercutindo no tempo total de perfuração da área e nos custos. Ainda mais acentuadas são as implicações da separação de cargas dentro do furo e a divisão de bancadas, tanto em termos de tempo como em custos, sendo que nesta última não haverá apenas reflexos na operação unitária de desmonte, mas também influência decisiva no planejamento da produção.

2.4.2 Sobreposição de frentes

Vuillaume et al. (1996) esclarecem que o propósito desta técnica é a detonação das cargas com tempos adequados, de forma que os sinais de vibração emitidos atinjam o local a ser protegido em oposição de fase. A hipótese básica deste método é que uma carga detonada em determinada área do local de trabalho produz um sinal reproduzível no ponto de monitoramento.

Siskind et al. (1980) indicam que os danos em estruturas são dependentes não só da velocidade de vibração, mas também da frequência, podendo essa ser amplificada caso coincida com frequência de vibração natural da estrutura, em um intervalo de 4 à 21 Hz para

estrutura inteira e 10 à 25 Hz para meia-parede. Anderson et al. (1986) descrevem o comportamento de estruturas residenciais, as quais tendem a amplificar o movimento do terreno de dois modos: do modo completo, no qual o movimento relativo do topo de um suporte vertical relativo a base é considerado, e do modo de meia-parede, no qual o movimento de um ponto mediano de uma parede, relativo a base e ao topo, é considerado. O modo completo é semelhante a um pêndulo invertido, dependente da altura do edifício (edifícios altos reforçam baixas frequências de vibração), enquanto que o modo de meia-parede é similar ao movimento de um diafragma.

Anderson et al. (1982) apresenta um método para a definição de retardos apropriados para interferência destrutiva do formato de onda total, com particular ênfase na vibração em intervalo de frequência de 5 à 20 Hz. Os formatos de onda gerados por furo único, para cada local, são usados para a construção de sismogramas sintéticos de detonações com retardos, utilizando a técnica de sobreposição linear. Este método envolve repetir ponto por ponto o formato de onda do furo único, adicionando a um sismograma sintético. A adição inicia de um ponto correspondente ao tempo de retardo desejado; o formato de onda do furo único é repetidamente adicionado ao sismograma sintético, até que seja alcançado o número de furos desejado. Uma representação, por Análise de Fourier, do sismograma sintético poderá então determinar, para várias frequências, se a amplitude da vibração será acrescida (interferência construtiva) ou diminuída (por interferência destrutiva).

Djordjevic et al. (1990) descrevem outro método para minimizar os efeitos da vibração em estruturas por sobreposição de frentes. Os princípios de minimização da vibração são baseados em um fator de amplificação, o qual, para um ponto com parâmetros de detonação conhecidos, descreve como a amplitude de cada frequência presente na vibração de um furo único é amplificada para formar a amplitude dessa componente na vibração de detonação para produção (múltiplos furos).

Inicialmente é definida qual a freqüência de ressonância da estrutura a ser protegida, pela da captação do sinal de vibração com geofones de baixa freqüência, provocada pela detonação de furo único ou pela vibração induzida na parede pelo impacto produzido por um martelo de borracha. O sinal de vibração no terreno é também monitorado e analisado para a seleção de um tempo ótimo de retardo que minimize a amplitude da vibração no terreno em uma determinada banda de freqüência, ou seja, a freqüência de ressonância da estrutura.

A técnica de sobreposição linear, apesar de bastante consistente teoricamente, quando utilizada em operações de escala industrial, apresenta sérias limitações de confiabilidade. Crenwelge & Peterson (1986) observam que a principal hipótese para a utilização do método, de que a resposta do terreno é linear às cargas detonadas com arranjos idênticos (mesma carga instantânea e tempo de retardo), isto é, possuem desvios na relação tempo de retardo x freqüência relativamente pequenos, em geral não é garantida. Isso ocorre especialmente para grandes quantidades de carga por retardo, como aquelas utilizadas nas operações de movimentação por explosivo em minas de carvão à céu aberto. Este autor também cita o trabalho de Winzer et al. (1983), no qual é relatado um forte efeito de não-linearidade em pedreiras, mesmo mantidos carga, tempo de retardo e espaçamento entre furos idênticos.

Outro fator que também afeta significativamente o controle da freqüência e amplitude da detonação de múltiplos furos é o elevado espalhamento dos retardos pirotécnicos. Siskind et al. (1996) conduzem um detalhado estudo comparativo em oito minas de carvão, visando determinar se a existência de trabalhos prévios no subsolo resultaram na geração de vibração com características adversas, como longa duração e baixa freqüência. Neste trabalho, foram feitas detonações comparativas com furos especialmente preparados e também com furos de produção, com objetivo de se identificar a freqüência natural do terreno, bem como a influência dos tempos de retardo utilizados na inicialização. O autor

conclui que projetos de detonação baseados no controle de tempos de retardo entre cargas tendem a oferecer somente uma limitada influência na amplitude de vibração média à longas distâncias, quando utilizados retardos curtos de precisão padrão. Apenas retardos mais acurados constituem uma promessa de serem utilizados como solução para influenciar a frequência da vibração.

Atualmente, já são comercializados retardos eletrônicos de alta precisão, resultado da evolução tecnológica de microprocessadores. Este tipo de retardo consegue eliminar uma das grandes limitações do uso de sobreposição linear no controle de vibração, que é a falta de acuracidade dos tempos de retardo entre os furos de produção, porém a um custo extremamente elevado quando comparado aos retardos pirotécnicos utilizados na maioria das operações de desmonte em escala industrial. Com a redução do custo unitário deste tipo de acessório, existe a tendência de seu uso ser ampliado, por ser bastante efetivo também no controle de fragmentação e movimentação do maciço.

2.4.3 Barreiras de amortecimento

Barreiras de amortecimento são porções do terreno modificadas artificialmente com o propósito de diminuir a intensidade da vibração sísmica causada pela detonação de cargas de explosivos. É um método de controle indireto, por atuar no meio de propagação e não na fonte ou estrutura a ser protegida.

A redução na intensidade de ondas sísmicas induzidas pela detonação por meio de barreiras artificiais é alcançada da seguinte maneira: quando uma onda sísmica se aproxima da barreira, uma parte desta energia é refletida no maciço (devido à interface entre a cavidade fragmentada e o meio). A quantidade de energia refletida depende da razão entre a rigidez acústica do solo e do ar. As barreiras podem ser preparadas mecanicamente ou com métodos de detonação e podem ser contínuas ou descontínuas. A última forma (por detonação e de natureza

descontínua) envolve realizar uma linha de furos com espaçamento específico e subsequente carregamento e detonação. Com a detonação destes furos, são obtidas cavidades com o perfil desejado e ao seu redor zonas de deformação plástica e solo compactado, nas quais uma estrutura perturbada ou uma descontinuidade é formada. A energia da onda é dissipada significativamente mesmo nos intervalos entre as cavidades originais, pois a propagação ocorre através de uma camada fragmentada e solta (KUZMENKO et al., 1993).

A intensidade da reflexão é determinada pela impedância acústica dos materiais envolvidos. Impedância acústica é o produto da velocidade da onda P no material e sua densidade (Scott *et al.*, 1996). Também Chiapetta et al. (1987) discutem o efeito da interface entre meios diferentes na redução da intensidade de energia sísmica, quando uma fina lacuna preenchida por ar é encontrada em uma descontinuidade, conforme representado na Figura 2.4.

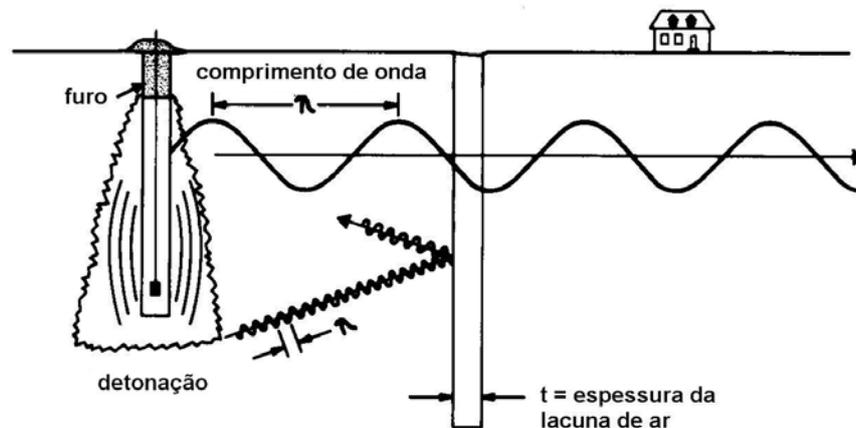


Figura 2.4 – Efeito de atenuação (exagerado) de ondas com alta e baixa frequência encontrando uma descontinuidade, no caso uma lacuna de ar (Chiapetta et al., 1987)

A quantidade de energia refletida, assumido que o segundo meio possui espessura infinita em relação ao comprimento da onda incidente é calculada pela fórmula de Rayleigh:

$$\frac{E_r}{E_i} = \frac{\left(\frac{Z_1}{Z_2} - \frac{Z_2}{Z_1}\right)^2}{\sqrt{4\cot^2 \frac{2\pi t}{\lambda} + \left(\frac{Z_1}{Z_2} - \frac{Z_2}{Z_1}\right)^2}} \quad (2.15)$$

onde:

E_r = energia refletida

E_i = energia incidente

Z_1 = impedância acústica da primeira camada

Z_2 = impedância acústica da segunda camada

t = espessura da segunda camada (ar)

λ = comprimento da onda viajando através do ar

Ainda conforme Chiapetta et al. (1987), ondas com alta frequência podem ocorrer em uma distância muito próxima ao furo, atenuadas com o aumento da distância. Mesmo em lacunas de ar com espessura na ordem de micrômetros, quando alcançadas por ondas deste tipo, é possível que seja refletida grande parte da energia incidente. A aplicação da fórmula de Rayleigh é especialmente voltada para a indústria ultra-sônica, sendo porém adaptada para trabalhos de sísmica. A fórmula indica que ondas com baixas frequências e portanto altos comprimentos de onda, podem viajar distâncias consideráveis através de qualquer meio, ao contrário à ondas de alta frequência, que são atenuadas.

Estudos sobre a efetividade de barreiras artificiais em forma de linha de cavidades, tanto em laboratório como em condições de campo, são exaustivamente analisados por Kuzmenko et al. (1993). A redução na intensidade de uma onda elástica além da barreira, depende da variação

de diâmetro das cavidades, espaçamento das cavidades na linha, distância entre a barreira e a fonte ou a estrutura à ser protegida. Em escala de laboratório (com cavidades de 6 mm de diâmetro), o coeficiente de redução na intensidade da onda variou de 1,1 à 6,5, dependendo dos parâmetros da barreira.

Kusmenko et al. (1993), em experimentos conduzidos com o diâmetro das cavidades aproximadamente igual ao comprimento de onda da fonte, o coeficiente de redução encontrado foi maior. Isto confirma o aumento da efetividade da barreira para dimensões comparáveis entre o diâmetro (ou largura) da cavidade e o comprimento da frente de onda, conforme mostrado na Figura 2.5, onde η simboliza o coeficiente de redução, da largura ou diâmetro da cavidade (d_w) e o comprimento de onda da perturbação incidente (λ_w):

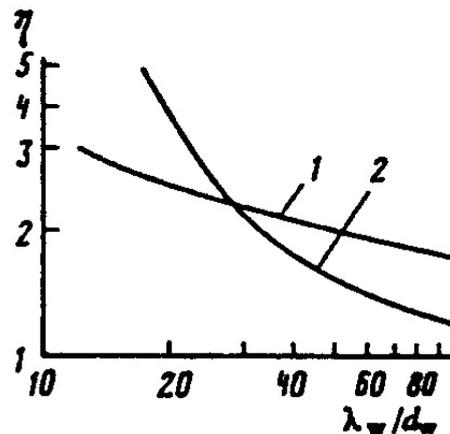


Figura 2.5 - Valores de coeficiente de redução para diferentes razões entre comprimento de onda e largura da barreira (1- cálculo teórico e 2- dado experimental) (Kusmenko et al., 1993)

Persson et al. (1994) citam trabalho conduzido por Reinhart e Dally (1970) em material fotoelástico, no qual é analisada a relação entre o fator de amortecimento (D) obtido a diferentes distâncias (R) para cavidades com diferentes profundidades (h) e comprimentos de onda emitidos pela fonte (λ). O resumo dos resultados obtidos é mostrado na Figura 2.6.

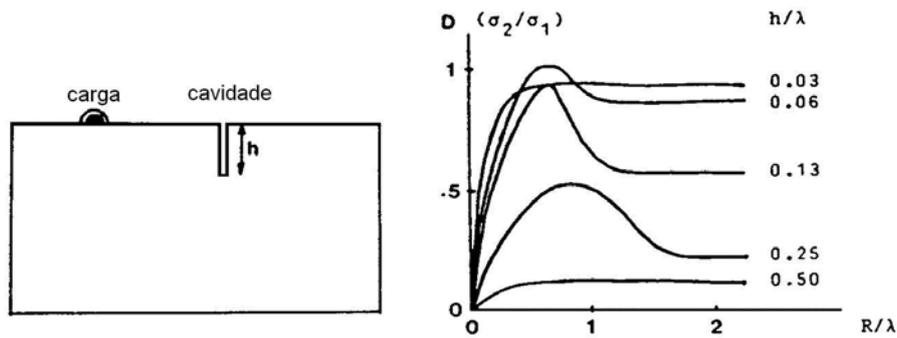


Figura 2.6 – O fator de amortecimento como uma função da distância para diferentes relações h/λ (Persson et al., 1994)

Downding (2000) relata o efeito de atenuação da velocidade de vibração em extensão de rocha previamente fraturada, monitorado em trabalhos de desmonte com explosivos realizados no porto de Duluth, Minnessota. Os dados no gráfico da Figura 2.7 representados pelo sinal “o”, referem-se aos valores de vibração gerados pela detonação de uma linha única, sem face livre. A segunda detonação foi feita em furos a uma distância de 1,2 m atrás desta primeira linha, conseguindo expandir-se de encontro à rocha fraturada na detonação anterior. A relação de atenuação é evidenciado na plotagem dos sinais “+”, que representam os valores monitorados da segunda linha detonada, cujos níveis ficam abaixo, mas essencialmente paralela às dos valores gerados pela primeira linha detonada.

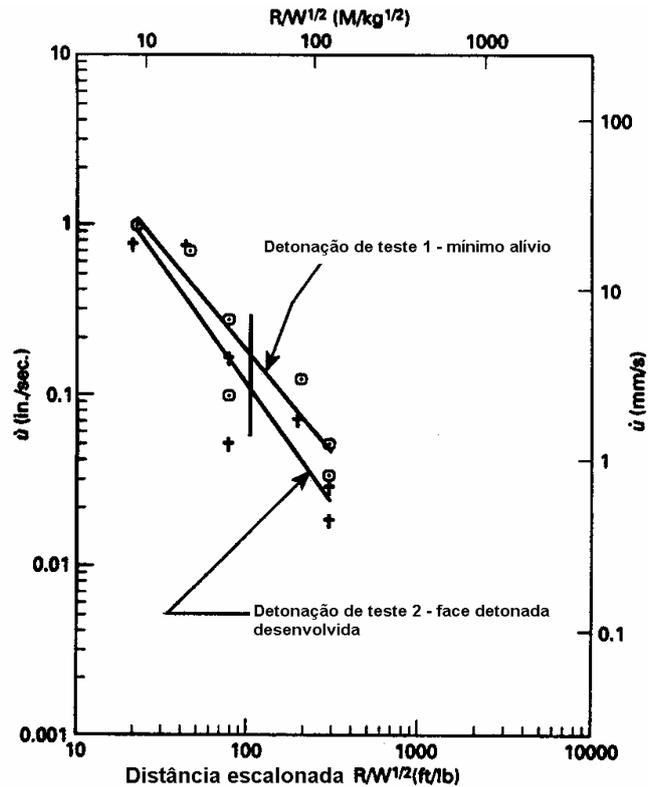


Figura 2.7 – Efeito de atenuação verificado em testes de pré-construção para situações com face livre e sem face livre prévia (Dowding, 2000).

O posicionamento ideal da barreira de amortecimento, em relação à carga detonada, também foi analisada por Kusmenko et al. (1993). Curvas caracterizando a mudança na velocidade (u_R) da onda de superfície além da barreira para três detonações, usando uma carga fixa de 14 kg de explosivo (na figura simbolizada por I), são mostradas na Figura 2.8, correspondendo o eixo das abcissas à Distância Escalar Cúbica ($r/C^{1/3}$, onde r representa a distância, expresso em metros e C a carga, expressa em kg) e o eixo das ordenadas à velocidade de vibração, expressa em cm/s. O limite da zona de deformação residual do solo, nesta detonação, corresponde a 9,5 m. A curva número 1 representa a detonação feita sem a presença da barreira. As curvas 2 e 3 correspondem à detonações da mesma carga, agora com o efeito da barreira (simbolizada por II), posicionadas a distâncias de 13 e 8 m respectivamente (em relação ao furo detonado). Pode ser verificada uma redução significativa na

velocidade de partícula na curva 3 que está posicionada além da zona de deformação, a distância de 13 m do furo detonado. Com qualquer aumento na distância entre o ponto de detonação e a barreira, mantidos os mesmos parâmetros, resulta na redução do coeficiente de amortecimento além da barreira. Isto ocorre devido ao aumento do período das vibrações com a distância e também devido às ondas refratadas.

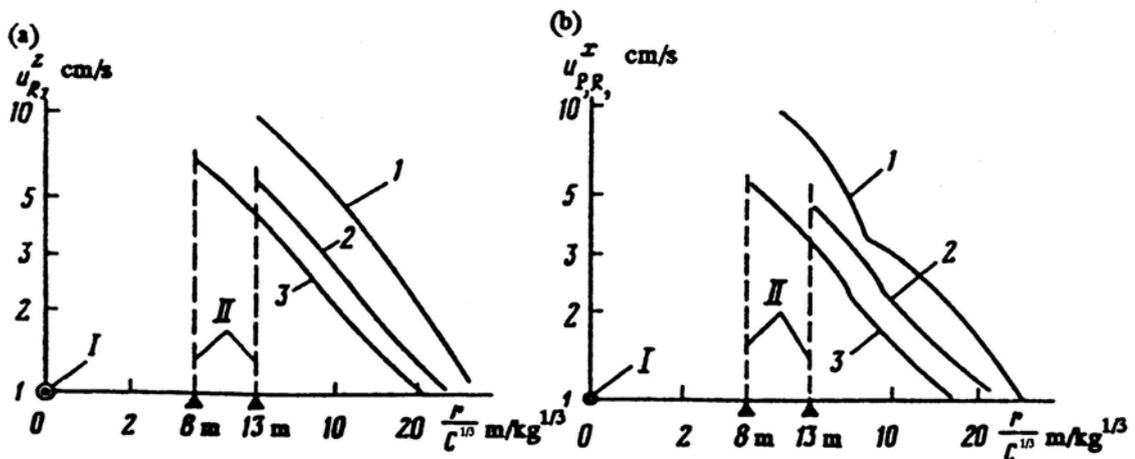


Figura 2.8 – Mudança na velocidade em diferentes distâncias além da barreira. O gráfico (a) corresponde a velocidade ao longo do eixo Z e (b) ao longo do eixo X (Kusmenko et al., 1993).

Essencialmente, os parâmetros que influenciam o coeficiente de amortecimento das ondas sísmicas são as dimensões geométricas da barreira e sua razão em relação ao comprimento da onda incidente. Neste caso, o objetivo de melhorar a efetividade da barreira é resolvido pelo aumento das dimensões geométricas, de forma a aproximar da fonte de vibração (Kusmenko et al., 1993).

Em trabalhos onde as dimensões da barreira foram reduzidas e/ou construídas afastadas da carga, a efetividade deste método não foi satisfatória. Devine et al. (1966) descrevem testes conduzidos em três locais diferentes para determinar se, e com que extensão, uma fratura vertical plana criada por *presplit* posicionada entre um ponto de detonação

e outro de detecção pode reduzir níveis de vibração. Os locais de teste são formados por dioritos, sericita-quartzo e granito. A distância entre o *presplit* (formado por furos de 63,5 mm e 76,2 mm) e as cargas variou de 4,60 à 36,58 m, com profundidade de 6,00 à 15,8 m. A espessura da fratura não é relatada no texto, mas pela análise da foto de uma destas linhas de fratura, mostrada na Figura 2.9, é possível verificar-se que não é superior ao diâmetro do furo. As análises dos dados da velocidade de partícula mostram que a introdução de *presplit* não causou uma redução significativa nos índices de vibração na área atrás do plano de fratura, ficando os valores de redução no intervalo de 0,4% 21,5%. Quando utilizadas no ajuste do gráfico pico de vibração de pico x distância, a pequena variação nos valores de velocidade de partícula é refletida na inclinação da reta de ajuste, que não muda significativamente mesmo após a criação da fratura.

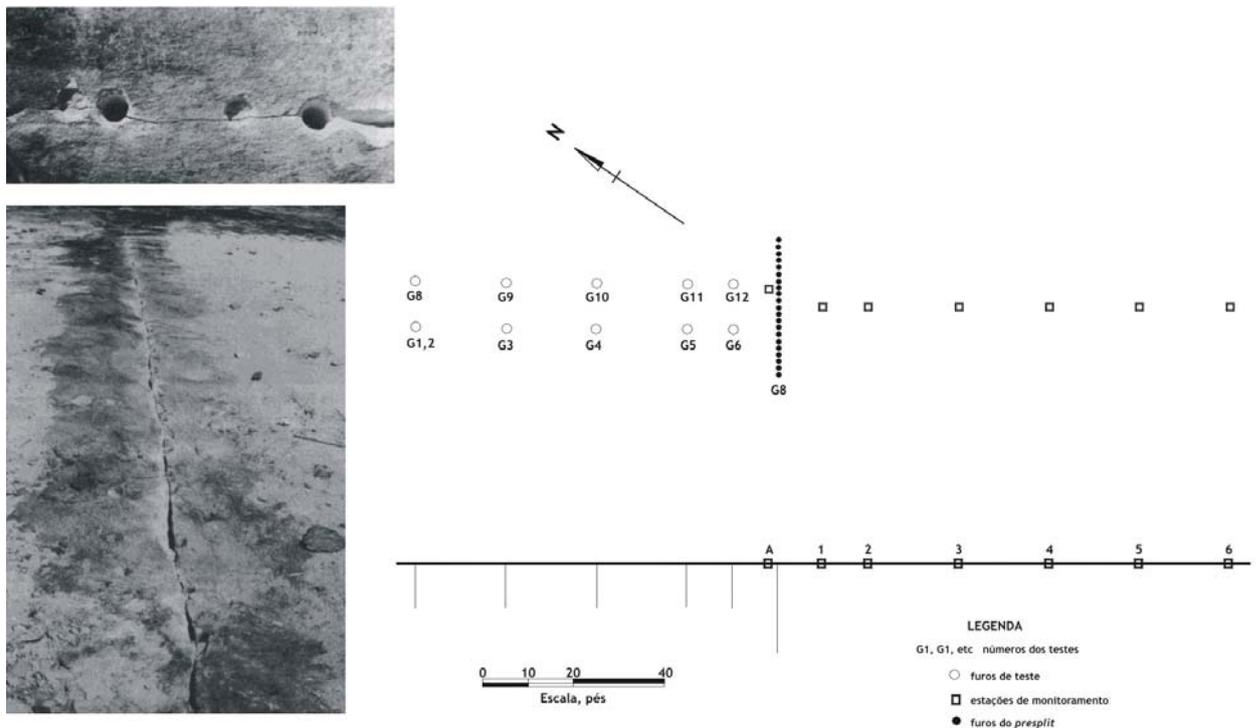


Figura 2.9 – Fratura criada por presplit e vistas em planta/perfil de área de teste (Devine et al., 1965)

2.4.4 Critérios para a utilização de barreiras de amortecimento

Conforme analisado na seção anterior, a efetividade das barreiras de amortecimento, do ponto de vista construtivo, está relacionada principalmente à parâmetros geométricos, tais como:

- distância entre a barreira e a carga,
- largura da barreira,
- altura da barreira.

Valores ótimos de redução na velocidade de vibração tendem à serem obtidos quando a largura da barreira possui dimensões comparáveis às do comprimento de onda incidente e é posicionada dentro da zona de deformação residual provocada pela detonação da carga de explosivo. Entretanto, a vinculação de parâmetros geométricos à parâmetros geológicos pode inviabilizar o método, devido a possibilidade de haver alta variabilidade neste último. No caso das barreiras de amortecimento artificiais, a baixa reprodutibilidade da frequência de vibração em furos múltiplos, citada por Crenwelge & Peterson (1986), irá consequentemente afetar a reprodutibilidade do comprimento de onda gerada, haja visto a relação existente entre estas duas grandezas, conforme demonstrado na Equação 2.4. Em escala de produção, há ainda a ação das variantes operacionais que podem causar grandes desvios devido a falhas na padronização de carregamento e ligação da malha, resultante de tanto de erros humanos como de defeitos nos acessórios de ligação ou presença de água nos furos, entre outros fatores.

Em relação ao posicionamento da barreira, a extensão da zona de deformação residual, que corresponde à porção do terreno no limite de atuação da energia do explosivo, além do qual o meio permanece inalterado, irá depender de condições específicas de cada detonação, tais como características do maciço, tipo de explosivo e razão de carga. É possível verificar-se esta diferença nos casos citados por Downing (2000) e Kusmenko et al. (1993). Enquanto que o primeiro autor relata o efeito

de amortecimento em maciço rochoso, com a barreira construída a uma distância de 1,2 m da linha de furos detonados, o segundo autor conseguiu obter a diminuição da velocidade de vibração colocando a barreira à 13 m da carga, em teste executado em uma extensão de solo.

A relação entre a altura da barreira e a redução da vibração, expressa em termos de coeficiente amortecimento é demonstrada na Figura 2.6. A maior redução é alcançada com o valor da razão h/λ igual à 0,06, combinada com a razão R/λ próxima à 1. Admitindo-se um valor fixo de λ , o valor ótimo não é alcançado necessariamente com o maior h , no caso h/λ igual à 0,5.

Conforme pode ser visto, a análise dos embasamentos teóricos disponíveis sobre este método de controle oferece apenas indicativos gerais para a definição dos parâmetros da barreira, não detalhando porém recursos que possibilitassem a sua pronta utilização em situações operacionais. Conforme Kusmenko et al. (1993), a efetividade das barreiras é determinada largamente pelas possibilidades de sua configuração, por esta razão, recomendações específicas não são possíveis de serem determinadas. Portanto, para o conhecimento da efetividade deste método na redução da vibração em situações reais de produção, é preciso incorpora-se todas as variáveis envolvidas, sejam naturais ou operacionais.

Para este objetivo, será seguida a metodologia utilizada por Devine et al. (1965) e Downding (2000), que utiliza o recurso de ajustar equações de previsão para situações com e sem a utilização de barreiras, incorporando na definição dos parâmetros construtivos os indicativos gerais fornecidos pela literatura. Estes mesmos parâmetros, agora pensados em termos de otimização operacional, devem ser capazes de satisfazer a necessidade de redução na vibração emitida e ao mesmo tempo serem similares ao restante da malha, não envolvendo na preparação da barreira nenhum procedimento ou material diferente do utilizado nos furos de produção. Em base neste conceito, é hipótese

principal que a efetividade deste método seja alcançada com a construção da barreira com os mesmos parâmetros da malha de produção usual em cada pacote de minério analisado.

A adaptação de uma metodologia já bastante consagrada e que incorpora matematicamente as variações, tanto naturais como tecnológicas do monitoramento de vibrações provocadas por desmonte com explosivos, tem por objetivo propor uma ferramenta simplificada que possa servir para a determinação do acréscimo de carga possível de ser utilizado quando da utilização de barreiras de amortecimento.

Em outros métodos, como é o caso da Equação 2.15, é possível obter-se um coeficiente de redução restrito apenas à velocidade de vibração, sendo que para a determinação da carga de explosivo, que é o principal fator tecnológico no efeito de vibração, necessário a utilização de recurso suplementar, além de serem necessários testes para a determinação das grandezas que compõe a equação, o que por vezes, dependendo da complexidade geológica, requer um extenso e detalhado trabalho de coleta e ensaio de amostras.

Neste trabalho, a área onde se realizaram os testes de efetividade do uso de barreiras de amortecimento (apresentada no capítulo 3) apresenta uma litologia composta de diversas camadas alternadas de estéril e minério, com diferentes características geotécnicas e estruturais, principal razão para a utilização de equações de previsão, que incorporam coeficientes ajustados via Distância Escalonada.

Capítulo 3

Descrição da área de estudo

No capítulo 3, é feita a descrição da área onde foram realizados os testes de campo para verificação da efetividade da aplicação das barreiras de amortecimento. Serão detalhadas a localização geográfica, geologia local e regional, bem como das características geomecânicas.

3.1 Localização geográfica

Todos os dados analisados neste trabalho foram obtidos na área do corte de lavra denominado Norte da BR, na Mina do Recreio. A mina é operada pela empresa Copelmi Mineração S.A. e produz basicamente carvão para uso energético.

O complexo da Mina do Recreio, que envolve a planta de tratamento, pátios de estocagem, escritórios e os cortes de lavra Recreio, Coréia e Norte da BR está localizado no município de Butiá-RS, que se situa a 90 km de Porto Alegre, com acesso pela rodovia BR-290, conforme mostrado na Figura 3.1.

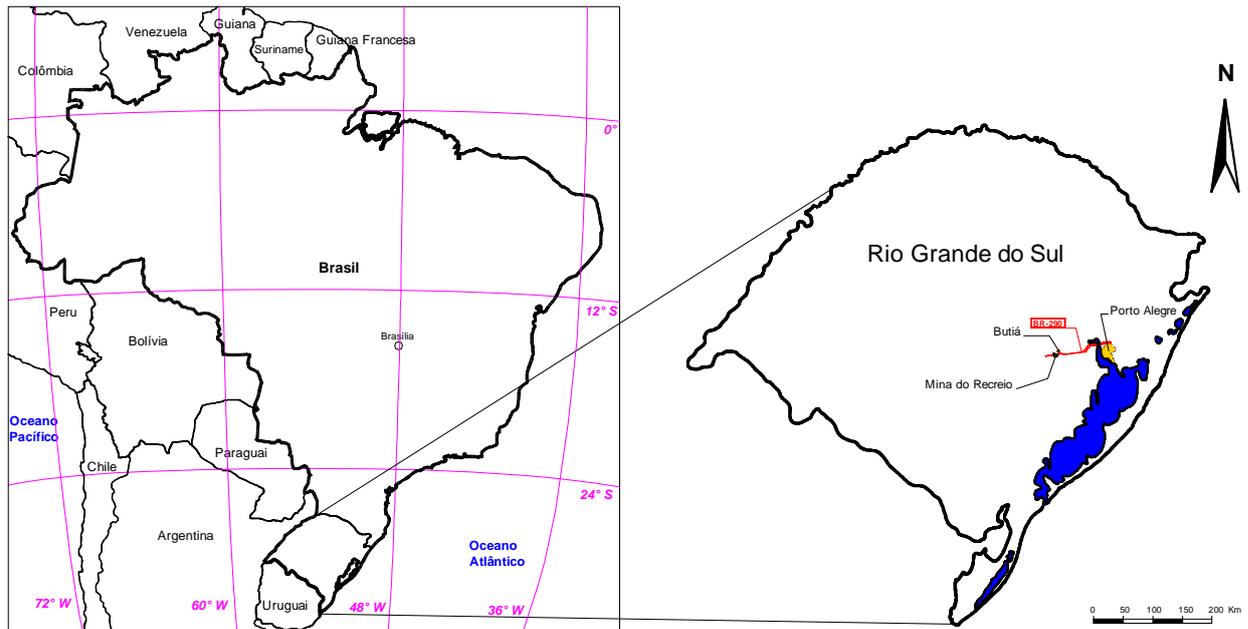


Figura 3.1 - Mapa de localização da Mina do Recreio

A lavra do carvão mineral é feita à céu aberto, pelo método de lavra *strip mining*, com utilização de escavadeiras hidráulicas e caminhões rígidos fora-de-estrada para carregamento e transporte.

3.2 Geologia local e regional

O depósito de carvão está situado na Bacia do Paraná e é composto por camadas de carvão alternadas com camadas de estéril, predominantemente lamitos e siltitos. O perfil estratigráfico típico da área onde se realizaram os testes é mostrado na Figura 3.2.

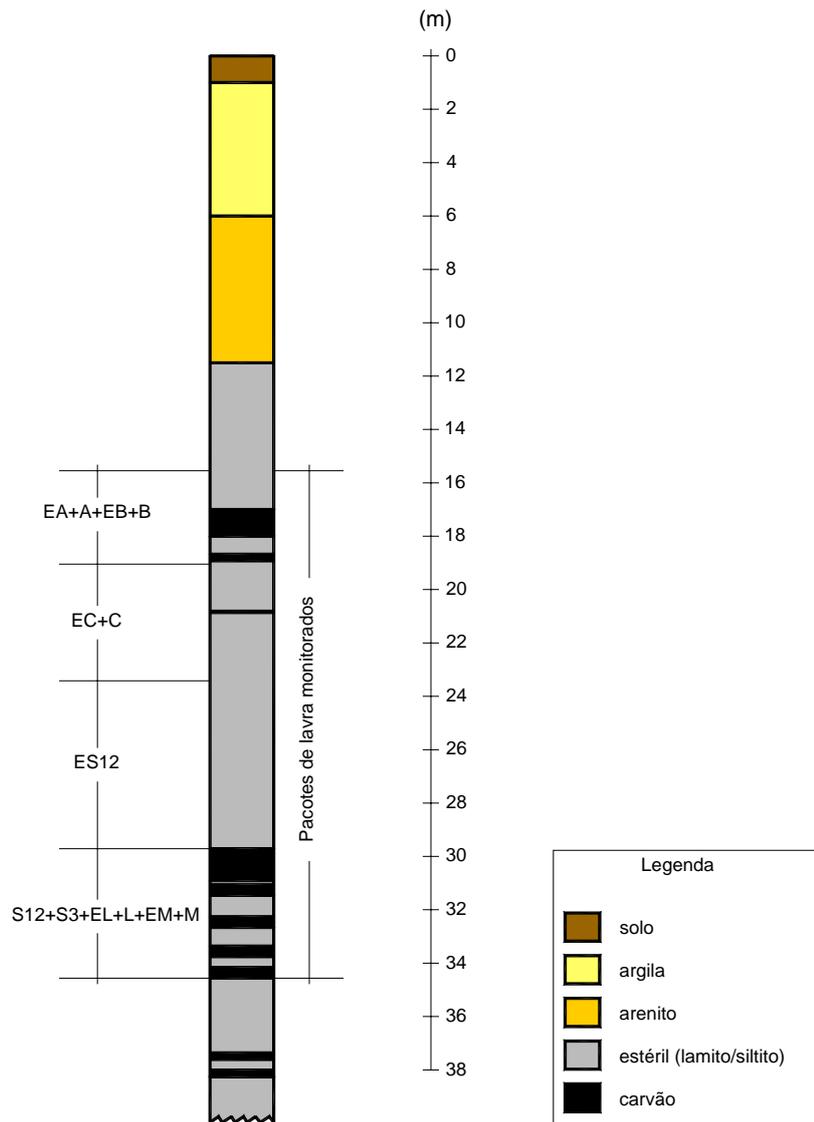


Figura 3.2 – Perfil estratigráfico típico da área de testes

Conforme Corrêa (2000), estas camadas de carvão são parte da Formação Rio Bonito (Permo-carbonífero), onde também podem ser encontrados folhelhos, arenito, calcário e paraconglomerados. Tomedi (1988), denomina essa área como Butia-Leão, a qual é dividida em blocos (sub-bacias) separados por falhas regionais, como a Falha Leão (N 40° E) e Vigia-Roque. Essas foram formadas sobre um embasamento cristalino irregular onde ambientes pantanosos puderam se desenvolver. O Bloco Butiá (a leste da falha) atinge até 90 m de estéril (overburden), enquanto o outro lado (Bloco Leão) pode alcançar 450m de profundidade. Na área

dos testes, estavam presentes sete camadas de carvão distintas, denominadas operacionalmente de A, B, C, S12, S3, L e M, as quais são desmontadas juntamente com porções de estéril em três diferentes pacotes de lavra: EA+A+EB+B, EC+C e S12+S3+EL+L+EM+M, sendo E a denominação dada as porções de estéril. Após o desmonte, é feito o carregamento seletivo das camadas de carvão.

3.3 Características geomecânicas

As características geomecânicas da Mina do Recreio foram estudadas por Corrêa (2000), em cujo trabalho são mostrados valores de RQD, Resistência a Compressão Uniaxial (σ_c), condições / espaçamento das juntas e condições da água subterrânea, utilizados no cálculo do índice RMR de algumas das camadas de carvão e estéril que compõe o maciço. Na Tabela 3.1, são apresentados os valores de RMR obtidos neste trabalho, para as camadas presentes na área de estudo.

Tabela 3.1 – Valores de RMR para as camadas de estéril e carvão presentes na área de estudo (Corrêa, 2000)

Camada	RMR total
A	62
EB	67
B	75
ES12	57
S12	70
S3	60
EL	57
L	62
EM	57
M	57

Conforme Corrêa (2000), a classificação geomecânica, com base nos valores de RMR total, é de regular a bom e a diferença de valores entre camadas deve-se a variação dos valores de RQD, espaçamento médio das fraturas e resistência baixa, sendo que as camadas com baixo RMR associam-se a valores de RQD também baixos (20 a 30 %) e a média de espaçamento entre as descontinuidades reduzida.

Nos ensaios de resistência por compressão uniaxial realizados por Corrêa (2000), os valores obtidos foram de 27,39 MPa, 26,35 MPa e 35,57 MPa, respectivamente para as camadas A, M e EI, o que evidencia ser o maciço de baixa resistência.

O conhecimento destas características geomecânicas é de extrema importância em trabalhos de desmonte com explosivos. Porém, quando o interesse está não só no controle da fragmentação e movimentação do maciço, mas também no controle dos níveis de vibração gerados, a complexidade é muito maior devido ao grande número de variáveis envolvidas direta ou indiretamente no processo. Isto implica na impossibilidade de serem utilizados modelos genéricos para a quantificação do efeito redutor dos métodos de controle conhecidos, sendo necessária a análise individualizada dos casos.

A metodologia empregada no presente trabalho para analisar a efetividade das barreiras de amortecimento e sua relação com os parâmetros construtivos e operacionais não vincula diretamente os níveis de vibração gerados às propriedades do maciço na área da Mina do Recreio, mas sim indiretamente, por meio do ajuste de coeficientes empíricos. Nesta metodologia, proposta por Duvall et al. (1962), são englobados os parâmetros do maciço em dois coeficientes, ajustados via regressão linear em função da distância escalonada *versus* velocidade de vibração máxima, metodologia esta discutida detalhadamente no Capítulo 02 deste trabalho. No próximo capítulo será detalhado o procedimento empregado para a coleta dos dados à serem utilizados no ajuste dos

coeficientes, bem como analisadas as variáveis envolvidas nos testes e verificada a hipótese principal do trabalho.

Capítulo 4

Detalhamento da montagem do experimento, das variáveis envolvidas e dos recursos utilizados

Neste capítulo, serão detalhados os procedimentos empregados na montagem do experimento, os recursos utilizados no monitoramento dos níveis de vibração e na construção das barreiras, bem como as variáveis envolvidas nos testes. Também serão analisados os dados obtidos para a verificação da hipótese principal do trabalho, de que barreiras de amortecimento construídas com os mesmos padrões da malha de produção são efetivas na redução da vibração gerada pela detonação das cargas de explosivos.

4.1 Montagem do experimento

Os furos de teste foram executados nas litologias descritas no capítulo 3, compostas por camadas alternadas de carvão e siltitos, diferenças individuais de espessura e características geomecânicas. A distribuição das detonações de teste está mostrada na Tabela 4.1. Esta distribuição reflete a realidade operacional da mina, com a lavra concentrada no pacote S12+S3+EL+L+EM+M, por ser o pacote com a maior espessura de minério e teores de cinza e enxofre mais favoráveis.

Tabela 4.1: Distribuição das detonações de teste nos pacotes de lavra

<i>Pacote</i>	<i>Número de detonações realizadas</i>	<i>Distribuição percentual no total de detonações (%)</i>
EA+A+EB+B	8	27,59
EC+C	8	27,59
S12+S3+EL+L+EM+M	13	44,82
Total	29	100,00

Para a coleta dos valores de velocidade de vibração, utilizados no ajuste da equação de previsão, foram utilizados sismógrafos Instantel® Minimate Plus®, posicionados no talude frontal às áreas de teste e com o seu eixo longitudinal orientado em direção a área detonada. Segundo Hopler (1998), o posicionamento e o sistema de acoplamento do geofone são os dois fatores mais importantes para assegurar a acuracidade do monitoramento. Quando o objetivo é medir-se os níveis de vibração em uma estrutura específica, os geofones devem ser fixados lateralmente a esta, com uma distância menor que 10 % da distância à fonte de vibração. Porém, quando o acesso à estrutura e/ou propriedade não é possível, que é o caso da situação neste experimento, o sensor pode ser posicionado próximo à detonação, no solo. A instalação dos geofones em porções de solo moles ou em gramados podem causar influência no sinal monitorado. Para evitar-se este efeito nas leituras utilizadas no ajuste das curvas comparativas, fez-se aberturas no solo, de aproximadamente 20cm de profundidade, de forma a que os geofones fossem acoplados firmemente no solo, com os três cravos de fixação originais, conforme instruções do MiniMate Plus™ *Operator Manual*. Na Figura 4.1 pode ser visualizado o sistema de posicionamento dos geofones utilizados nos testes, em relação aos furos de teste e à barreira de amortecimento.

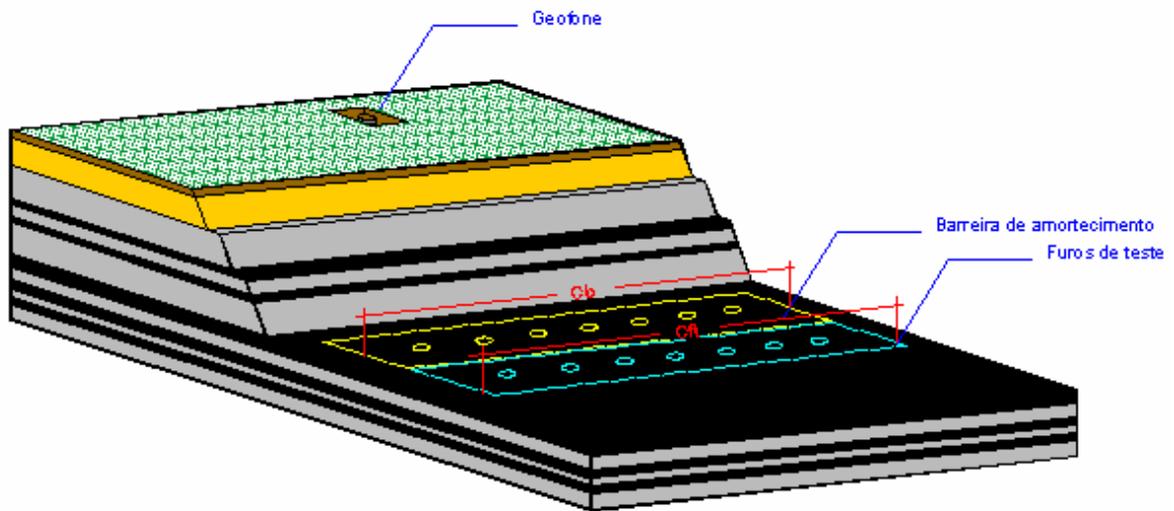


Figura 4.1 – Posicionamento dos geofones em relação aos furos de teste e à barreira de amortecimento, onde C_b : comprimento da barreira e C_{ft} : comprimento da linha de furos.

Os parâmetros dos furos da barreira, ou seja, razão de carga, espaçamento, afastamento e profundidade são os mesmos dos furos de teste. O posicionamento da linha de furos que formam a barreira de amortecimento foi mantido em todos os testes realizados, ou seja, paralelo à base do talude. A relação entre o comprimento da barreira e o comprimento das linhas de furos, grandezas representadas na Figura 4.1 por C_b e C_{ft} , apenas nos testes realizados no pacote EA+A+EB+B foram variados, sendo três testes com a relação igual a 1 e cinco testes com a relação igual a 4 ($C_b/C_{ft} = 4$). Nos outros pacotes a relação foi mantida constante em 1.

Na Figura 4.2 está mostrado uma vista em corte do posicionamento da barreira e dos furos de teste, onde se detalham as outras dimensões da montagem dos testes:.

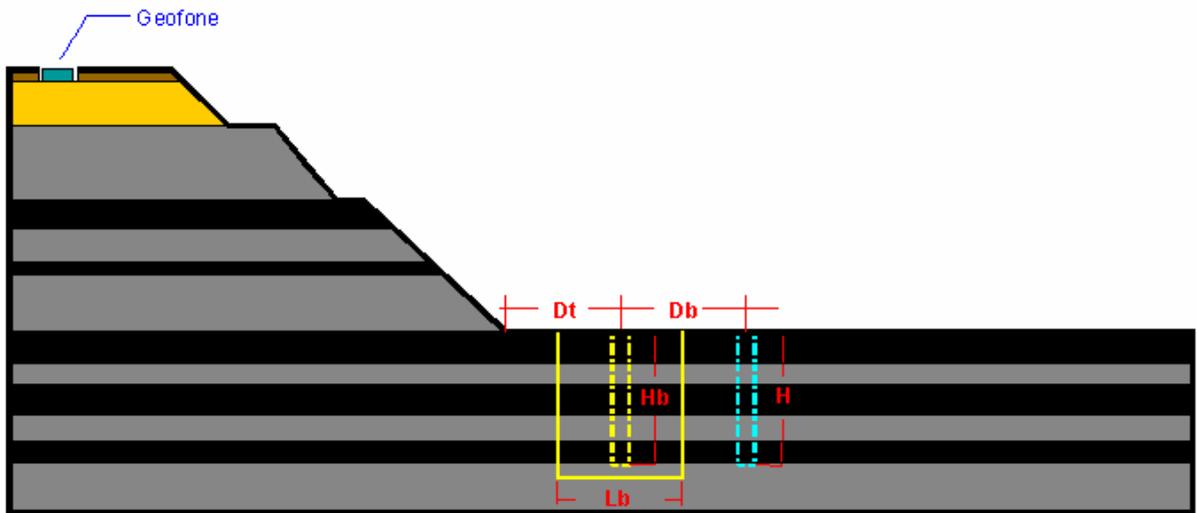


Figura 4.2 – Vista em corte do posicionamento da barreira e dos furos de teste, onde D_t : distância entre a barreira e o talude; D_b : distância entre a barreira e os furos de teste; L_b : largura da barreira; H_b : profundidade da barreira e H a profundidade dos furos.

A dimensão L_b neste trabalho será considerada proporcional ao diâmetro da Zona Menos Fraturada, conforme sistema de distribuição do grau de fraturamento proposto por Chiapetta et al. (1987), mostrado anteriormente na Figura 2.2 do Capítulo 2. Operacionalmente, esta zona corresponde ao limite da fragmentação aceitável, variável para cada pacote rochoso, em função das suas características geomecânicas. Os valores praticados na operação, e que serão utilizados neste trabalho, são resultado de testes de fragmentação informais realizados pelo setor de desmonte da empresa. As dimensões D_t e D_b correspondem à distância entre a barreira de amortecimento-talude e entre a barreira de amortecimento e a linha de teste, respectivamente. O comprimento dos furos da barreira é representados por H_b e por H o comprimento dos furos de teste.

Para a verificação da hipótese principal, os parâmetros construtivos da barreira serão os mesmos dos furos de teste, que por sua vez possuem

as mesmas dimensões dos furos de produção. Portanto, as relações fixas em todos os testes serão as seguintes:

- $D_t = D_b$
- $H_b = H_f$

As dimensões dos parâmetros construtivos da barreira e dos furos de teste utilizadas neste trabalho estão listadas na Tabela 4.2:

Tabela 4.2. Dimensões dos parâmetros construtivos utilizados nos testes

pacote	EA+A+EB+B		EC+C	S12+S3+EL+L+EM+M
teste	DET01, AB0301 e AB0701	DET03_1, DET03_2, DET03_4 e DET03_5	DET06-1, DET06_2, DET06_4, EC0701, EC0801, EC0901 e EC1101	DET07_1, DET07_2, DET07_3, DET07_4, S121812, S121301, S122801, S120401, S121101, S123012, S123112, S120901 e S120402
Cb/Cft	1	4	1	1
Dt (m)	3,0	3,0	5,0	3,5
Db (m)	3,0	3,0	5,0	3,5
Lb (m)	3,0	3,0	5,0	3,5
Hb (m)	3,5	3,5	4,5	5,5
Hf (m)	3,5	3,5	4,5	5,5

O seqüenciamento do monitoramento dos valores de vibração para o ajuste da equação de propagação consistiu em inicialmente detonar-se a linha de furos da barreira e posteriormente os furos de teste. Na Figura 4.3 está representado graficamente as etapas da montagem dos testes e a iteração entre os furos da barreira de amortecimento e os furos de teste, representada em função das Zonas de Fragmentação:

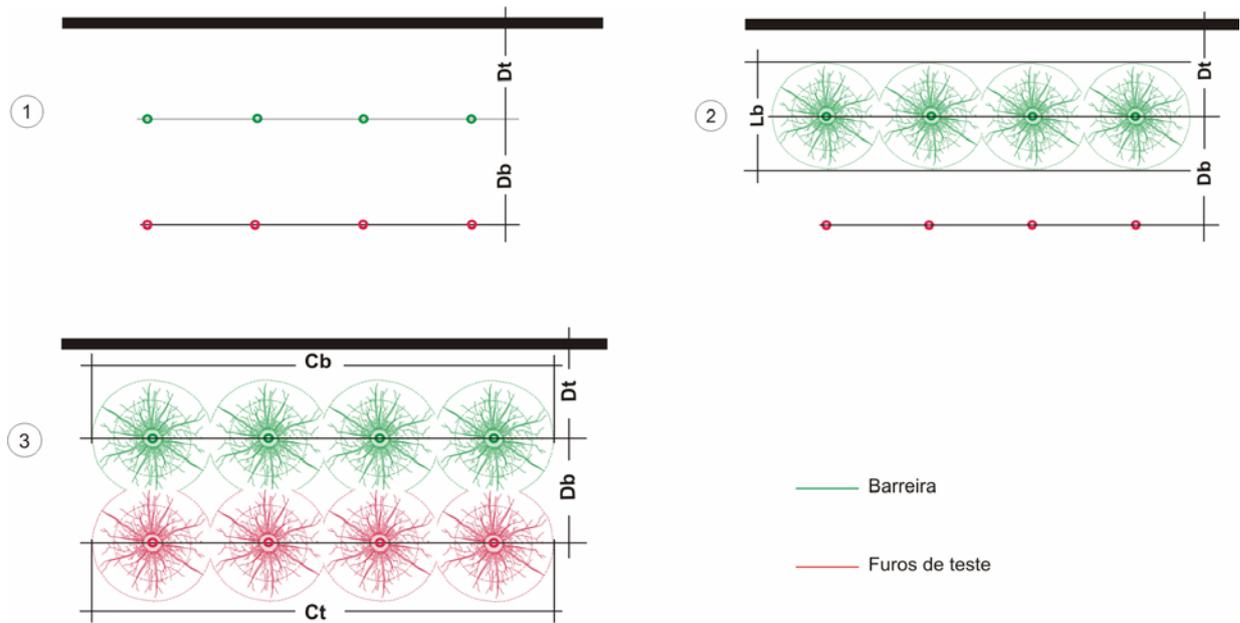


Figura 4.3 – Etapas dos testes e iteração entre barreira e furos de teste (adaptado de Chiapetta et al. (1987)), onde Cb: comprimento da barreira; Ct: comprimento da linha de furos de teste; Dt: distância entre a barreira e o talude; Db: distância entre a barreira e os furos de teste e Lb: largura da barreira.

Os furos da barreira e os furos de teste, ambos com diâmetro de 76,20 mm, foram carregados com os mesmos tipos de explosivos utilizados nos furos de produção: ANWO (Ammonium Nitrate Wasted Oil) à granel como carga de coluna e emulsão comercial encartuchada como primer. Também manteve-se o comprimento do tampão (2 m) em todos os furos pacote. Os tempos dos retardos pirotécnicos utilizados entre os furos foram de 30 ms e entre linhas, retardos de 350 ms. As principais características dos explosivos utilizados estão mostradas na Tabela 4.3:

Tabela 4.3. Principais características dos explosivos utilizados

Produto	Diâmetro (mm)	Densidade (kg/m³)	Carga linear (kg/m)	VOD (m/s)
Emulsão encartuchada	63,5 (cartucho)	1170	3,45	3.400*
ANWO à granel	76,2 (furo)	870	3,97	3.135**

*Fonte: IBQ Indústrias Químicas

**Fonte: Munaretti et al. (2002)

Os valores da carga máxima por tempo de retardo e distância de monitoramento, necessários para a determinação da distância escalonada (grandeza componente da equação de previsão à ser ajustada para cada material detonado) estão detalhados na Tabela 4.4:

Tabela 4.4. Valores das cargas máximas, distâncias de monitoramento e distâncias escalonadas dos testes realizados

<i>Pacote</i>	<i>Teste</i>	<i>Carga máxima (kg)</i>		<i>Distância de monitoramento (m)</i>		<i>Distância Escalonada (kg/m^{1/2})</i>	
		<i>Sem barreira</i>	<i>Com barreira</i>	<i>Sem barreira</i>	<i>Com barreira</i>	<i>Sem barreira</i>	<i>Com barreira</i>
EA+A+EB+B	DET01	5,20	5,20	62,00	65,00	27,18	28,71
	DET03_1	5,20	5,20	86,10	86,10	37,75	37,75
	DET03_2	5,20	5,20	102,00	102,00	44,73	44,73
	DET03_3	5,20	5,20	116,00	116,00	50,87	50,87
	DET03_4	5,20	5,20	129,00	129,00	56,57	56,57
	DET03_5	5,20	5,20	143,00	143,00	62,71	62,71
	AB0301	2,27	6,80	197,00	200,00	130,75	76,69
	AB0701	2,27	7,00	256,00	255,00	169,91	96,31
EC+C	DET06_1	31,00	31,00	114,00	114,00	20,48	20,48
	DET06_2	31,00	31,00	120,00	120,00	21,55	21,55
	DET06_3	31,00	31,00	132,00	132,00	23,71	23,71
	DET06_4	31,00	31,00	146,00	146,00	26,22	26,22
	EC0701	1,60	8,00	264,00	268,00	208,71	94,75
	EC0801	8,00	16,80	207,00	211,00	73,19	51,48
	EC0901	6,28	11,52	259,00	262,00	103,35	77,26
	EC1101	11,50	11,50	196,00	199,00	57,79	60,00
S12+S3+EL+L+EM+M	S121812	3,14	11,50	247,00	249,00	139,39	73,42
	S121301	3,58	21,50	194,00	197,00	102,53	42,49
	S122801	3,58	10,10	138,00	143,00	72,94	45,00
	S120401	3,58	21,50	134,00	139,00	70,82	29,98
	S121101	11,00	11,00	229,00	232,00	69,04	69,95
	S123012	3,58	21,50	130,00	133,00	68,71	28,68
	S123112	3,58	21,50	126,00	130,00	66,59	28,04
	S120901	11,00	21,50	213,00	216,00	64,22	46,58
	S120402	10,60	34,50	191,00	194,00	58,67	33,03
	DET07_1	49,90	49,90	119,00	119,00	16,85	16,85
	DET07_2	49,90	49,90	99,50	99,50	14,09	14,09
	DET07_3	49,90	49,90	71,80	71,80	10,16	10,16
	DET07_4	49,90	49,90	66,50	66,50	9,41	9,41

4.2 Resultados obtidos

Os valores de PPV- *Peak Particle Velocity* (Velocidade de Pico da Partícula), nas direções transversal, vertical e longitudinal, monitorados independentemente para furos de teste com e sem a presença das barreiras de amortecimento, são apresentados na Tabela 4.5, bem como o efeito sobre a PPV, em termos percentuais, do uso da barreira. O maior valor das três direções é utilizado para o ajuste da equação de previsão (metodologia discutida no Capítulo 2), para as duas situações (com e sem barreira).

Dos testes realizados, uma comparação direta entre os valores máximos para investigação do efeito redutor só será possível naquelas situações em que não foi variada a Distância Escalonada, isto é, manteve-se a mesma distância entre o ponto de monitoramento e a área detonada e a carga máxima por tempo de retardo para os furos detonados com e sem a presença da barreira. Neste trabalho esta análise será feita através do cálculo do coeficiente de redução da vibração, metodologia esta proposta por Kusmenko et al.(1993), utilizando como valores de referência a Soma Vetorial das velocidades pico, calculadas conforme recomendações da NBR 9653. A análise da efetividade para uma situação geral, assimilando diferentes Distâncias Escalonadas, só é possível através do ajuste de equações de previsão independentemente.

Tabela 4.5. Velocidades de pico com e sem a presença de barreira

Teste	Direção transversal			Direção vertical			Direção longitudinal		
	Sem barreira (mm/s)	Com barreira (mm/s)	Efeito (%)	Sem barreira (mm/s)	Com barreira (mm/s)	Efeito (%)	Sem barreira (mm/s)	Com barreira (mm/s)	Efeito (%)
DET01	7,24	6,73	-7,04	19,00	11,60	-38,95	21,8	15,9	-27,06
DET03_1	3,56	2,54	-28,65	11,40	6,98	-38,78	10,2	6,48	-36,47
DET03_2	2,67	1,78	-33,33	22,40	6,10	-72,77	6,98	4,32	-38,11
DET03_3	1,78	1,65	-7,30	18,40	2,79	-84,84	5,46	3,17	-41,94
DET03_4	2,67	1,52	-43,07	7,75	0,89	-88,52	3,68	2,29	-37,77

Continuação da Tabela 4.5.

Teste	Direção transversal			Direção vertical			Direção longitudinal		
	Sem barreira (mm/s)	Com barreira (mm/s)	Efeito (%)	Sem barreira (mm/s)	Com barreira (mm/s)	Efeito (%)	Sem barreira (mm/s)	Com barreira (mm/s)	Efeito (%)
DET03_5	1,27	<1,00	-63,00	2,41	<1,00	-66,8	2,03	<1,00	-60,59
AB0301	1,52	3,30	117,11	1,27	2,16	70,08	2,54	2,54	0
AB0701	3,17	2,29	-27,76	2,03	2,29	12,81	3,17	3,68	16,09
DET06_1	8,51	3,94	-53,70	7,87	2,92	-62,90	24,1	12,80	-46,89
DET06_2	7,24	2,67	-63,12	8,64	3,30	-61,81	23,1	14,10	-38,96
DET06_3	8,64	2,92	-66,20	8,64	3,43	-60,30	25,00	6,10	-75,60
DET06_4	5,21	4,06	-22,07	12,1	5,33	-55,95	17,70	10,50	-40,68
EC0701	1,65	1,90	15,15	1,52	1,52	0	1,65	2,16	30,91
EC0801	3,68	4,32	17,39	1,90	3,43	80,52	2,41	4,06	68,46
EC0901	1,78	2,92	64,04	1,52	2,54	67,1	1,52	3,05	100,66
EC1101	5,84	4,32	-26,02	3,43	3,94	14,87	5,21	4,95	-4,99
S121812	3,81	6,10	60,10	2,67	3,81	42,70	2,92	3,17	8,56
S121301	1,27	1,90	49,60	0,89	1,27	42,70	0,89	2,03	128,09
S122801	2,67	4,95	85,39	2,29	5,97	160,70	2,29	5,46	138,43
S120401	3,56	5,59	57,02	3,94	4,19	6,35	2,41	4,57	89,63
S121101	2,54	1,65	-35,04	2,29	1,02	-55,46	2,03	1,52	25,12
S123012	1,52	7,37	384,87	3,17	4,06	28,08	2,41	5,21	116,18
S123112	2,16	6,10	182,41	2,29	4,19	82,97	2,54	4,06	59,84
S120901	<1,00	1,65	106,25	<1,00	1,65	106,25	<1,00	2,16	170,00
S120402	3,30	3,43	3,93	3,43	2,54	-25,95	2,03	3,68	81,28
DET07_1	7,24	3,43	-52,62	5,33	4,57	-14,26	15,90	7,49	-52,89
DET07_2	6,48	3,17	-51,08	6,60	3,94	-40,30	18,00	9,14	-49,22
DET07_3	13,00	4,57	-64,84	9,40	5,46	-41,92	25,50	11,00	-56,86
DET07_4	13,20	7,11	-46,13	11,60	6,73	-41,98	29,30	14,5	-50,51

Para o ajuste das equações de previsão, os valores de distância escalonada e maior velocidade de pico foram inseridos no *software* BlastWare® Series III 4.02, fornecido pela InstanTEL juntamente com o sismógrafo, utilizado também para a interpretação dos sinais monitorados, em forma de boletim, através do módulo *Event Manager*. No mesmo *software*, o módulo *Scaled Distance* é utilizado para obter-se o gráfico log da distância escalonada *versus* log da velocidade de pico máxima das três direções, com o qual é feito o ajuste da equação de previsão por meio de

regressão linear. Juntamente com os fatores k e m ajustados, são fornecidos os parâmetros estatísticos do ajuste (coeficiente de determinação, desvio padrão e confiança estatística).

O resumo dos dados que foram inseridos no *software* BlastWare® Series III 4.02 estão mostrados na Tabela 4.6, onde para cada teste válido também é mostrado o nome do arquivo de registro gerado pelo *software*, o qual contém o boletim do evento. Em anexo à este trabalho são mostrados todos os boletins dos testes válidos utilizados no ajuste das equações de previsão.

Tabela 4.6. Dados utilizados no ajuste das equações de previsão:

Teste	Sem barreira			Com barreira		
	Nome do arquivo	PPV (mm/s)	Distância Escalonada (kg/m^{1/2})	Nome do arquivo	PPV (mm/s)	Distância Escalonada (kg/m^{1/2})
DET01	H8139A6P.SF0	21,80	27,18	H8139A6P.VW0	15,90	28,50
DET03_1	H8129ANB.OL0	11,40	37,75	H8129ANK.G70	6,98	37,75
DET03_2	H8129ANB.LK0	22,40	44,73	H8129ANJ.EK0	6,10	44,73
DET03_3	H8129ANB.IE0	18,40	50,87	H8129ANH.IM0	3,17	50,87
DET03_4	H8129ANB.FF0	7,75	56,57	H8129ANG.I60	2,29	56,57
DET03_5	H8129ANB.C10	2,41	62,71	Sem registro: PPV abaixo do nível do trigger*		
AB0301	H8139EB3.AN0	2,54	130,75	H8139EB3.BT0	3,30	76,69
AB0701	H8139EII.VS0	3,17	169,91	H8139EII.X20	3,68	96,38
DET06_1	H8139CFV.VR0	24,10	20,48	H8139CFW.7K0	12,80	20,48
DET06_2	H8139CG1.HG0	23,10	21,55	H8139CG1.NK0	14,10	21,55
DET06_3	H8139CG1.SU0	25,00	23,71	H8139CGC.ED0	6,10	23,71
DET06_4	H8139CHP.740	17,70	26,22	H8139CHP.740	10,50	26,22
EC0701	H8139EII.YG0	1,65	208,71	H8139EII.ZP0	2,16	94,75
EC0801	H8139EKC.YB0	3,68	73,19	H8139EKC.Z50	4,32	51,48
EC0901	H8139EM8.6W0	1,78	103,35	H8139EM8.7Y0	3,05	77,26
EC1101	H8139EPX.RT0	5,84	57,79	H8139EPX.TO0	4,95	60,00
S121812	H8139DHH.LL0	3,81	139,39	H8139DDS.2H0	6,10	73,42
S121301	H8139ETM.IC0	1,27	102,53	H8139ETM.JG0	2,03	42,49

Continuação da Tabela 4.6.

Teste	Sem barreira			Com barreira		
	Nome do arquivo	PPV (mm/s)	Distância Escalonada ($\text{kg/m}^{1/2}$)	Nome do arquivo	PPV (mm/s)	Distância Escalonada ($\text{kg/m}^{1/2}$)
S122801	H8139FL5.3R0	2,67	72,94	H8139FL5.550	5,97	45,00
S120401	H8139ECX.RX0	3,94	70,82	H8139ECX.TT0	5,59	29,98
S121101	H8139EPY.OE0	2,54	69,04	H8139EPY.660	1,65	69,95
S123012	H8139E3P.TK0	3,17	68,71	H8139E3P.UI0	7,37	28,68
S123112	H8139E5A.UC0	2,54	66,59	H8139E5A.Z20	6,10	28,04
S120901	Sem registro: PPV abaixo do nível do trigger*			H8139EM8.5I0	2,16	46,58
S120402	H8139FYD.ET0	3,43	58,67	H8139DDS.2H0	6,10	33,03
DET07_1	H8139GMI.S50	15,90	16,85	H8129GMI.MG0	7,49	16,85
DET07_2	H8139GMI.ZU0	18,00	14,09	H8129GMI.UR0	9,14	14,09
DET07_3	H8139GMJ.990	25,50	10,16	H8129GMJ.3A0	11,00	10,16
DET07_4	H8139GMJ.GG0	29,30	9,41	H8129GMJ.AG0	14,50	9,41

* nível mínimo de vibração para o início automático da gravação do sinal utilizado: 1 mm/s

Os gráficos de ajuste para os três pacotes de lavra analisados neste trabalho, gerados no módulo *Scaled Distance* do software BlastWare® Series III 4.02 e alimentado com os dados da Tabela 4.6, estão mostrados na Figura 4.4, 4.5 e 4.6:

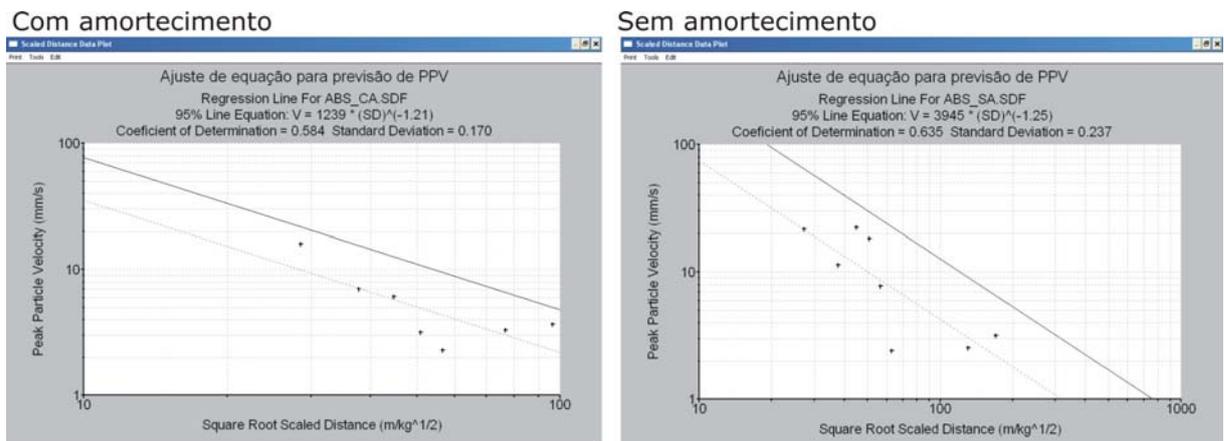
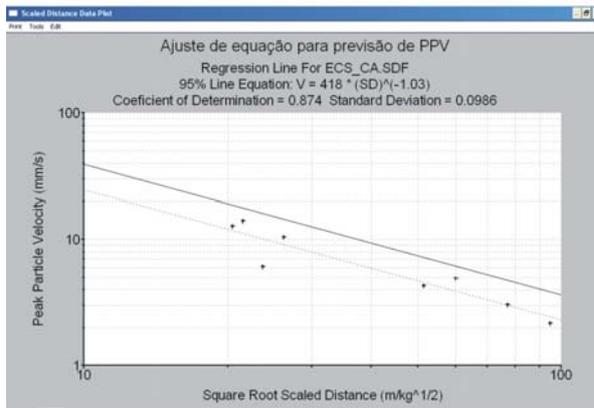


Figura 4.4 – Gráficos de ajuste do pacote de lavra EA+A+EB+B

Com amortecimento



Sem amortecimento

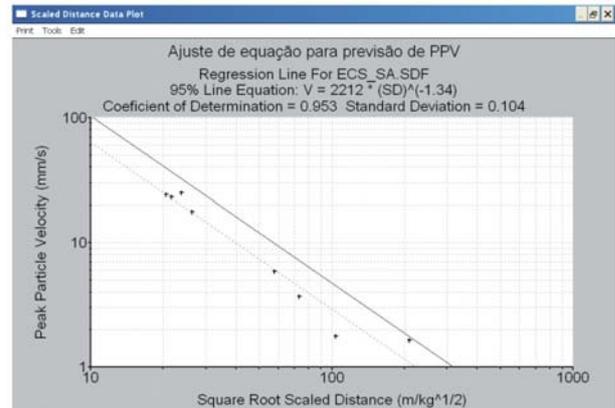
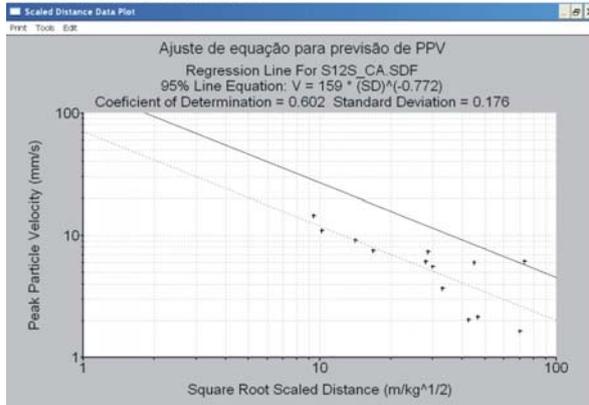


Figura 4.5 – Gráficos de ajuste do pacote de lavra EC+C

Com amortecimento



Sem amortecimento

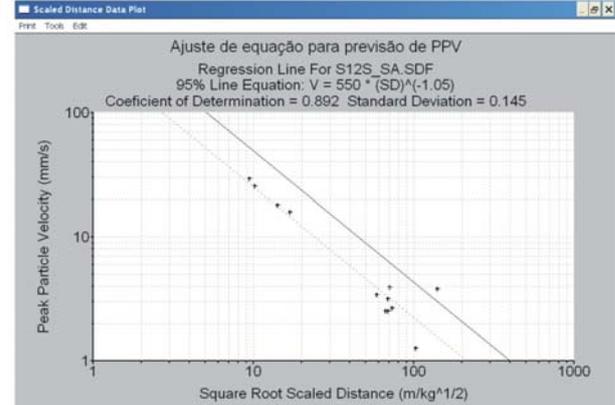


Figura 4.6 – Gráficos de ajuste do pacote de lavra de S12+S3+EL+L+EM+M.

Concluídos os monitoramentos em escala de teste e confirmado o efeito redutor, a próxima etapa, mostrada no Capítulo 5, será a análise dos resultados e o monitoramento em escala de produção, de forma a verificar se a efetividade obtida se mantém, apesar das variáveis operacionais.

Capítulo 5

Análise dos resultados

Neste capítulo serão analisados os resultados obtidos em escala de testes, sendo utilizados dois critérios de comparação distintos. O primeiro critério será o cálculo do coeficiente de redução na soma vetorial das velocidades de vibração, alcançado pelo uso da barreira. O segundo critério utilizado será a comparação dos coeficientes de ajuste das equações de previsão para as situações com e sem barreira de amortecimento. Também será feita a análise do monitoramento de valores de vibração em escala de produção com o emprego de barreiras de amortecimento.

5.1 Coeficiente de redução na soma vetorial das velocidades

A efetividade da barreira de amortecimento pode ser analisada em função do coeficiente de redução da vibração gerada. Kusmenko et al.(1993) propõe a utilização da seguinte relação:

$$\eta = \frac{V_3}{V_1} \quad (5.1)$$

onde:

η : coeficiente de redução

V_3 : velocidade de vibração com uso de barreira (mm/s)

V_1 : velocidade de vibração sem uso de barreira (mm/s)

Neste trabalho, serão consideradas como velocidade de vibração V_3 e V_1 a soma vetorial das velocidades de pico das três direções, independente do instante de tempo (forma de cálculo recomendada pela NBR 9653), para as situações com barreira e sem barreira, respectivamente. Para isto, foram utilizadas apenas valores de testes onde se manteve a mesma distância escalonada para as duas situações, de forma a eliminar-se o efeito da carga e da distância. Na Tabela 5.1, estão mostrados os valores de distância escalonada e somas vetoriais para as duas situações, acompanhado do respectivo valor de η , calculado conforme a Equação 4.1:

Tabela 5.1. Coeficientes de redução para os testes com mesma distância escalonada nas situações com e sem presença da barreira.

Teste	Distância escalonada (Kg/m ^{1/2})	Soma vetorial sem barreira (mm/s)	Soma vetorial com barreira (mm/s)	η
DET03_1	37,75	15,71	9,86	0,63
DET03_2	44,60	23,61	7,68	0,33
DET03_3	51,07	19,28	4,53	0,24
DET03_4	56,69	8,99	2,89	0,32
DET06_1	20,51	26,74	13,71	0,51
DET06_2	21,53	25,70	14,73	0,57
DET06_3	23,80	27,83	7,58	0,27
DET06_4	26,29	22,06	12,46	0,56
DET07_1	15,90	18,27	9,42	0,52
DET07_2	18,00	20,24	10,45	0,52
DET07_3	25,50	30,13	13,10	0,43
DET07_4	29,30	34,17	17,50	0,51
			Média aritmética	0,45
			Desvio padrão	0,12
			Coeficiente de variação	0,27

Na Figura 5.1, é mostrado o histograma dos valores de η obtidos:

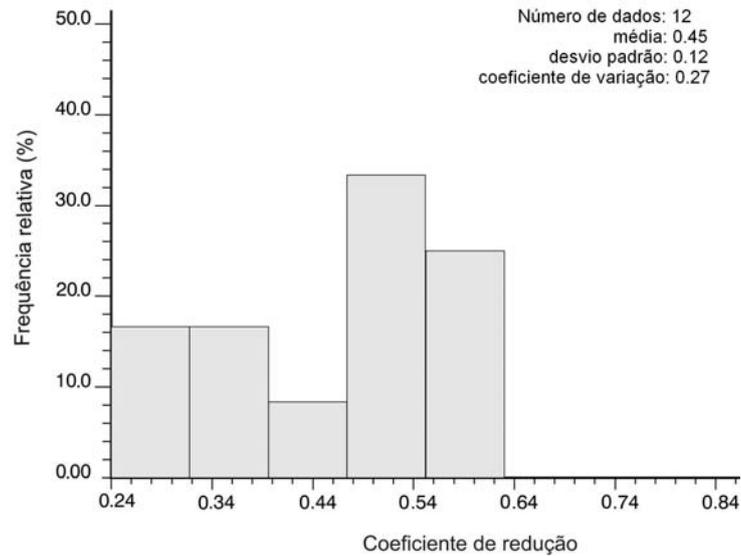


Figura 5.1 – Histograma dos coeficientes de redução na soma vetorial das velocidades de pico

5.2 Mudança nos fatores das equações de previsão

Os fatores k , m e os parâmetros estatísticos do ajuste das equações de previsão (Distância Escalonada *versus* PPV) para um intervalo de confiança de 95%, apresentaram diferenças para as situações com e sem barreira de amortecimento nos três pacotes analisado. Na Tabela 5.2 estão reunidos estes valores.

Tabela 5.2. Parâmetros estatísticos e fatores das equações de previsão

Pacote	Coeficiente de correlação entre os dados ajustados		Desvio padrão		k		m	
	Sem barreira	Com barreira	Sem barreira	Com barreira	Sem barreira	Com barreira	Sem barreira	Com barreira
EA+A+ EB+B	0,635	0,584	0,237	0,170	3945	1239	-1,25	-1,21
EC+C	0,953	0,874	0,104	0,099	2212	418	-1,34	-1,03
S12+S3 +EL+L+ EM+M	0,892	0,602	0,145	0,176	550	159	-1,05	-0,77

Os parâmetros estatísticos obtidos refletem a esperada variabilidade dos dados neste tipo de experimento. As causas da variabilidade foram discutidas no Capítulo 2. De uma comparação apenas quantitativa, verifica-se que nos furos detonados sem a presença da barreira a variabilidade entre os valores monitorados foi menor, resultando daí uma melhor correlação no ajuste.

O fator k nos furos de teste detonados com a presença da barreira foram inferiores em todos os três pacotes, evidenciando o efeito redutor da barreira. Este coeficiente empírico age como um fator modificador da vibração gerada e é característico do local de detonação. Da mesma forma que o fator k , os valores do expoente m também apresentaram diferença para as duas situações, principalmente nos pacotes EC+C e S12+S3+EL+L+EM+M, resultando, ao contrário do esperado, em valores menores nos gráficos ajustados para as linhas de furos de testes com amortecimento, ou seja, seu índice de decaimento na propagação da vibração foi inferior à situação sem a presença de barreira.

A interpretação das diferenças quantitativas entre os fatores implica em aprofundar-se na análise de todas as variáveis controláveis e não controláveis que compõe o cenário dos testes, que não é o objetivo deste trabalho. Entretanto, a literatura oferece alguns indicativos das implicações entre os valores obtidos e a ação da barreira.

Comeau (1977) conduz um trabalho de investigação do efeito de vários parâmetros do desmonte nos fatores da equação de previsão em várias condições geológicas, que vão desde rochas graníticas até rochas sedimentares e conclui que estes coeficientes são mais uma função do grau de confinamento do explosivo do que das propriedades de transmissão do meio. Konya (1995) relaciona o confinamento com o *burden* da malha, isto é, com a distância entre a linha de furos e a face livre, onde, pensado em termos de otimização para desmonte em bancadas, se o *burden* é excessivo haverá excesso de confinamento,

resultando em altos níveis de vibração por quilograma de explosivo utilizado.

Considerando-se as conclusões de Comeau (1977) e Konya (1995) discutidas no parágrafo anterior, pode-se afirmar que a porção de terreno fragmentada pela barreira constitui uma face livre artificial, sobre a qual a linha de furos de teste detonada irá mover-se, desta forma reduzindo o confinamento e, conseqüentemente, os níveis de vibração. Esta hipótese é confirmada quando comparamos a diferenças percentuais entre os fatores k para as situações com e sem barreira para os três pacotes, nos quais a largura e profundidade da barreira são diferentes, sendo a redução mais evidente na barreira de maior dimensão, conforme mostrado na Tabela 5.3:

Tabela 5.3. Comparativo da redução percentual no fator k frente á largura e profundidade da barreira

Pacote	Largura da barreira (m)	Profundidade da barreira (m)	Redução (%)
EA+A+EB+B	6,00	3,50	68,59
EC+C	10,00	4,50	81,17
S12+S3+EL+L+EM+M	7,00	5,50	71,09

Por outro lado, para o detalhamento das diferenças entre os fatores m com e sem barreira, a literatura consultada não ofereceu indicativos claros, como os obtidos para o coeficiente k . Segundo Kusmenko et al. (1993), este fator (m) corresponde ao nível de amortecimento do terreno e, apenas em alguns casos, a relação entre os fatores empíricos que compõem a equação de ajuste conseguem descrever de modo direto o cenário completo da influência dos parâmetros de detonação nos efeitos sísmicos provocados. Alguns valores são característicos da carga de explosivo, da iniciação e das propriedades da rocha. Entretanto, em muitas situações, os valores obtidos podem desviar-se bastante de

valores esperados. Isto é causado pelas inevitáveis e incontrolláveis variações dos parâmetros de detonação.

A equação de previsão da velocidade de pico serve para a determinação, em função de limites de velocidade pré-estabelecidos, oriundos de legislação ou de parâmetros estruturais de construções ou taludes, a carga máxima instantânea ou a distância de detonação. Conforme discutido anteriormente, nas equações de previsão ajustadas com a presença de barreira os fatores k e m apresentaram valores distintos dos das equações ajustadas sem a barreira, resultando em valores de velocidade de pico menores para mesmas distâncias escalonadas.

Para se analisar de forma prática a implicação do efeito redutor da barreira, serão calculados os valores de carga máxima por retardo utilizando as duas equações ajustadas, considerando como referência de PPV para diferentes distâncias de monitoramento o limite determinado pela NBR- 9653, a qual especifica que a soma vetorial das velocidades de pico nas três direções não deve ser superior a 15 mm/s. Como a equação de previsão faz referência à velocidade de pico máxima das três direções e não à soma vetorial, para o emprego deste referencial será necessário o cálculo do valor de cada componente, de forma que a soma vetorial atinja o valor limite de 15 mm/s. Admitindo-se que o valor máximo a ser alcançado por cada componente seja idêntico, para a obtenção de uma soma vetorial igual a 15 mm/s o valor dos componentes será de 8,67 mm/s. Na Figura 5.2 é possível visualizar-se o efeito do acréscimo na carga máxima previstas via equação ajustada com a presença de barreira para as três camadas de lavra na área em estudo, para distâncias variando de 50 à 200 m, com intervalos regulares de 10 metros:

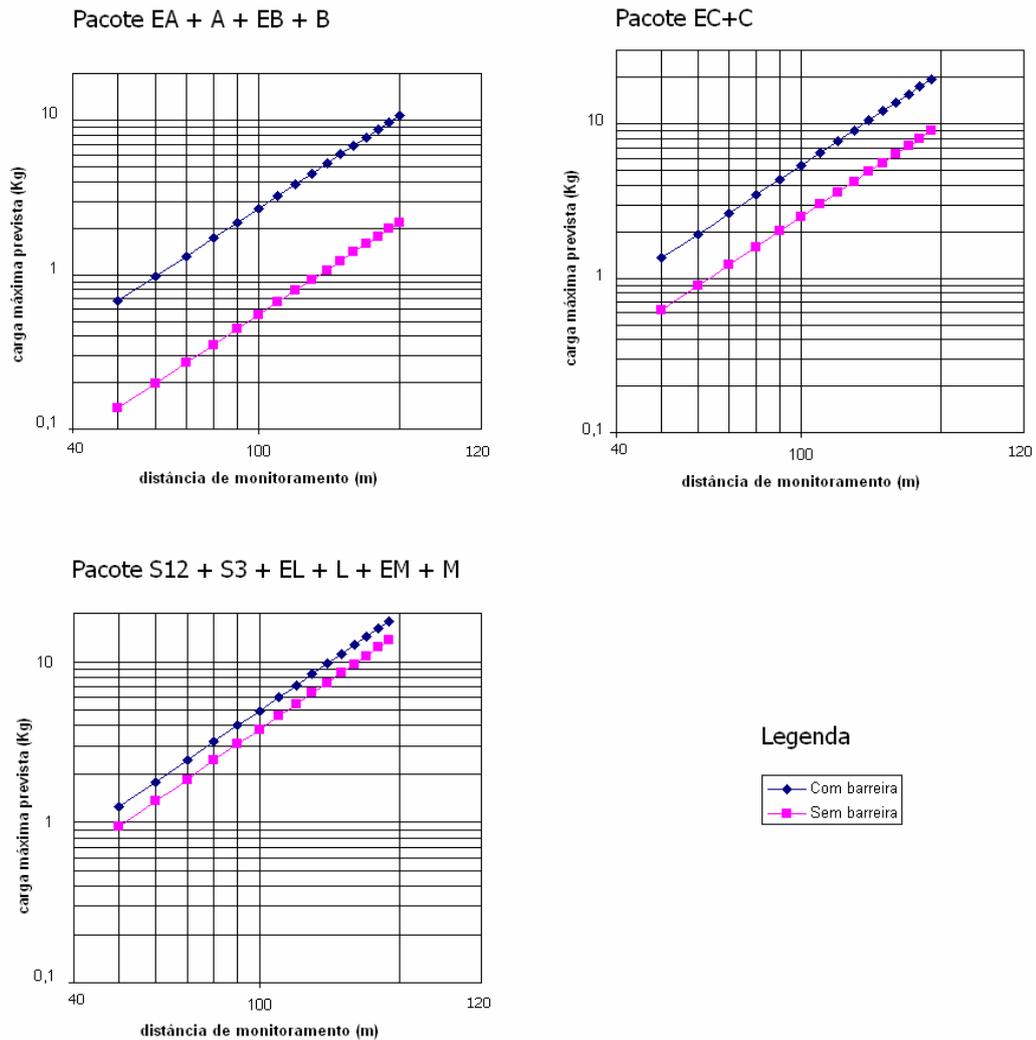


Figura 5.2 – Cargas máximas versus distância, calculadas via equação de previsão para velocidade de pico igual a 8,67 mm/s com e sem barreiras de amortecimento.

5.3 Monitoramento da utilização de barreiras de amortecimento em escala de produção

Paralelamente à realização das detonações de teste finais, foi realizado o monitoramento do reflexo da utilização de barreiras de amortecimento nos desmontes em escala de produção durante um período de sessenta dias, dividido em duas etapas, totalizando-se 58 eventos monitorados. As barreiras de amortecimento, como recurso para controle de níveis de velocidade de vibração, foram empregadas na segunda etapa do período e os valores obtidos foram comparados com o mês

anterior, quando ainda não se utilizava este recurso sistematicamente. O objetivo do monitoramento é certificar-se que, mesmo com os possíveis desvios na preparação da barreira, devido as exigências operacionais, a efetividade alcançada nos furos de teste se mantém.

O comparativo foi feito em termos da carga máxima por tempo de retardo, menor distância entre a área desmontada no período analisado e o ponto de monitoramento e máxima soma vetorial das velocidades. A possibilidade de se aumentar a carga máxima e manter-se, ou mesmo diminuir-se, os valores da velocidade de vibração, apesar de distâncias de monitoramento iguais ou menores, é refletida em um menor consumo de retardos pirotécnicos e, conseqüentemente, menor custo de desmonte.

As barreiras foram construídas com as mesmas razões especificadas nos testes: distância entre a barreira e o talude e entre a barreira e a malha de furos igual ao espaçamento entre linhas dos furos de produção, profundidade dos furos da barreira igual ao dos furos de produção e largura da barreira igual a duas vezes a distância entre a barreira e a malha de furos de produção. Da mesma forma, se utilizaram os mesmos tipos de explosivos (listados na Tabela 4.3) e tempos de retardo dos furos de teste, além do mesmo equipamento de monitoramento.

Nas Figuras 5.3 e 5.4 estão mostradas as diferenças na distância de monitoramento entre os pacotes EA+A+EB+B, S12+S3+EL+L+EM+M e ES12 para as duas etapas do monitoramento. Apesar de terem sido realizados testes no pacote EC+C, os resultados não foram incluídos por não haverem leituras em número suficiente para o ajuste das equações de previsão.

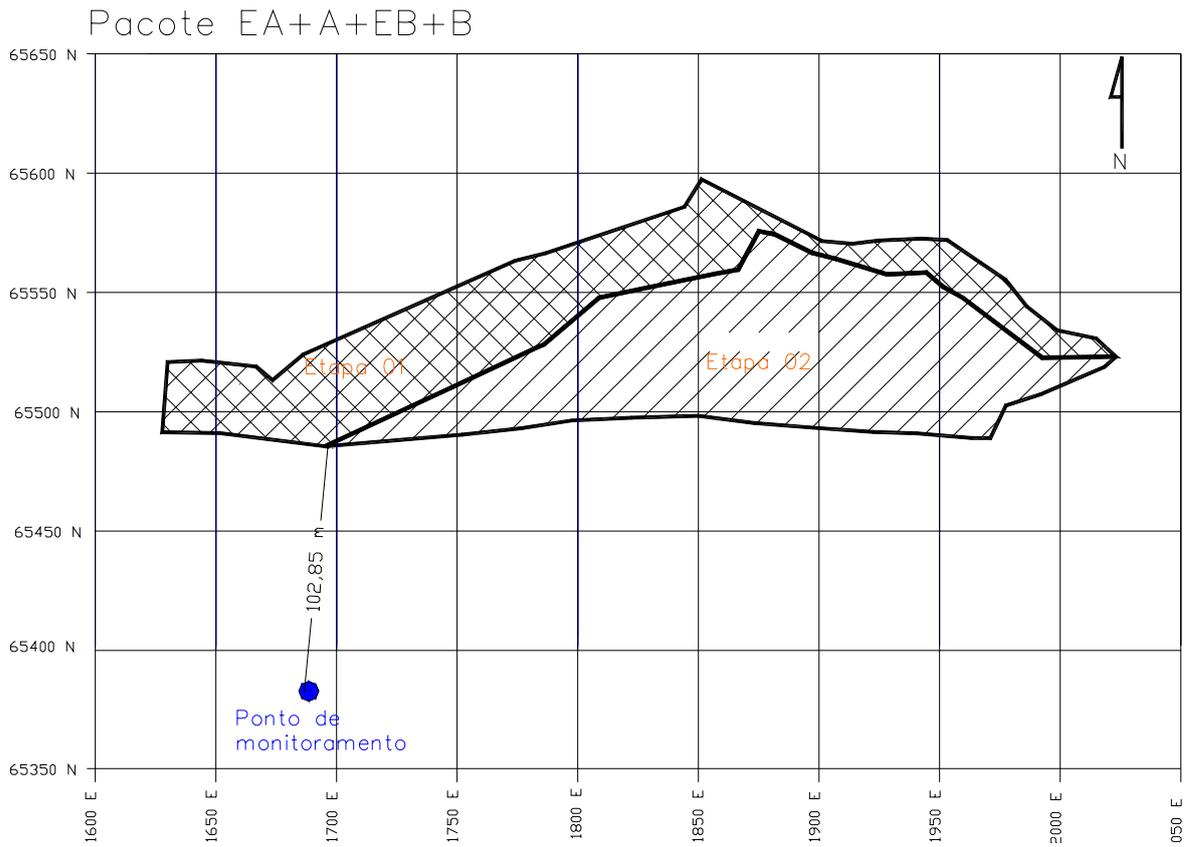


Figura 5.3 – Áreas comparadas no pacote EA+A+EB+B

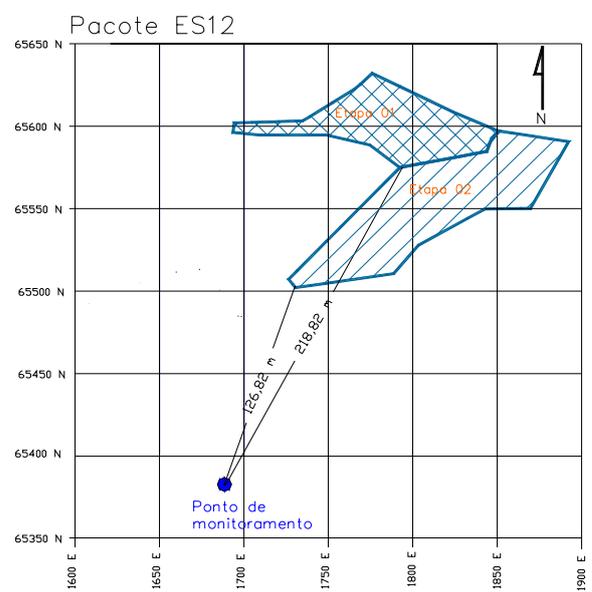
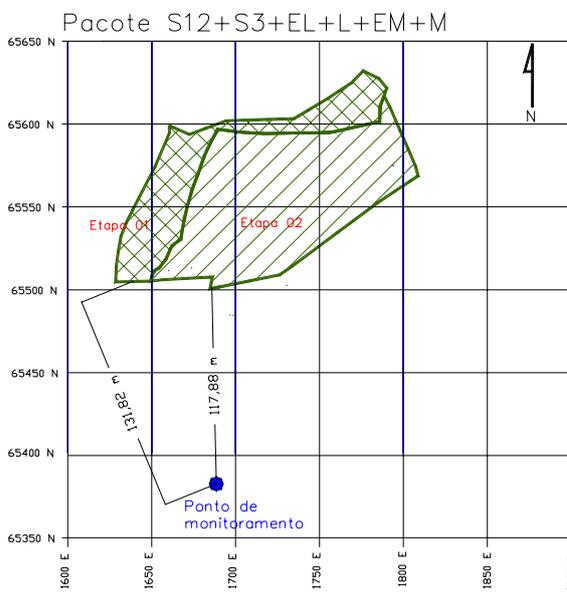


Figura 5.4 – Áreas comparadas nos pacotes S12+S3+EL+L+EM+M e ES12

Os principais dados do comparativo estão compilados na Tabela 5.4, mostrada abaixo:

Tabela 5.4. Comparativo de parâmetros operacionais dos monitoramentos em escala de produção

	pacote EA+A+EB+B		pacote S12+S3+EL+L+EM+M		pacote ES12	
	Etapa 01	Etapa 02	Etapa 01	Etapa 02	Etapa 01	Etapa 02
Número de detonações monitoradas	13	11	9	14	5	6
Total de furos detonados	1069	1018	588	686	305	477
Carga máxima por retardo (kg)	6,54	6,86	14,80	32,40	14,80	18,64
Menor distância ao ponto de monitoramento (m)	102,85	102,85	131,82	117,88	218,82	126,82
Distância escalar (m/kg ^{1/2})	40,22	39,27	34,26	20,71	56,88	29,37
Máxima PPV registrada (mm/s)	5,71	5,08	6,1	5,84	8,51	6,53
Máxima soma vetorial das velocidade de pico monitoradas (mm/s)	9,12	6,24	9,68	8,54	14,02	10,52
Número de retardos por furo	0,68	0,60	0,82	0,62	1,04	0,64
Custo de retardo (R\$/furo)	1,06	0,95	1,79	1,27	1,28	1,21

Os valores reais (monitorados) de vibração obtidos para os pacotes EA+A+EB+B e S12+S3+EL+L+EM+M ficaram abaixo dos valores calculados via equações de previsão ajustadas na etapa de testes para estes pacotes. Esta diferença é esperada, haja visto que o ajuste é feito com um intervalo de confiança de 95 %, de forma a garantir que os valores reais de vibração resultem sempre abaixo dos valores estimados. Esta particularidade do método é bem reproduzido nos valores obtidos com o uso de barreira, os quais também resultaram inferiores aos valores estimados via equação.

A comparação direta dos valores de vibração monitorados para as situações com e sem o uso de barreira, pelo cálculo do coeficiente de redução, não é possível de ser feita devido as diferenças de Distância Escalonada. Entretanto, o efeito redutor pode ser observado quando se comparam os valores de Distância Escalonada *versus* PPV. Em base na teoria proposta por Duvall et al. (1962), discutida no Capítulo 2 deste trabalho, é esperado que haja um aumento na velocidade de vibração devido a combinação de redução ou manutenção das distâncias de monitoramento com o acréscimo da carga máxima por retardo, praticadas na Etapa 02, período no qual se utilizaram barreiras de amortecimento para o controle da vibração gerada. Como a relação esperada entre as duas grandezas é inversamente proporcional, isto é, quanto menor a Distância Escalar maior o valor de velocidade de vibração gerada, o efeito da barreira pode ser comprovado caso os valores de PPV da Etapa 02 se mantenham constantes ou sofram redução quando comparados aos da Etapa 01, haja visto que houve redução da Distância Escalar em todos os pacotes de lavra analisados. Na Tabela 5.5 é mostrado o detalhamento das alterações de Distância Escalar e PPV para os dois períodos comparados, comprovando o efeito redutor.

Tabela 5.5. Demonstração do efeito redutor da barreira em termos de variação de Distância Escalonada e PPV

	pacote EA+A+EB+B		pacote S12+S3+EL+L+EM+M		Pacote ES12	
	Distância escalar (m/kg^{1/2})	Máxima PPV registrada (mm/s)	Distância escalar (m/kg^{1/2})	Máxima PPV registrada (mm/s)	Distância escalar (m/kg^{1/2})	Máxima PPV registrada (mm/s)
Etapa 01	40,22	5,71	34,26	6,10	56,88	8,51
Etapa 02	39,27	5,08	20,71	5,84	29,37	6,53
Variação (%)	- 2,36	- 11,03	- 39,55	- 4,26	- 48,37	- 23,27

Os ganhos operacionais com a utilização das barreiras de amortecimento estão refletidos principalmente na redução do consumo de

retardos por furo, o que resulta em redução direta nos custos com retardo de - 11,96 %, - 40,68 % e - 5,68 % nos pacotes EA+A+EB+B, S12+S3+EL+L+EM+M e ES12, respectivamente. Com os resultados monitorados em escala de produção, fica evidenciado que mesmo sob condições operacionais reais, onde a manutenção dos padrões construtivos das barreiras de amortecimento pode ser afetado, o efeito esperado é obtido. Isto é facilitado pela simplificação de sua utilização, de forma a que a barreira possa ser formada com os mesmos parâmetros e recursos empregados nos furos de produção, bastando apenas que seja inicializada antes do restante da malha.

Capítulo 6

Conclusões

Neste capítulo será apresentado um sumário dos resultados obtidos, os quais confirmam a efetividade do uso de barreiras de amortecimento construídas com os mesmos parâmetros dos furos da malha de produção no controle dos níveis de vibração gerados pelo desmonte com explosivo na Mina do Recreio, em Butiá-RS. Também serão apresentadas recomendações para futuros trabalhos relacionados ao uso deste recurso.

6.1 Sumário de resultados

A efetividade das barreiras de amortecimento foi investigada empregando-se duas seqüências metodológicas distintas: através do monitoramento de furos de teste especialmente preparados para esta finalidade e pela comparação dos resultados de monitoramentos de velocidades de vibração de desmontes em escala de produção, de forma a se comprovar a efetividade do método proposto, mesmo sob a influência de variáveis operacionais.

Os furos de teste foram analisados em termos do coeficiente de redução (η) e pela comparação dos fatores de ajuste da equação de previsão de velocidade de pico. O valor médio de η , calculado para furos com mesma distância escalonada, por meio da relação velocidade de

vibração após a barreira pela velocidade de vibração antes da barreira, resultou em 0,42, com um desvio de 0,17 e coeficiente de variação igual a 0,41. Os dois coeficientes da equação de ajuste (k e m) apresentaram valores distintos, para as situações com e sem barreira de amortecimento em todos os pacotes de lavra analisados. O fator k das equações ajustadas com furos detonados atrás da barreira de amortecimento resultou inferior ao mesmo fator das equações ajustadas sem a interferência da barreira, em todas os três pacotes de lavra analisados, evidenciando o efeito redutor do recurso. Da mesma forma, o fator m também resultou diferente nos testes realizados com a utilização de barreira, porém com valores inferiores aos dos coeficientes das equações ajustadas sem a barreira. Em termos operacionais, a diferença nos coeficientes da equação de ajuste permite acréscimo na carga máxima por tempo de retardo, permitindo a redução na relação do número de retardos empregados pelo número de furos detonados. Considerando que o método de desmonte empregado na Mina do Recreio não exige o uso de retardos para o controle da movimentação da bancada e fragmentação do maciço, sendo restrito apenas ao controle dos níveis de vibração, ao utilizar-se o recurso da barreira o consumo de retardo e, conseqüentemente, o custo do desmonte, irá ser reduzido.

Para avaliar-se o método em escala de produção, foram comparados valores de velocidade de vibração durante um período de trinta dias utilizando-se as barreiras de amortecimento com o mesmo período sem a utilização do recurso no corte Norte da BR, na Mina do Recreio. A redução obtida nos picos da velocidade de vibração no período, pelo uso das barreiras de amortecimento, variou de - 4,26 % à - 23,27 %, apesar da redução da Distância Escalonada, que em relação ao consumo de retardos pirotécnicos, individualizado em termos de pacote de lavra, resultou em uma redução variando de - 11,76 % à - 38,46 %.

Estes resultados, tanto nos furos de teste como nas áreas de produção, foram obtidos com a mesma sistemática de construção. Em

todas as situações analisadas a barreira foi posicionada paralelamente à primeira linha de furos, com o mesmo afastamento existente entre as linhas internas das malhas dos furos de produção, além de mesma profundidade e razão de carga.

O efeito redutor obtido se deve a mudança das características do meio de propagação das ondas sísmicas, provocadas pela fragmentação do maciço através da detonação de cargas de explosivo, causando diminuição da intensidade das ondas sísmicas devido a reflexão e refração nos vazios provocados pela movimentação do maciço aliado a um menor confinamento das cargas posteriores as da barreira, reduzindo a intensidade de energia transferida a porção não fragmentada do terreno.

6.2 Recomendações para trabalhos futuros

A primeira e fundamental recomendação à ser transmitida é que os parâmetros utilizados neste trabalho (coeficiente de redução, acréscimo na carga máxima, razão de carga, etc.) não sejam tomados como genéricos. Os resultados aqui apresentados referem-se a uma condição específica, característica do local onde foram realizados os testes. Por este motivo é que se recomenda a prévia verificação dos índices de redução possíveis de serem obtidos no local onde se pretende utilizar este recurso, através da realização de detonações de teste, recomendável de ser feito em outros tipos de operação, nos quais o maciço possui características de propagação distintas, tais como pedreiras ou minas de minério de ferro à céu aberto.

Da mesma forma, se recomenda que o efeito da barreira no comportamento da frequência de vibração seja investigado, pois caso ocorra mudança significativa, ficando os valores próximos às frequências naturais das estruturas à serem protegidas, poderão ocorrer danos, mesmo com velocidade de vibração menores que em situações onde não se utiliza as barreiras.

Também é recomendável, apesar da esperada complexidade, o desenvolvimento de modelos matemáticos para a previsão da redução dos níveis de vibração, em função dos parâmetros construtivos da barreira e das características do meio de propagação. Esta seria uma excelente alternativa para buscar-se a obtenção de valores otimizados através da adequação dos parâmetros da barreira, ao invés de longos e custosos estudos através de detonação de furos de teste.

Referências bibliográficas

- AIMONE, C. T. 1992. *Rock breakage: explosives*. SME Mining Engineering Handbook, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., Littleton, USA, 2260 p.
- ANDERSON, D. A., RITTER, A. P. e Winzer, R. S. 1985. *A Method for Site-Specific Prediction and Control of Ground Vibration from Blasting*. Proceedings of the 11th ISEE Annual Conference, San Diego, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 12 p.
- ANDERSON, D. A., WINZER, S. R. e RITTER, A. P. 1982. *Blast design for optimizing fragmentation while controlling frequency of ground vibration*. Proceedings of the 8th ISEE Annual Conference, New Orleans, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 11 p.
- ANDERSON, D. A. 1989. *The 8 Millisecond "Criterion": Have We Delayed Too Long in Questioning It?* Proceedings of the 15th ISEE Annual Conference, New Orleans, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 11 p.
- CHIAPETTA, R. F., BORG, D. G. e STERNER, V. A. 1987. *Explosives and rock blasting*. Atlas Powder Company, Dallas, USA. 662 p.
- COMEAU, W. 1977. *Blasting and its control at Hydro Quebec*. Proceedings of the 3rd ISEE Annual Conference, Pittsburgh, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 7 p.
- COOK, J. R. 2001. *The chemistry and characteristics of explosive materials*. Vantage Press, New York, USA, 118 p.
- CORRÊA, K.C.R. 2000. *Caracterização geotécnica e geomecânica de uma lavra à céu aberto aplicada a problemas mineiros*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas,

Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 163 p.

CRENWELGE Jr. O. E. e PETERSON, T. A. 1986. *Overburden blasting vibrations: analysis, prediction, and control*. Proceedings of the 12th ISEE Annual Conference, Atlanta, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 11 p.

DEVINE, J. F., BECK, R. S., MEYER, A. V. C. e DUVALL, W. I. 1967. *RI 6774 - Effect of charge weight on vibration levels from quarry blasting*. U.S. Bureau of mines reports of investigations, Denver, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 12 p.

DEVINE, J. F. BECK, R. S., MEYER, A. V. C. e DUVALL, W. I. 1966. RI 6695 -

Vibration levels transmitted across a presplit fracture plane. U.S. Bureau of mines reports of investigations, Denver, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM , 11 p.

DJORDJEVIC, N., KAVETSKY, A. e SCOTT, A. 1990. *Blast design Optimization to minimize induced vibrations of structures*. Proceedings, FRAGBLAST 90, Brisbane, Austrália, p. 373-380.

DOWDING, C. H. 2000. *Construction Vibratons*. Prentice Hall, USA, 598 p.

DOWDING, C. H. 1985. *Blast vibration monitoring and control*. NorthWestern University, USA, 297 p.

DUVALL, W. e FOGELSON, D. E. 1961. *RI 5968 Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibrations*. U.S. Bureau of mines reports of investigations, College Park, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 11 p.

DUVALL, W. 1960. *RI 5708 Design criteria for portable seismographs*. U.S. Bureau of mines reports of investigations, College Park, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 6 p.

DUVALL, W. 1964. *RI 6487 Design requirements for instrumentation to record vibrations produced by blasting* U.S. Bureau of mines reports of investigations, College Park, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 6 p.

DUVALL, W., DEVINE, J. F., JOHNSON, C. F. e MEYER, A. V. C. 1962. RI 6270

Vibrations from blasting at Iowa limestone quarries. U.S. Bureau of mines reports of

investigations, College Park, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 6 p.

FOGELSON, D. E. e JOHNSON, C. F. 1961. *RI 6009 Calibration studies of three portable seismographs*. U.S. Bureau of mines reports of investigations, College Park, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 10 p.

HOPLER, R. B. (editor técnico). 1998. *ISEE Blaster's Handbook*. Society of Explosives Engineers Inc., USA, 742 p.

INSTANTEL Inc. 1998. *MiniMate Plus™ Operator Manual*. Kanata, Canada, 58 p.

KAHRIMAN, A. 2001. *Prediction of particle velocity caused by blasting for an infrastructure excavation covering granite bedrock*. Mineral Resources Engineering, Vol. 1, Número 2, Imperial College Press, p. 205-218.

KONYA, C. J. 1995. *Blast Design*. Intercontinental Development Corporation, Montville, Ohio, USA, 230 p.

KUZMENKO, A. A., VOROBEEV, V. D., DENISYUK, I. I. e DAUETAS, A. A. 1993. *Seismic effects of blasting in rock*. Russian Translator Series 103, A. A. Balkema, Rotterdam, Holanda, 169 p.

MUNARETTI, E. 2002. *Desenvolvimento de equipamento para medida de VoD na Mina do Recreio – Butiá, RS*. II Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto/ II Congresso Brasileiro de Mina Subterrânea, CD-ROM, Belo Horizonte, Brasil, 13 p.

NICHOLLS, H. R. 1963. *RI 6472 A case study of the validity of scaling laws for explosion-generated motion*. U.S. Bureau of mines reports of investigations, College Park, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 7 p.

OLOFSSON, S. O. 1990. *Applied explosives technology for construction and mining*. Nora Boktryckeri AB. Ärla, Suécia. 304 p.

PERSSON, P. A., HOLMBERG, R. e LEE J. 1994. *Rock blasting and explosives engineering*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 540 p.

REDPATH, B. e B. RICHELTS, T. 1987. *An improved scaling procedure for close-in blast motions*. Proceedings of the 13rd ISEE Annual Conference, Miami, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 10 p.

SAMES, F. 1997. *Advanced analysis of airblast and vibration signals for optimizing blast design*. Proceedings of the 23rd ISEE Annual Conference, Las Vegas, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 12 p.

SCOTT, A., COCKER, A., DJORDJEVIC, N., HIGGINS, M., LA ROSA D., SARMA, K. S. e WEDMAIER, R. 1996. *Open Pit Blast Design*. JKMRC Monograph Series in Mining and Mineral Processing 1, The University of Queensland, Queensland, Austrália, 342 p.

SISKIND, D. SNODGRASS, J. J., DICK, R. A. e QUIRING, J. N. 1977. *RI 7764 Mine roof vibrations from underground blasts*. U.S. Bureau of mines reports of investigation, Pilot Knob, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 7 p.

SISKIND, D., STAGG, M. S., KOPP, J. W. e DOWDING, C. H. 1980. *RI 8507 Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting* U.S. Bureau of mines reports of investigations, Twin Cities, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 12 p.

SISKIND, D. E., CRUM, S. V., OTTERNESS R. E. e KOPP, J. W. 1992. *RI 9226 - Comparative study of blasting vibrations from Indiana surface coal mines*. U.S. Bureau of mines reports of investigations, Minneapolis, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 13 p.

TOMEDI, P. 1988. *Relatório Geológico do Corte Coréia*, Copelmi Mineração Ltda., Butiá, Brasil, 26 p.

VOGT, W e SINGH P. K. 1998. *Ground vibration: prediction for safe and efficient blasting*. ERZMETALL 51, N° 10, p. 677 – 684.

VUILLAUME, P. M., BERNAR, T. e KISZLO, M. 1996. *Blasting vibrations control: the shortcomings of traditional methods*. Proceedings of the 22nd ISEE Annual Conference, Orlando, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 10 p.

WINZER, S. R., MONTENYOHL, V. I. e RITTER, A. 1979. *The science of blasting*. Proceedings of the 5th ISEE Annual Conference, St. Louis, USA, International Society of Explosive Engineers Reference Database on CD-ROM, 10 p.

WORSEY, P., GILTNER, S. G., DRECHSLER, T., ECKLECAMP, R. e INMAN R. 1996. *Determination of blasting criteria during the construction of an in-pit lime kiln*. Proceedings, FRAGBLAST 5, Montreal, Canadá. A.A. Balkema, p. 381-388.

Anexos

Anexo A

**Boletins sismográficos dos testes
válidos para o pacote EA+A+EB+B**

BlastWare Series III - [# BE6813, Oct 15 /02 14:05:03 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time	Vert at 14:05:03 October 15, 2002	Serial Number	BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Trigger Source	Geo: 1.00 mm/s Mic: 30.0 pa.(L)	Battery Level	6.3 Volts
Range	Geo :254 mm/s	Calibration	October 29, 1999 by InstanTel Inc.
Record Time	20.0 sec at 1024 sps	File Name	H8139A6P.SF0

Notes

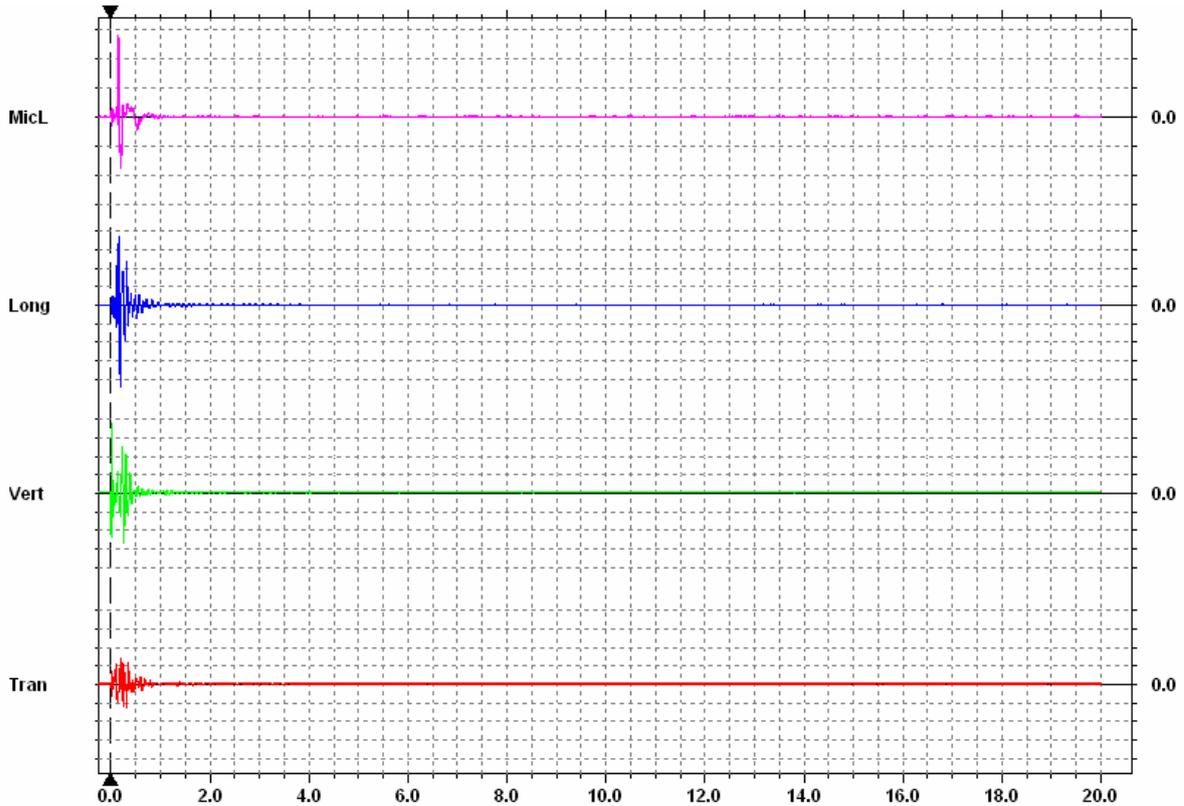
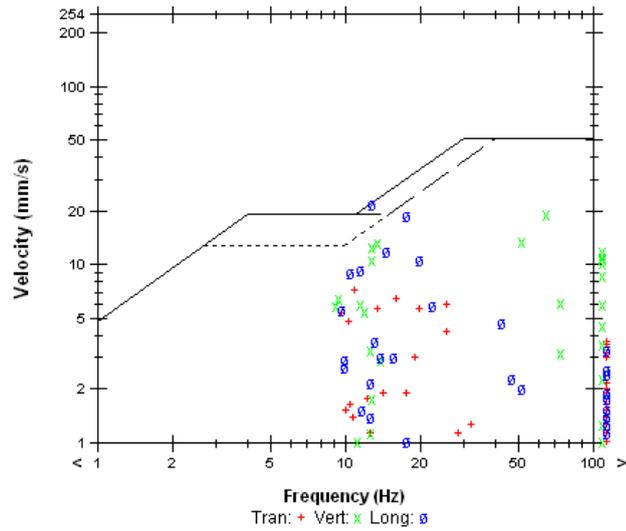
USBM RI8507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 55.8 pa.(L) at 0.150 sec
ZC Freq 19 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 787 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	7.24	19.0	21.8	mm/s
ZC Freq	11	64	13	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.194	0.010	0.188	sec
Peak Acceleration	0.398	1.47	0.292	g
Peak Displacement	0.0952	0.671	0.277	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 23.4 mm/s at 0.188 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 20.0 pa.(L)/div
Trigger = ▶ — ◀

BlastWare Series III - [# BE6812, Oct 24 /02 13:12:01 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 13:12:01 October 24, 2002
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: 254 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps
Job Number: 4

Serial Number BE6812 V 4.33-4.33 MiniMate Plus
Battery Level 6.1 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8129ANB.C10

Notes

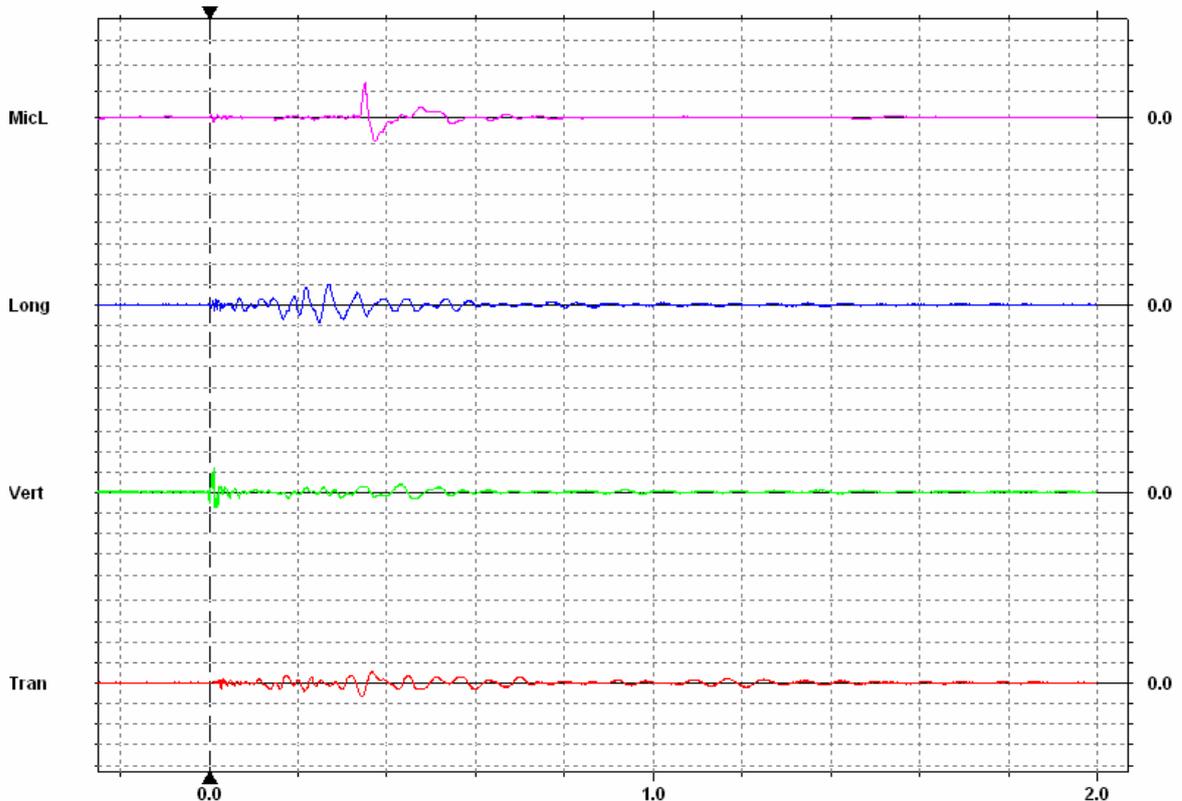
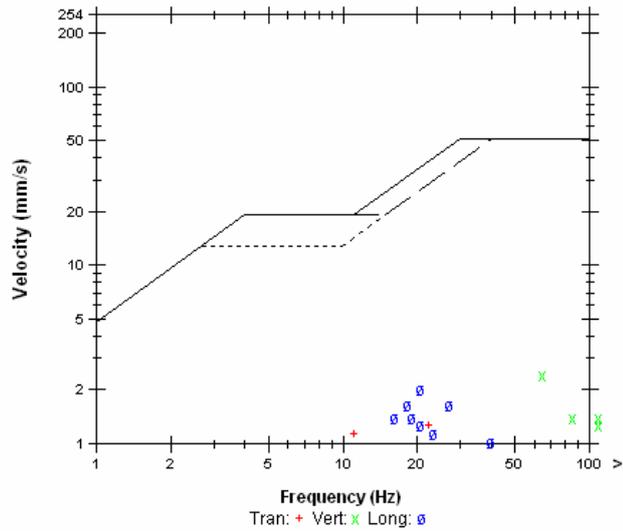
USBM RI8507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 13.3 pa.(L) at 0.351 sec
ZC Freq 22 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 661 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	1.27	2.41	2.03	mm/s
ZC Freq	22	64	20	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.341	0.010	0.268	sec
Peak Acceleration	0.0265	0.225	0.0663	g
Peak Displacement	0.0124	0.00924	0.0154	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 2.42 mm/s at 0.010 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger =

BlastWare Series III - [# BE6812, Oct 24 /02 13:14:03 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 13:14:03 October 24, 2002
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: 254 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps
Job Number: 4

Serial Number BE6812 V 4.33-4.33 MiniMate Plus
Battery Level 6.1 Volts
Calibration October 29, 1999 by Instatel Inc.
File Name H8129ANB.FF0

Notes

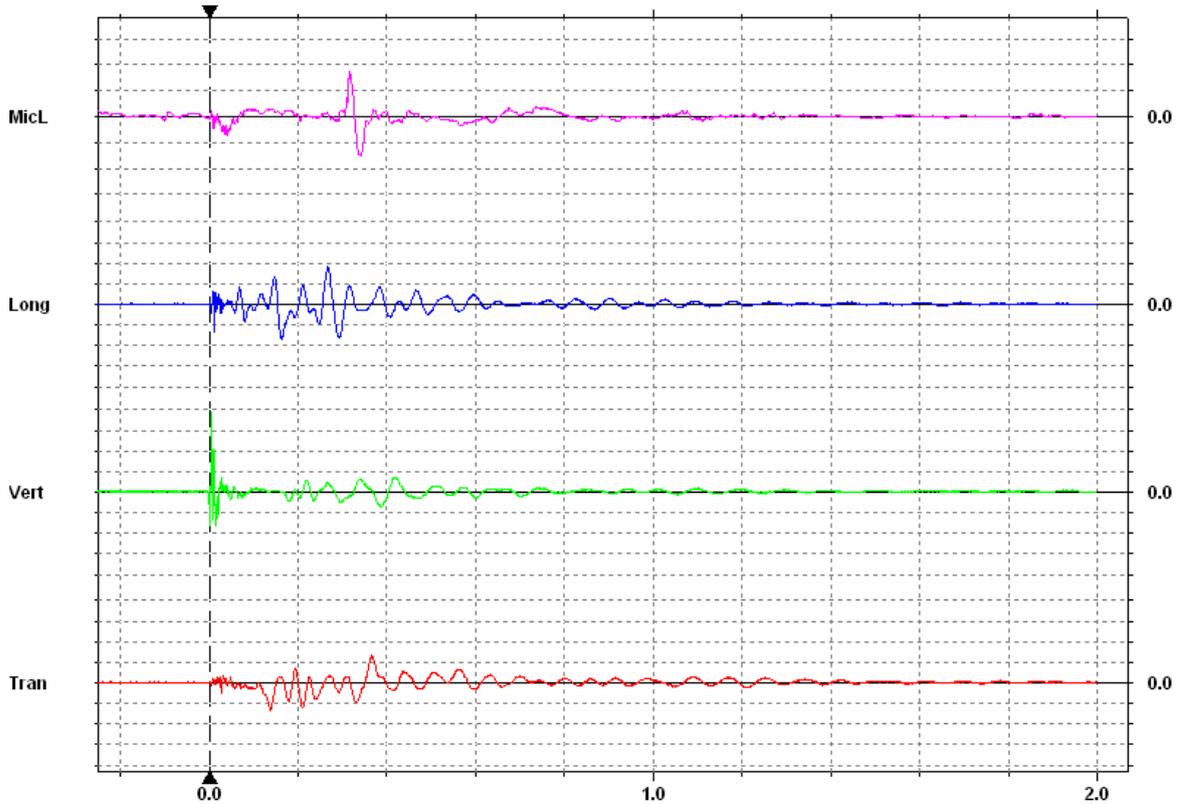
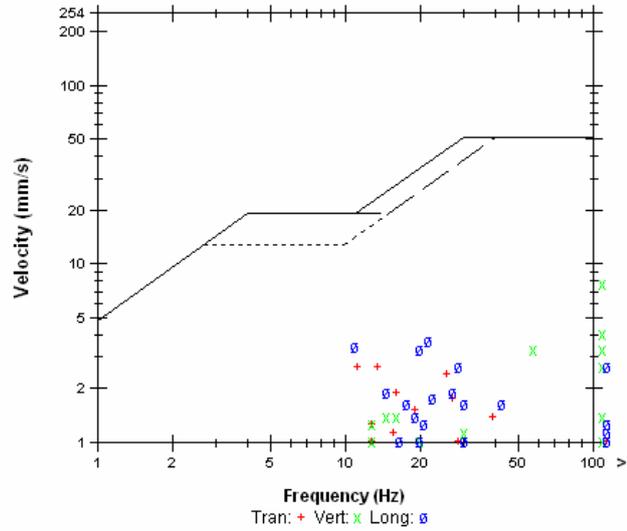
USBM RI8507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 17.3 pa.(L) at 0.315 sec
ZC Freq 14 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 648 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	2.67	7.75	3.68	mm/s
ZC Freq	13	>100	21	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.138	0.005	0.267	sec
Peak Acceleration	0.0663	0.610	0.212	g
Peak Displacement	0.0279	0.0154	0.0358	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 7.80 mm/s at 0.005 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div

Trigger = [Trigger symbol]

BlastWare Series III - [# BE6812, Oct 24 /02 13:15:50 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time	Vert at 13:15:50 October 24, 2002	Serial Number	BE6812 V 4.33-4.33 MiniMate Plus
Trigger Source	Geo: 1.00 mm/s	Battery Level	6.1 Volts
Range	Geo: 254 mm/s	Calibration	October 29, 1999 by InstanTel Inc.
Record Time	2.0 sec at 1024 sps	File Name	H8129ANB.IE0
Job Number:	4		

Notes

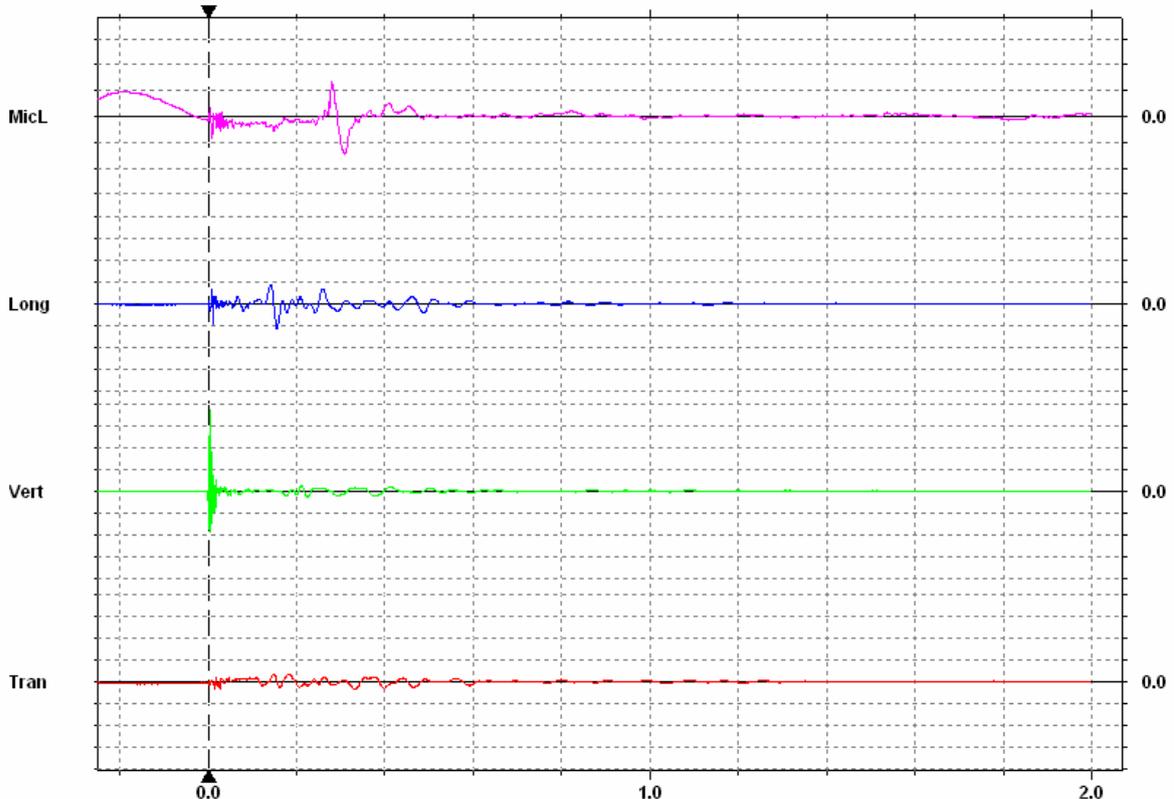
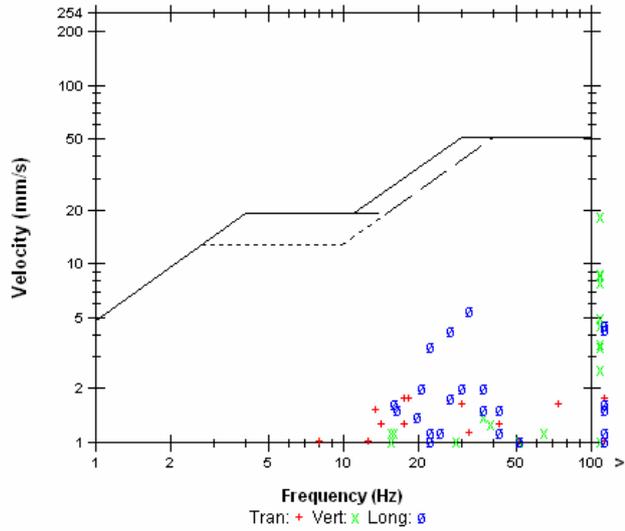
USBM RI8507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPPL 14.5 pa.(L) at 0.308 sec
ZC Freq 9.0 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 649 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	1.78	18.4	5.46	mm/s
ZC Freq	>100	>100	32	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.026	0.004	0.155	sec
Peak Acceleration	0.119	1.79	0.490	g
Peak Displacement	0.0395	0.0146	0.0269	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 18.5 mm/s at 0.004 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger =

BlastWare Series III - [# BE6812, Oct 24 /02 13:17:44 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time	Vert at 13:17:44 October 24, 2002	Serial Number	BE6812 V 4.33-4.33 MiniMate Plus
Trigger Source	Geo: 1.00 mm/s	Battery Level	6.1 Volts
Range	Geo: 254 mm/s	Calibration	October 29, 1999 by Instatel Inc.
Record Time	2.0 sec at 1024 sps	File Name	H8129ANB.LK0
Job Number:	4		

Notes

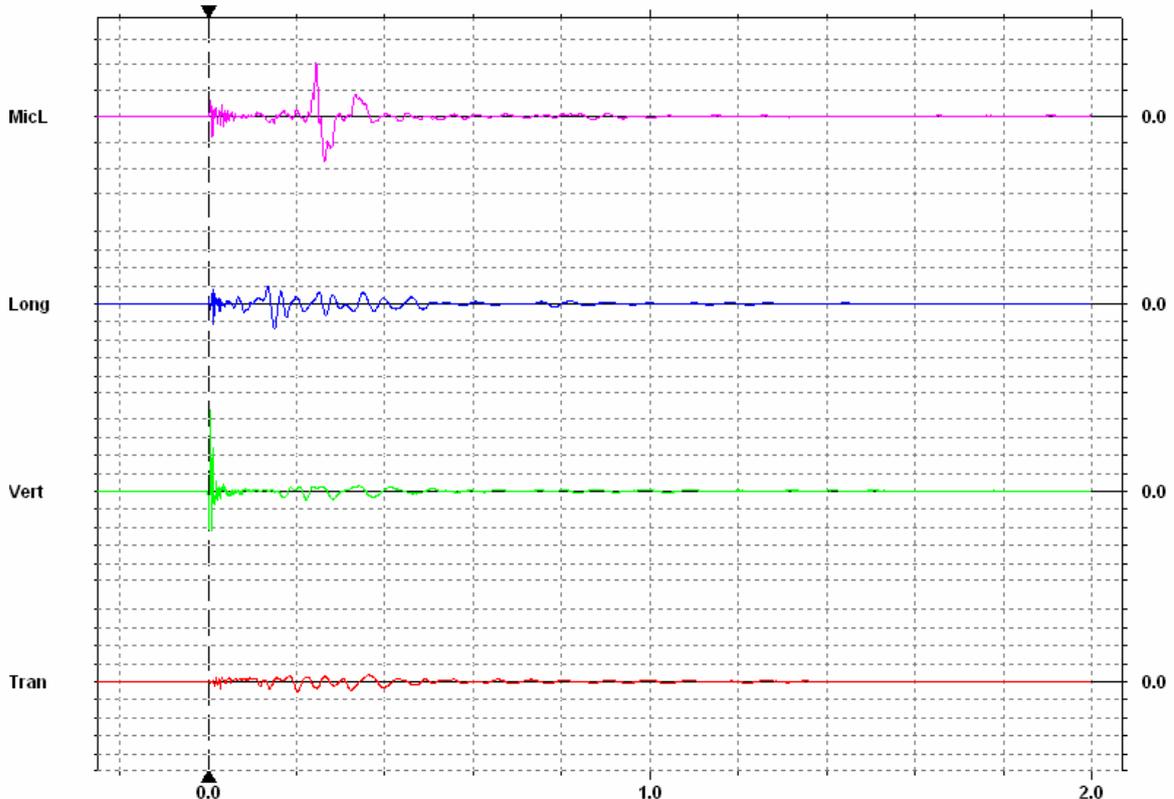
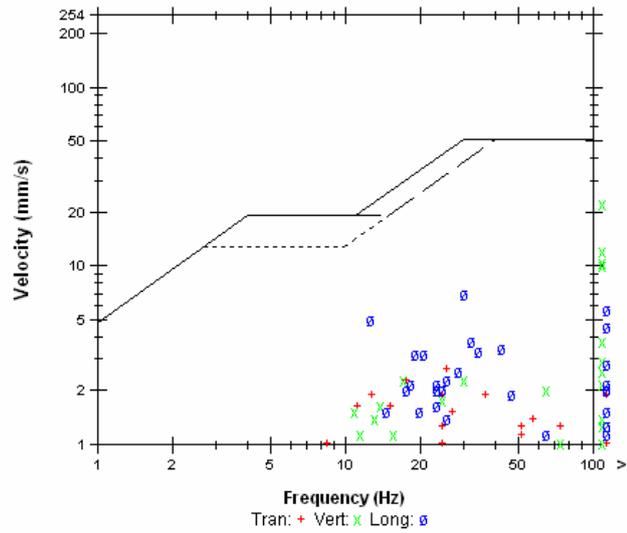
USBM RI8507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 20.5 pa.(L) at 0.244 sec
ZC Freq 22 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 663 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	2.67	22.4	6.98	mm/s
ZC Freq	26	>100	30	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.201	0.005	0.149	sec
Peak Acceleration	0.133	2.19	0.557	g
Peak Displacement	0.0236	0.0210	0.0386	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 22.4 mm/s at 0.005 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger =

BlastWare Series III - [# BE6812, Oct 24 /02 13:19:33 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time	Vert at 13:19:33 October 24, 2002	Serial Number	BE6812 V 4.33-4.33 MiniMate Plus
Trigger Source	Geo: 1.00 mm/s	Battery Level	6.1 Volts
Range	Geo: 254 mm/s	Calibration	October 29, 1999 by Instatel Inc.
Record Time	2.0 sec at 1024 sps	File Name	H8129ANB.OLO
Job Number:	4		

Notes

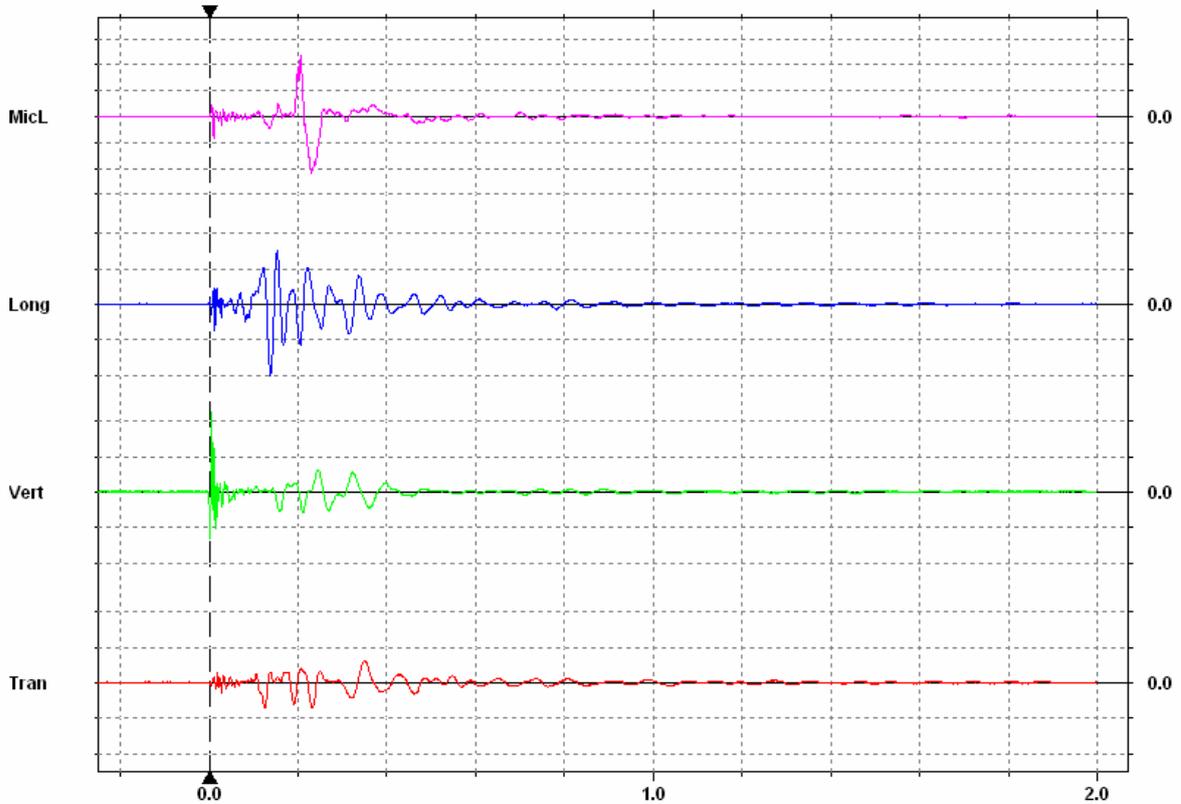
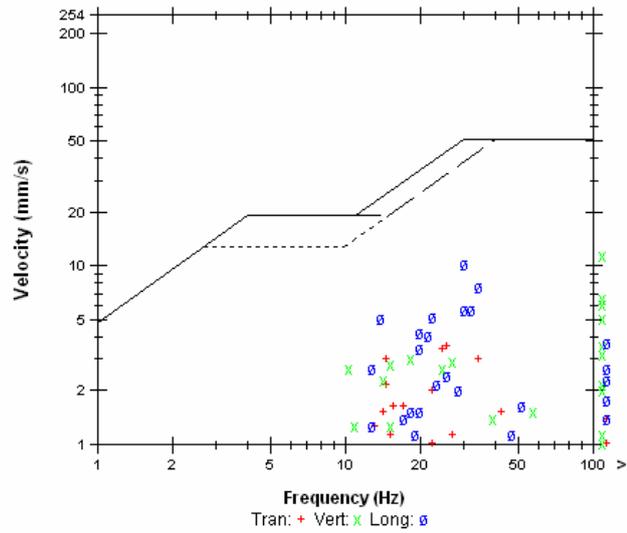
USBM RI8507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 23.5 pa.(L) at 0.206 sec
ZC Freq 22 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 715 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	3.56	11.4	10.2	mm/s
ZC Freq	26	>100	30	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.231	0.005	0.139	sec
Peak Acceleration	0.119	0.968	0.318	g
Peak Displacement	0.0317	0.0279	0.0528	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 11.5 mm/s at 0.005 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger =

BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 3 /03 17:01:35 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Long at 17:01:35 January 3, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo :254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by Instantel Inc.
File Name H8139EB3.ANO

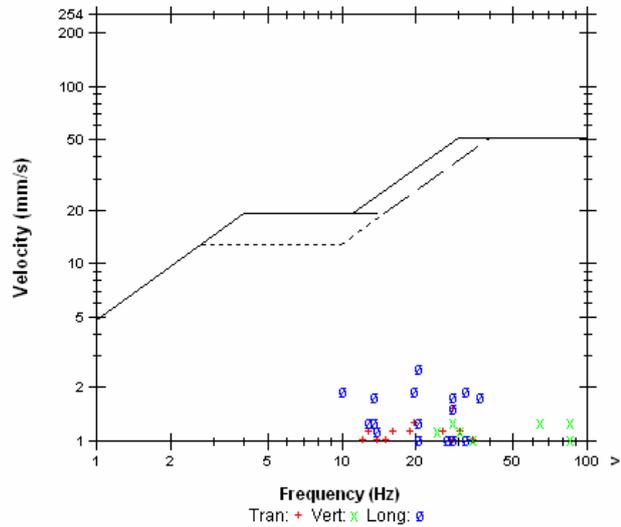
Notes

USBM R18507 And OSMRE

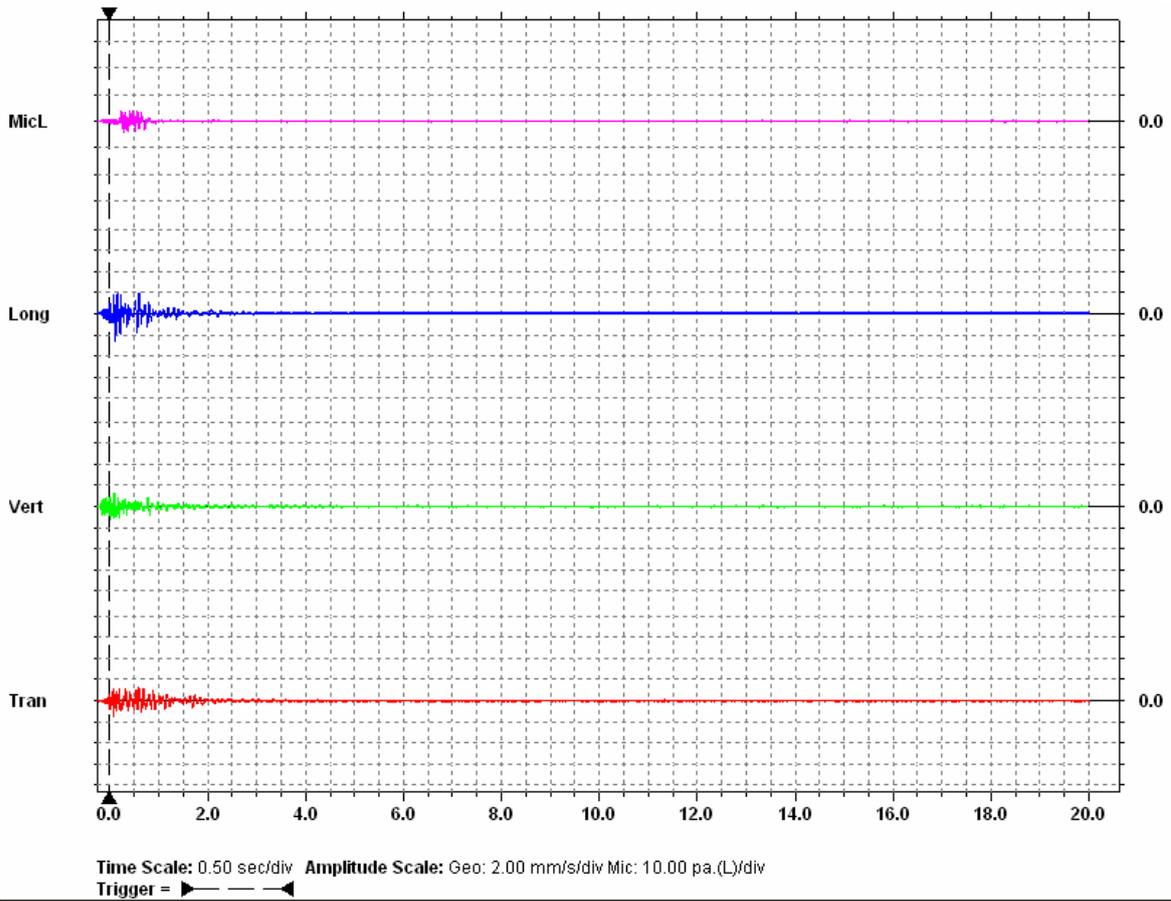
Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 4.25 pa.(L) at 0.289 sec
ZC Freq 24 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 782 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	1.52	1.27	2.54	mm/s
ZC Freq	28	85	20	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.084	0.010	0.119	sec
Peak Acceleration	0.0398	0.0530	0.0530	g
Peak Displacement	0.0144	0.00974	0.0213	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	



Peak Vector Sum 2.57 mm/s at 0.119 sec



BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 7 /03 17:21:28 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:21:28 January 7, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo :254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps
Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139EII.VS0

Notes

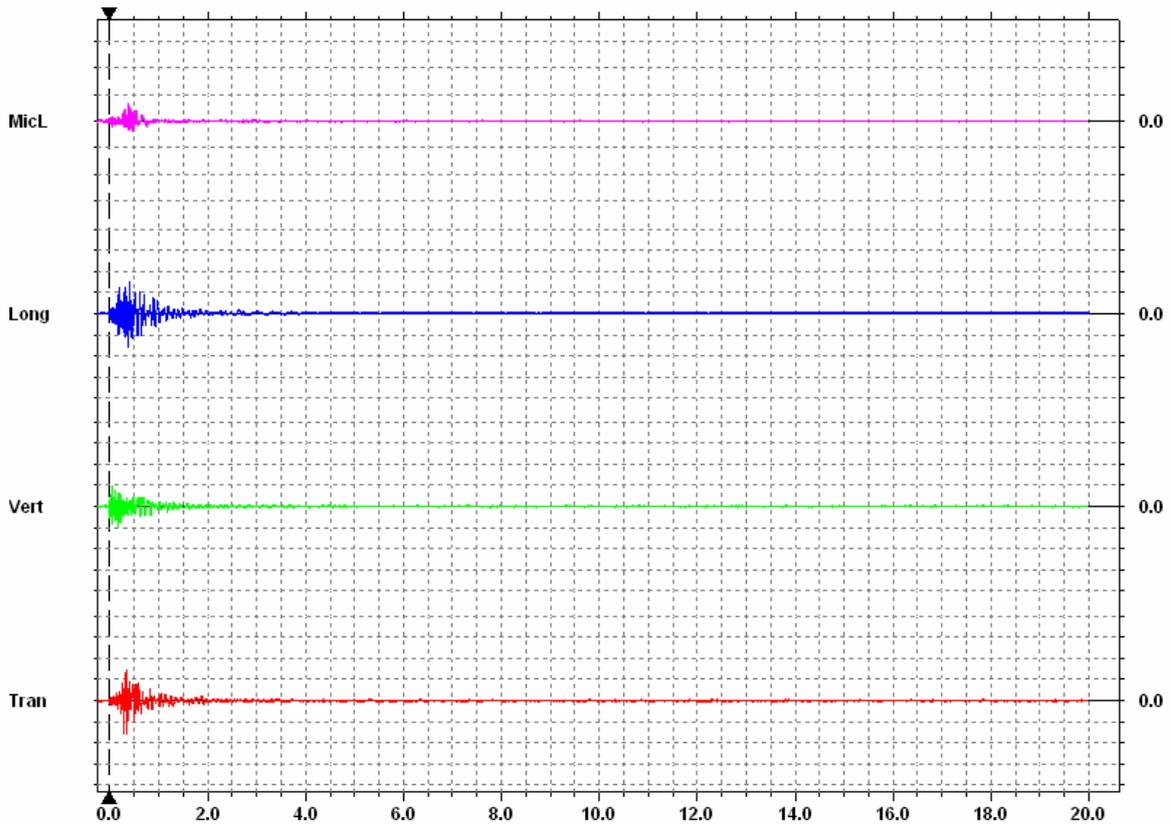
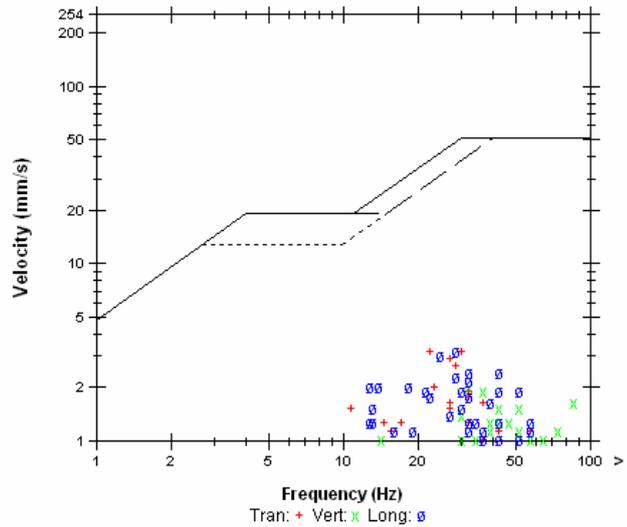
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 6.75 pa.(L) at 0.389 sec
ZC Freq 27 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 752 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	3.17	2.03	3.17	mm/s
ZC Freq	22	32	28	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.292	0.176	0.366	sec
Peak Acceleration	0.0663	0.106	0.0928	g
Peak Displacement	0.0208	0.0139	0.0193	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 3.64 mm/s at 0.292 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [Symbol]

Anexo B

**Boletins sismográficos dos testes
válidos para o pacote EC+C**

BlastWare Series III - [# BE6813, Nov 28 /02 10:09:20 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 10:09:20 November 28, 2002
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: 254 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139CFW.7K0

Notes

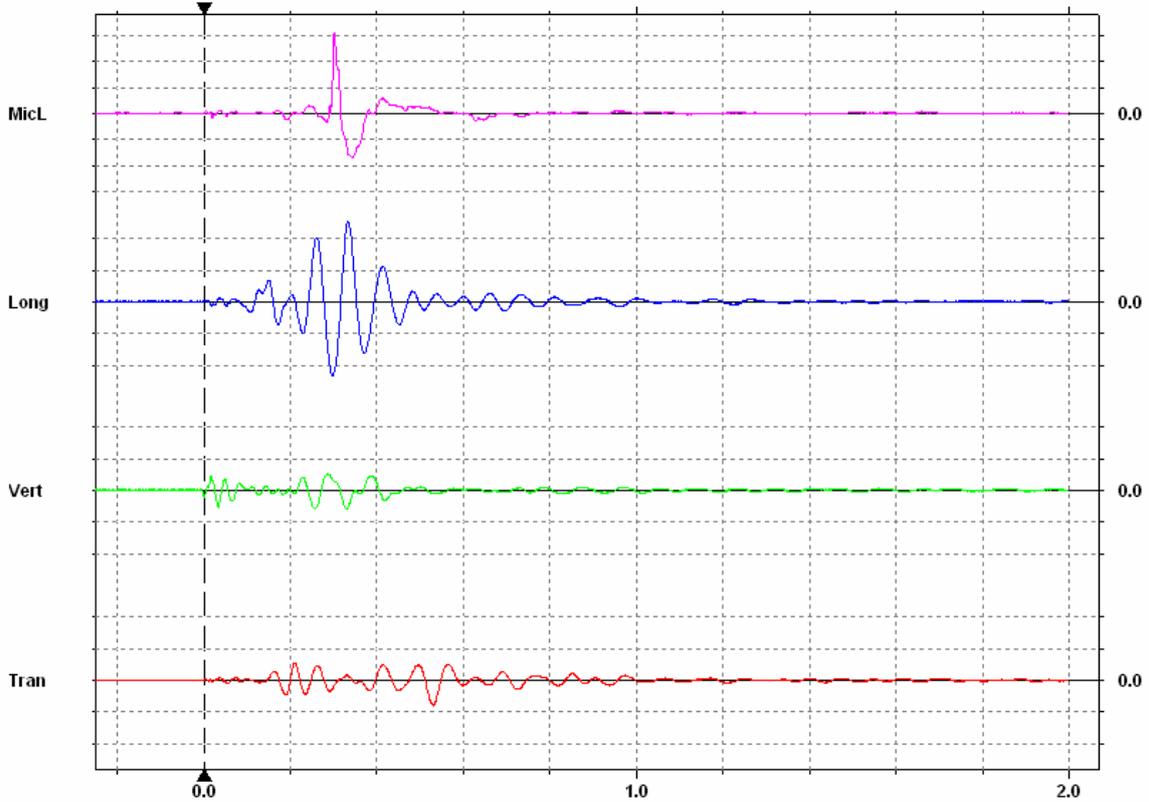
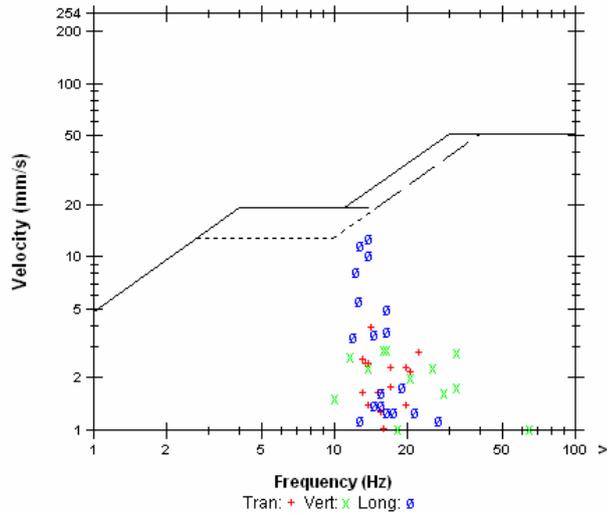
USBM RI8507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 30.8 pa.(L) at 0.302 sec
ZC Freq 21 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 661 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	3.94	2.92	12.8	mm/s
ZC Freq	14	17	14	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.529	0.255	0.333	sec
Peak Acceleration	0.0530	0.0663	0.119	g
Peak Displacement	0.0434	0.0353	0.146	mm
Sensorcheck @	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 13.1 mm/s at 0.333 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [Symbol]

BlastWare Series III - [# BE6813, Nov 28 /02 12:06:56 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 12:06:56 November 28, 2002
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139CG1.NK0

Notes

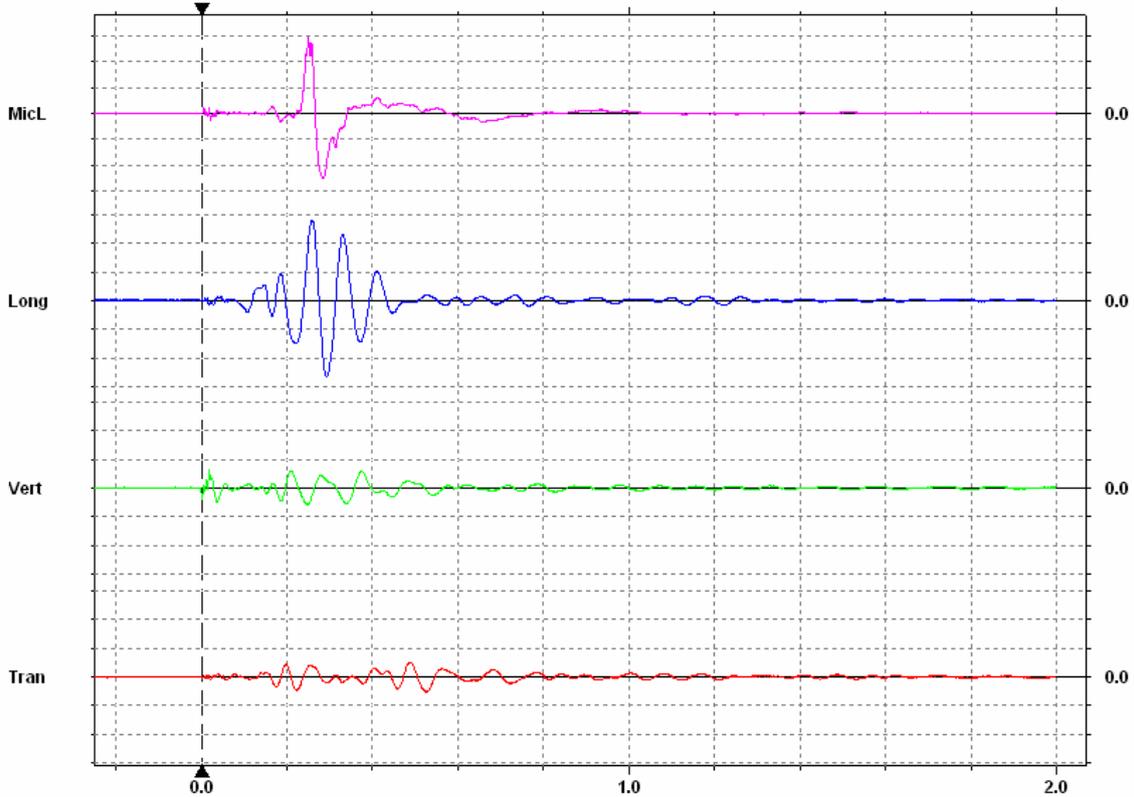
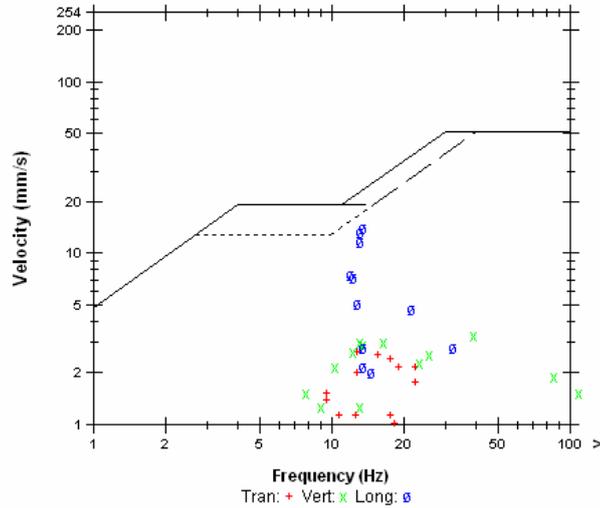
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 29.3 pa.(L) at 0.249 sec
ZC Freq 13 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 773 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	2.67	3.30	14.1	mm/s
ZC Freq	13	39	13	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.525	0.019	0.258	sec
Peak Acceleration	0.0398	0.133	0.133	g
Peak Displacement	0.0338	0.0345	0.164	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 14.3 mm/s at 0.258 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = ▶ — ◀

BlastWare Series III - [# BE6813, Nov 28 /02 15:59:01 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 15:59:01 November 28, 2002
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139CGC.ED0

Notes

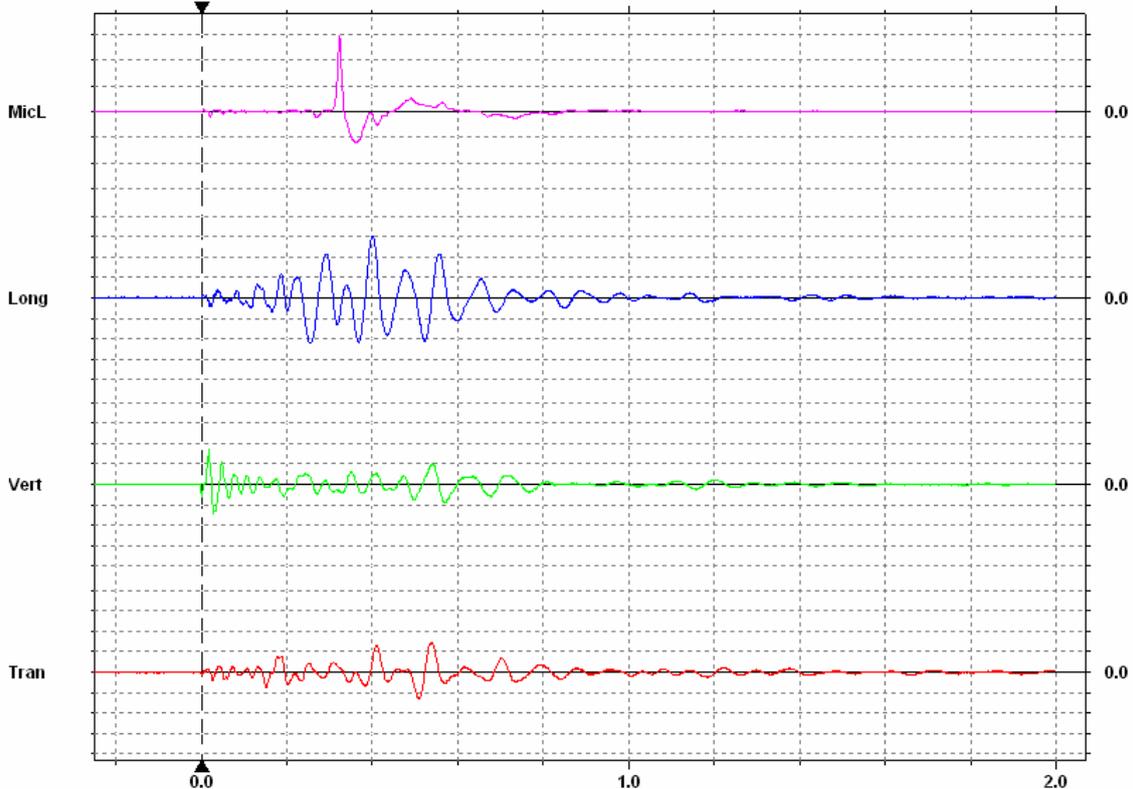
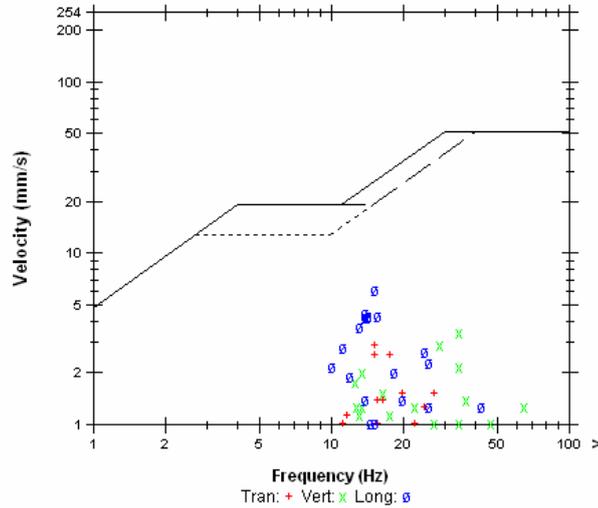
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 29.5 pa.(L) at 0.323 sec
ZC Freq 13 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 767 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	2.92	3.43	6.10	mm/s
ZC Freq	15	34	15	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.538	0.018	0.399	sec
Peak Acceleration	0.0398	0.119	0.0663	g
Peak Displacement	0.0301	0.0227	0.0631	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 6.32 mm/s at 0.401 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = ▶ ◀

BlastWare Series III - [# BE6813, Nov 29 /02 09:37:53 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 09:37:53 November 29, 2002
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 10.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139CHP.F50

Notes

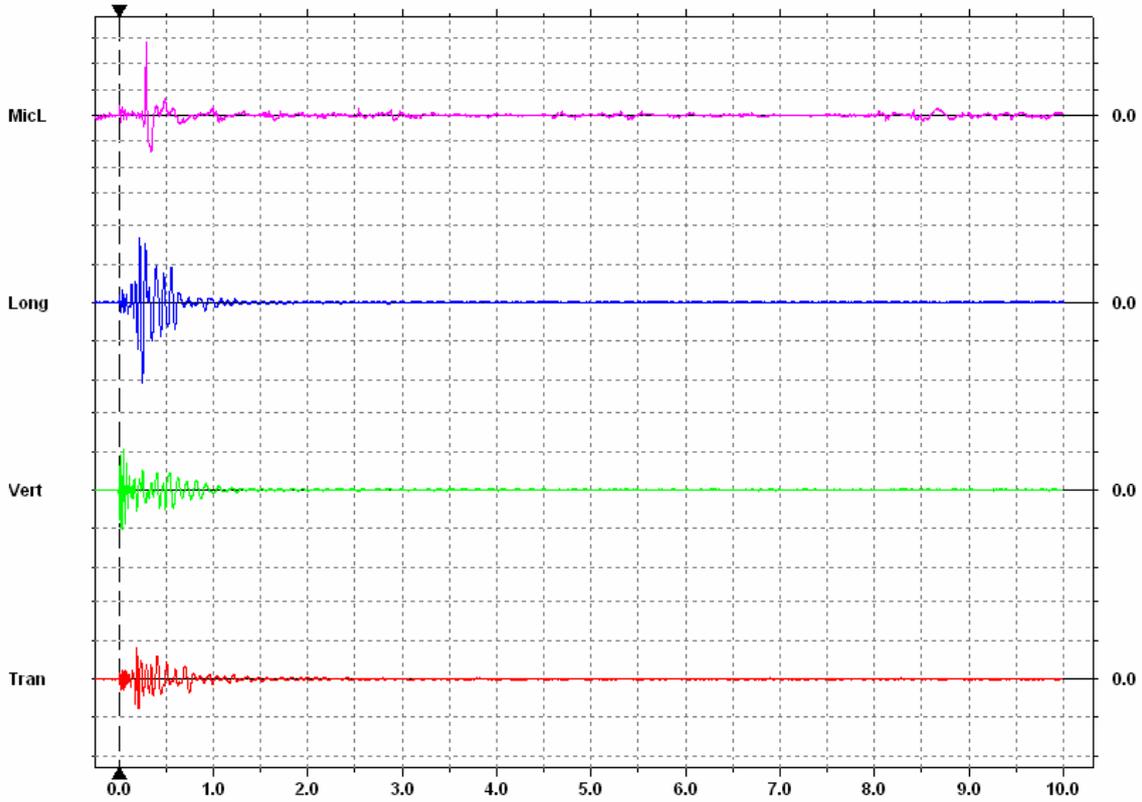
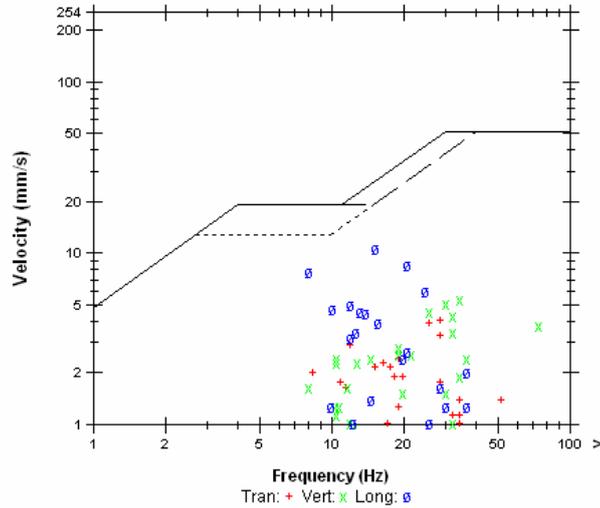
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 28.5 pa.(L) at 0.291 sec
ZC Freq 20 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 775 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	4.06	5.33	10.5	mm/s
ZC Freq	28	34	15	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.190	0.049	0.249	sec
Peak Acceleration	0.0795	0.225	0.119	g
Peak Displacement	0.0383	0.0384	0.114	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 10.8 mm/s at 0.251 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [Symbol]

BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 7 /03 17:23:49 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:23:49 January 7, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by Instantel Inc.
File Name H8139EII.ZP0

Notes

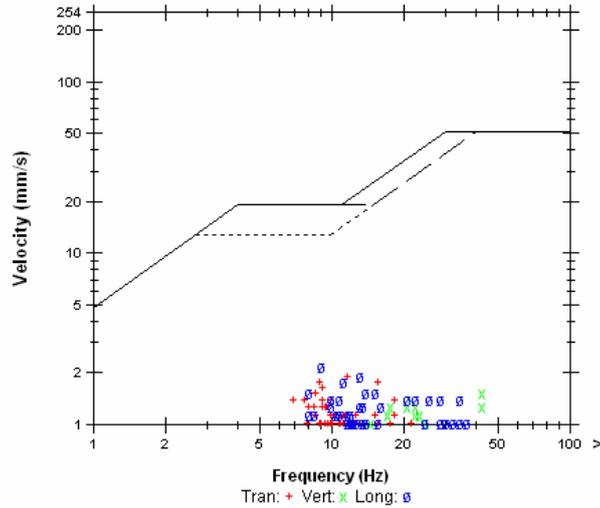
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

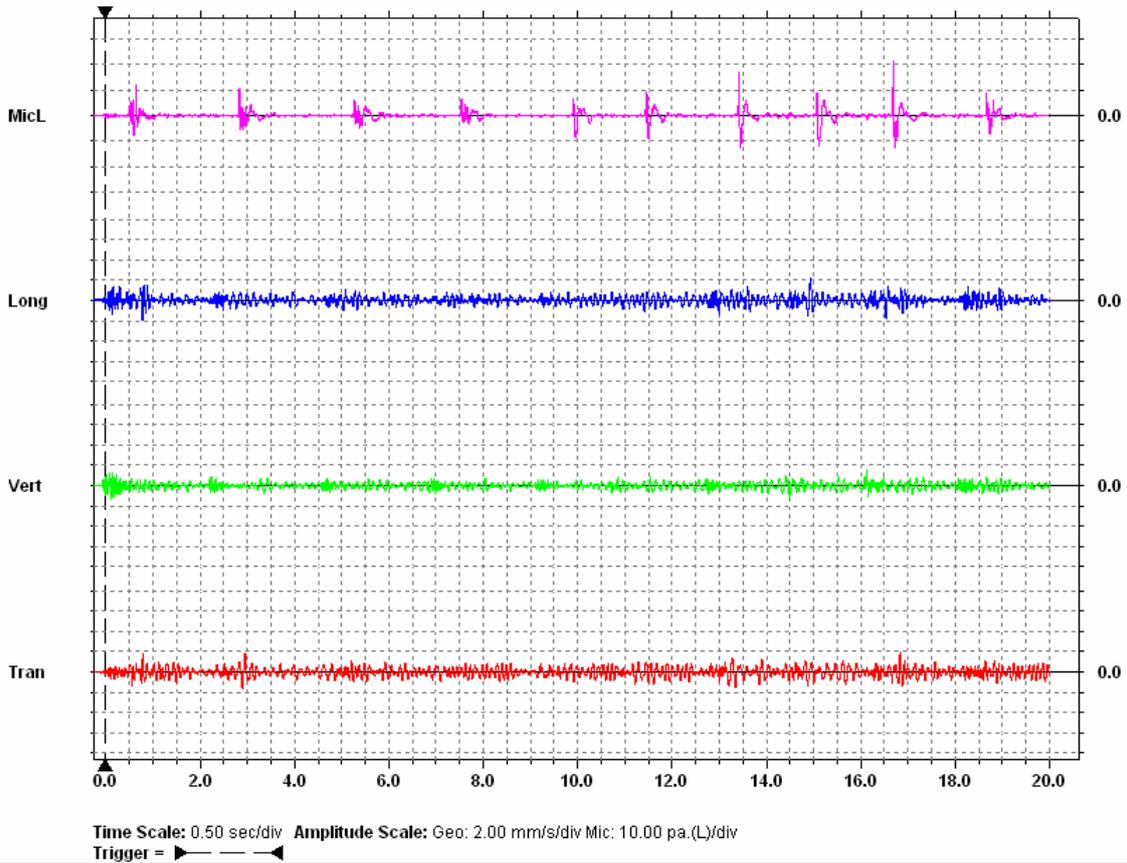
Furos de prod EC+C+Silt NBR 30ms/furo 4s/5 furos
 prof. 4,5m, malha 5x5, tamp. 2m

Microphone Linear Weighting
PSPL 21.3 pa.(L) at 16.684 sec
ZC Freq 12 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 761 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	1.90	1.52	2.16	mm/s
ZC Freq	12	43	9.0	Hz
Time (Rel. to Trig)	16.834	16.130	14.930	sec
Peak Acceleration	0.0265	0.0530	0.0398	g
Peak Displacement	0.0358	0.0149	0.0371	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	



Peak Vector Sum 2.44 mm/s at 0.780 sec



BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 8 /03 17:09:05 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:09:05 January 8, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo :254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139EKC.Z50

Notes

USBM R18507 And OSMRE

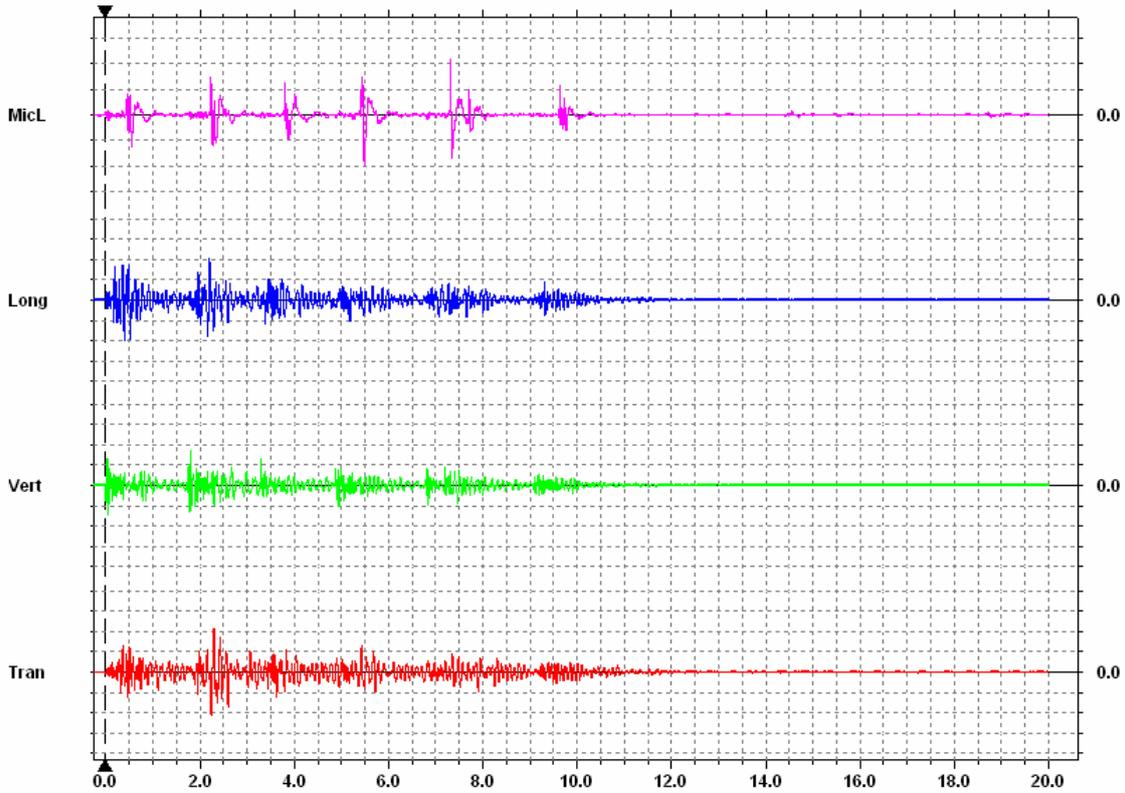
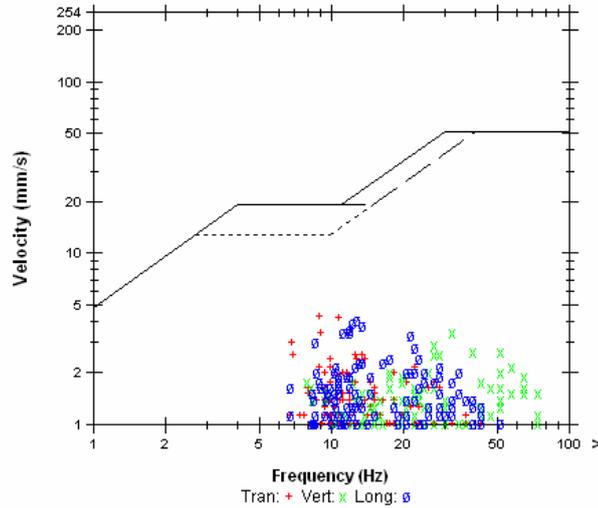
Post Event Notes

Furos de prod. EC+C+Silt 30ms/ 02 furos 10furos/ 4s
 5x5 prof. 4,5

Microphone Linear Weighting
PSPL 21.5 pa.(L) at 7.319 sec
ZC Freq 16 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 766 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	4.32	3.43	4.06	mm/s
ZC Freq	8.8	32	13	Hz
Time (Rel. to Trig)	2.298	1.813	2.201	sec
Peak Acceleration	0.0530	0.0928	0.0530	g
Peak Displacement	0.0722	0.0306	0.0518	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 5.34 mm/s at 2.296 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = ▶ ←

BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 9 /03 17:21:34 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:21:34 January 9, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139EM8.7Y0

Notes

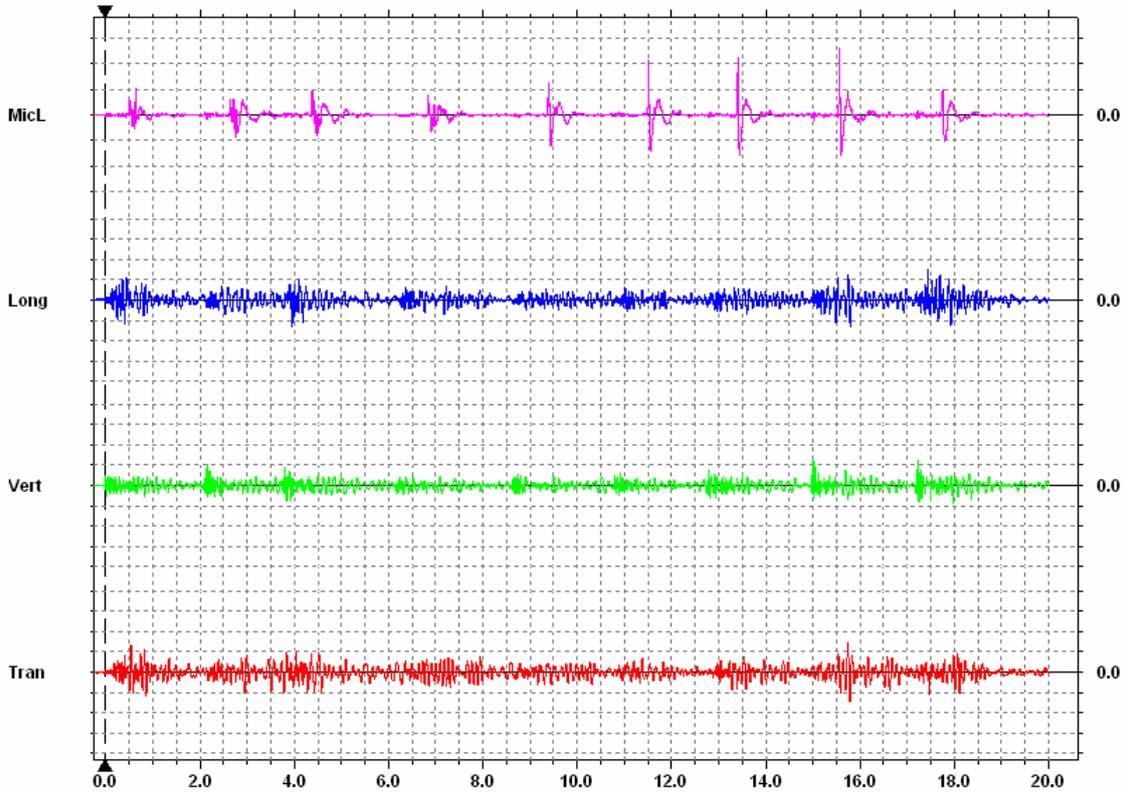
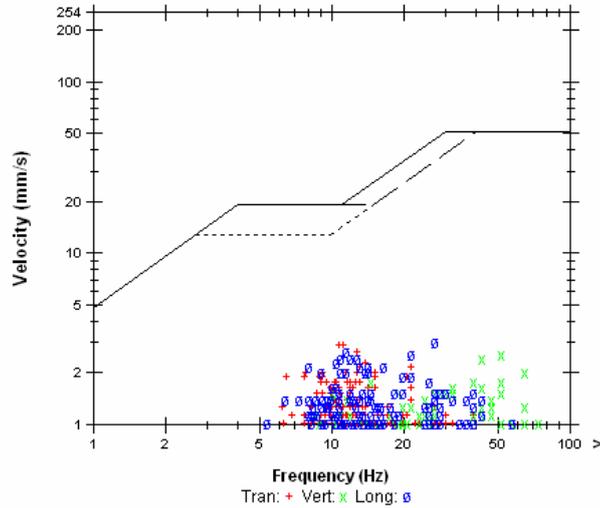
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 26.3 pa.(L) at 15.570 sec
ZC Freq 12 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 750 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	2.92	2.54	3.05	mm/s
ZC Freq	11	51	27	Hz
Time (Rel. to Trig)	15.739	15.011	17.434	sec
Peak Acceleration	0.0265	0.0928	0.0530	g
Peak Displacement	0.0424	0.0235	0.0369	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 3.96 mm/s at 15.744 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [Trigger pulse symbol]

BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 11 /03 17:27:00 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:27:00 January 11, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by Instante! Inc.
File Name H8139EPX.T00

Notes

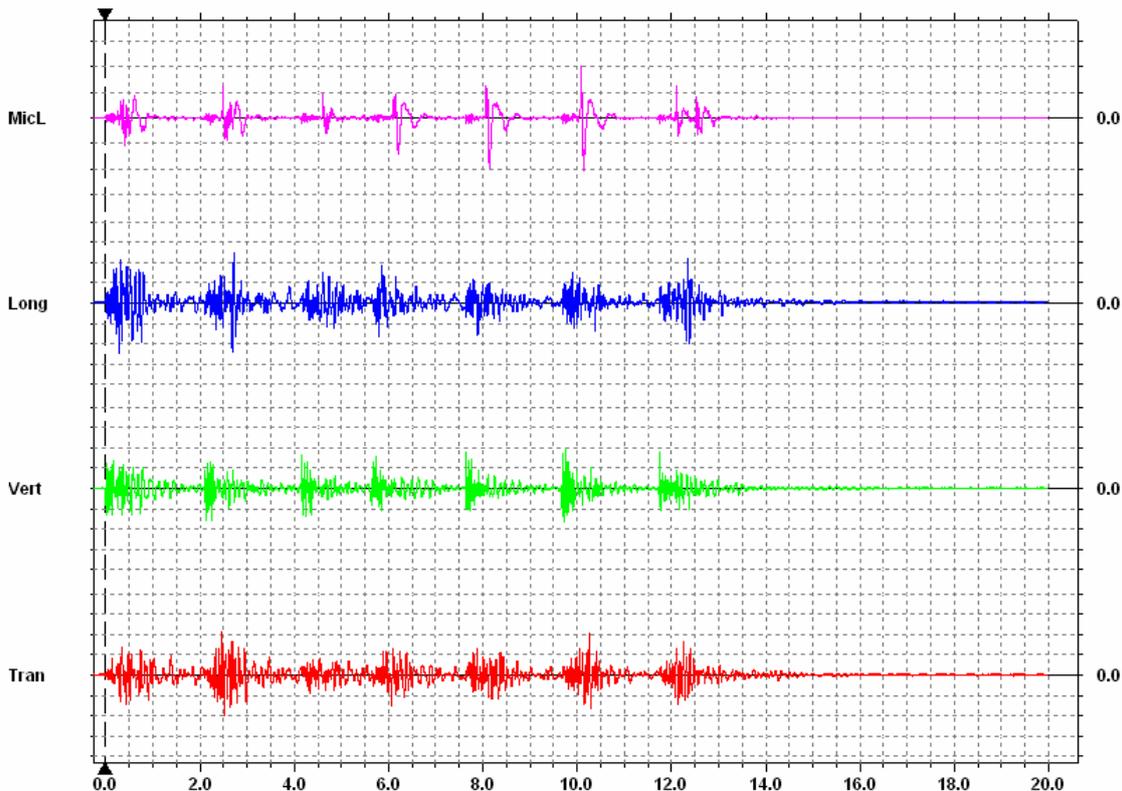
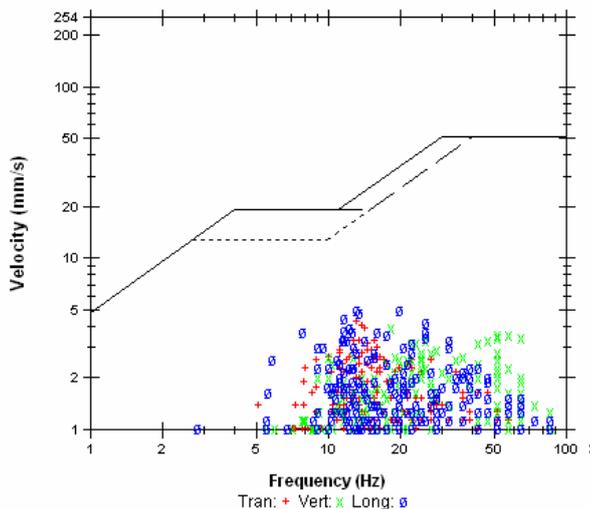
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 20.5 pa.(L) at 10.138 sec
ZC Freq 5.3 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 805 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	4.32	3.94	4.95	mm/s
ZC Freq	13	18	20	Hz
Time (Rel. to Trig)	2.466	9.745	0.281	sec
Peak Acceleration	0.0663	0.133	0.0795	g
Peak Displacement	0.0451	0.0366	0.0608	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 5.68 mm/s at 2.685 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = ▶ ←

Anexo C

**Boletins sismográficos dos testes válidos
para o pacote S12+S3+EL+L+EM+M**

BlastWare Series III - [# BE6813, Dec 16 /02 17:18:17 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:18:17 December 16, 2002
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo :254 mm/s
Record Time 10.0 sec at 1024 sps
Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139DDS.2H0

Notes

USBM R18507 And OSMRE

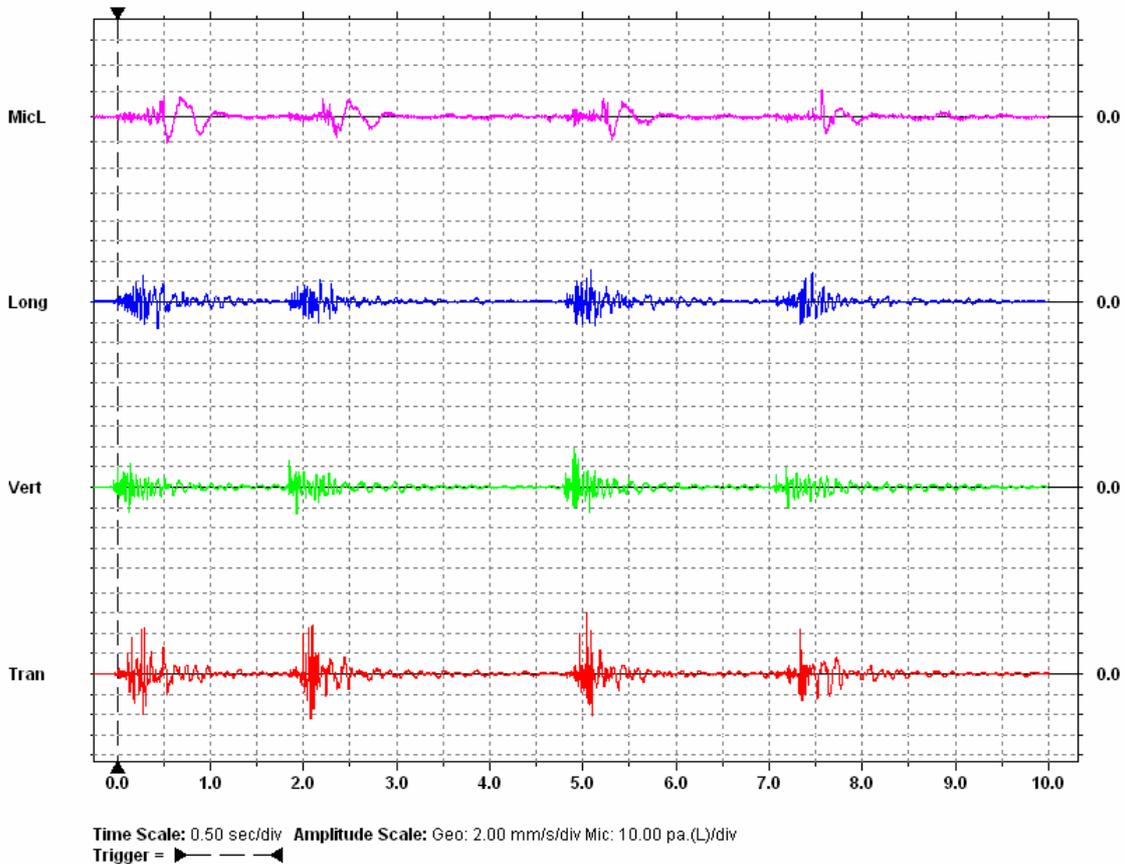
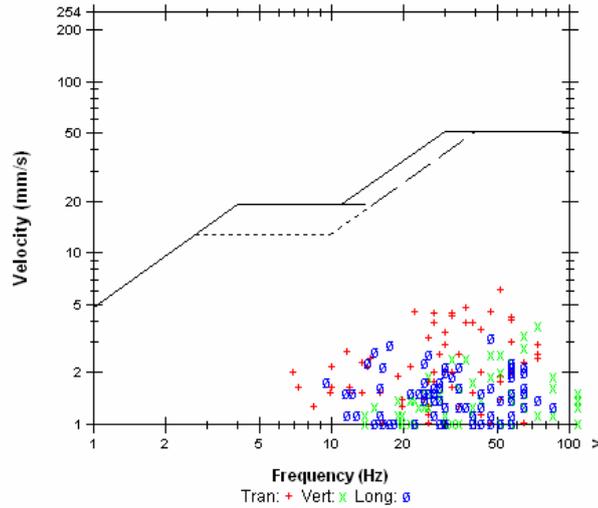
Post Event Notes

S12+S3+L+M NBR sem linha amortecimento

Microphone Linear Weighting
PSPL 10.5 pa.(L) at 0.538 sec
ZC Freq 4.5 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 779 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	6.10	3.81	3.17	mm/s
ZC Freq	51	73	47	Hz
Time (Rel. to Trig)	5.045	4.899	5.082	sec
Peak Acceleration	0.186	0.159	0.0928	g
Peak Displacement	0.0365	0.0154	0.0292	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 6.22 mm/s at 5.045 sec



BlastWare Series III - [# BE6813, Dec 30 /02 17:27:54 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:27:54 December 30, 2002
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139E3P.U10

Notes

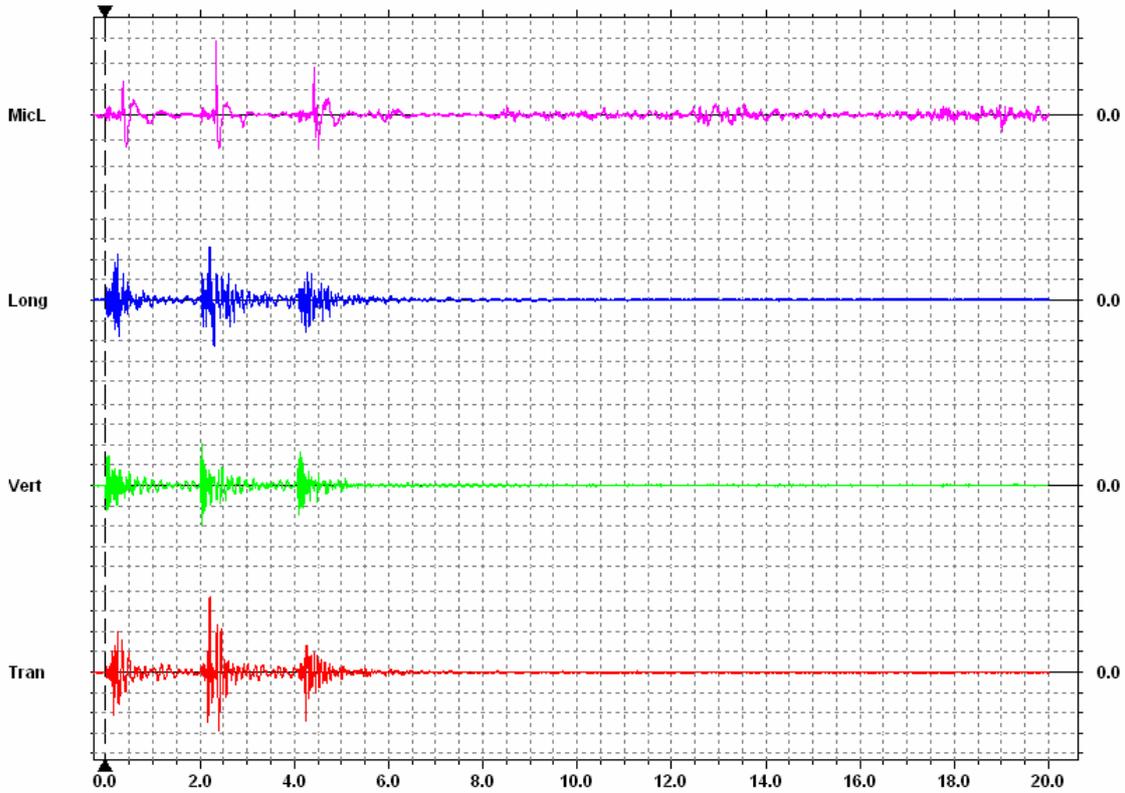
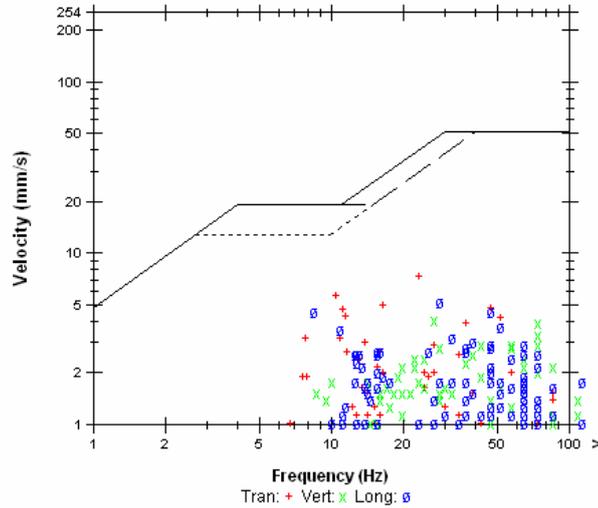
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 28.8 pa.(L) at 2.343 sec
ZC Freq 11 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 817 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	7.37	4.06	5.21	mm/s
ZC Freq	23	27	28	Hz
Time (Rel. to Trig)	2.207	2.037	2.206	sec
Peak Acceleration	0.146	0.172	0.133	g
Peak Displacement	0.0899	0.0284	0.0674	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 9.09 mm/s at 2.207 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [arrow pointing right]

BlastWare Series III - [# BE6813, Dec 31 /02 14:01:50 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 14:01:50 December 31, 2002
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139E5A.Z20

Notes

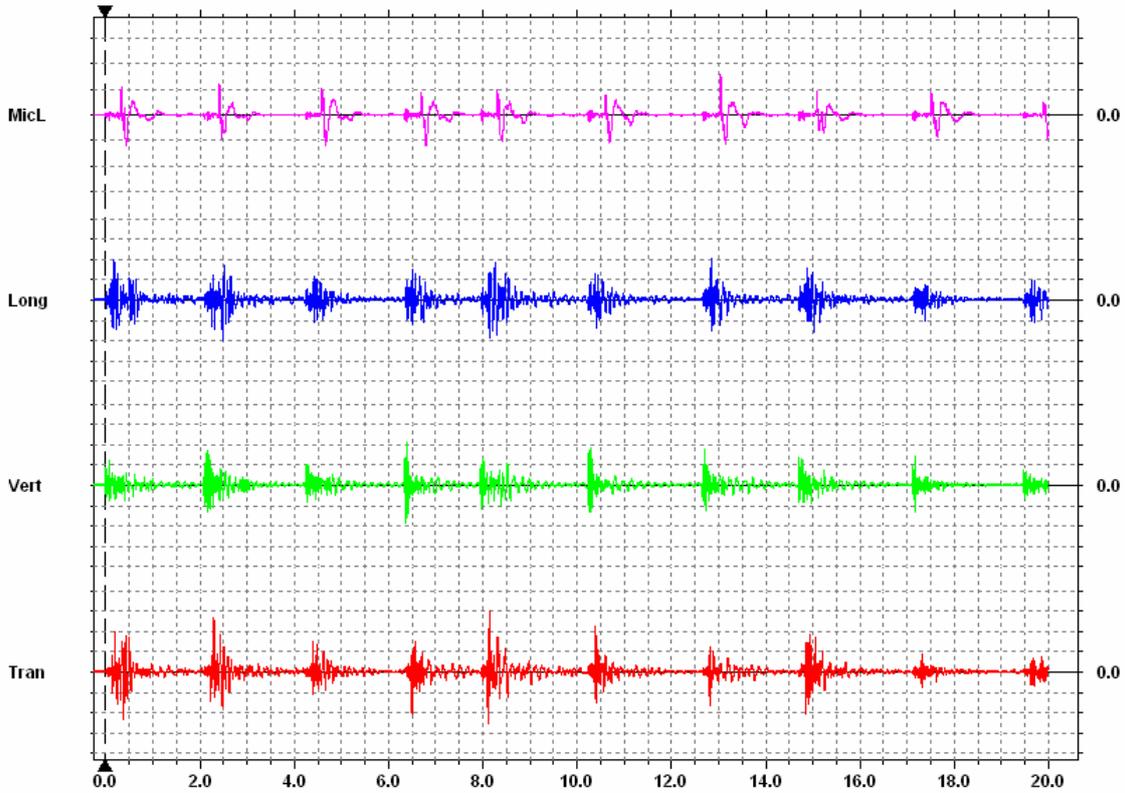
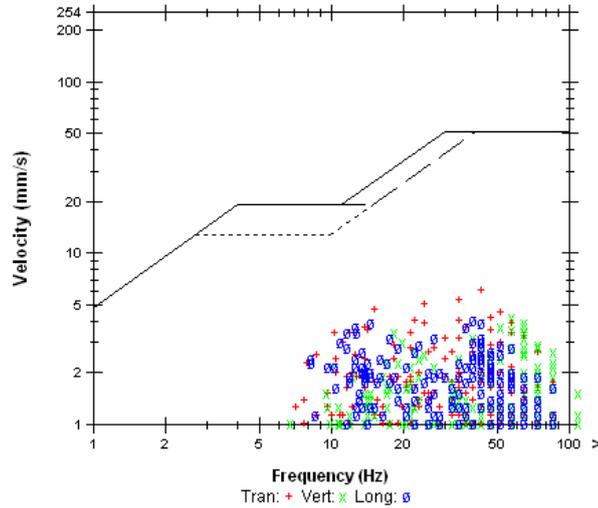
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 15.5 pa.(L) at 13.045 sec
ZC Freq 11 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 783 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	6.10	4.19	4.06	mm/s
ZC Freq	43	57	39	Hz
Time (Rel. to Trig)	8.139	6.400	12.857	sec
Peak Acceleration	0.212	0.186	0.106	g
Peak Displacement	0.0481	0.0295	0.0492	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 6.66 mm/s at 8.139 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [right arrow] [left arrow]

BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 4 /03 16:58:41 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 16:58:41 January 4, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139ECX.TT0

Notes

USBM R18507 And OSMRE

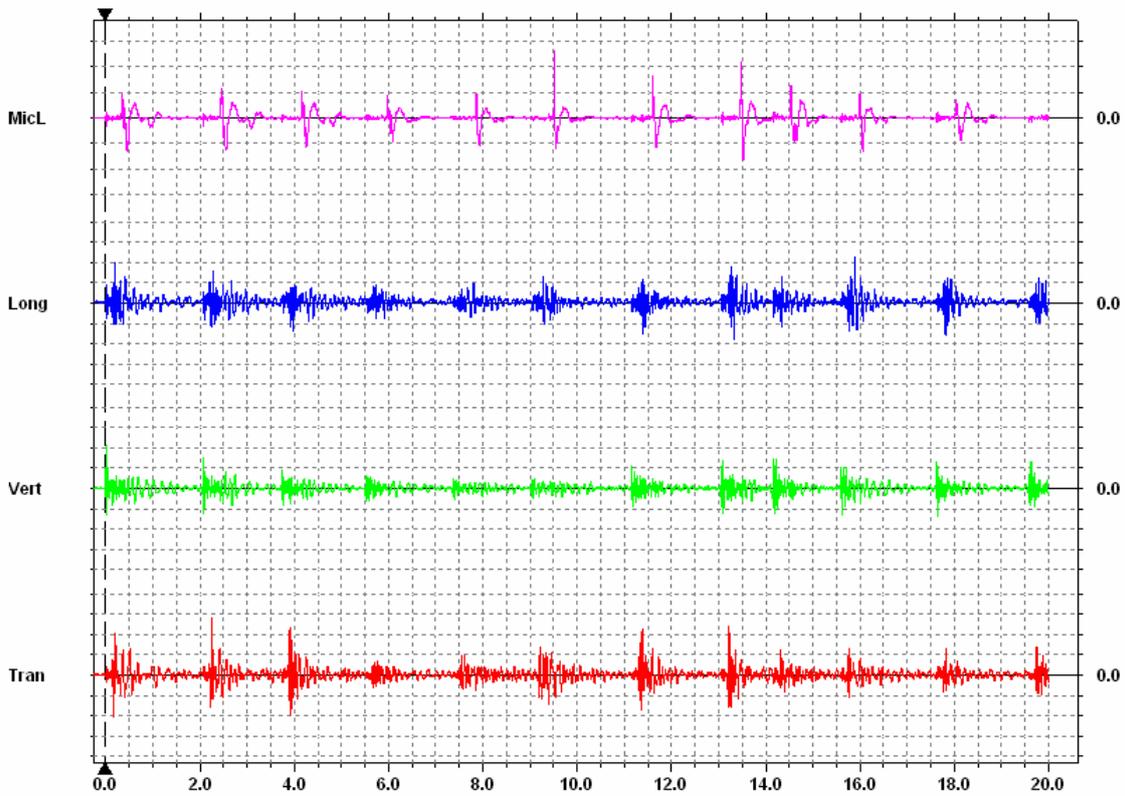
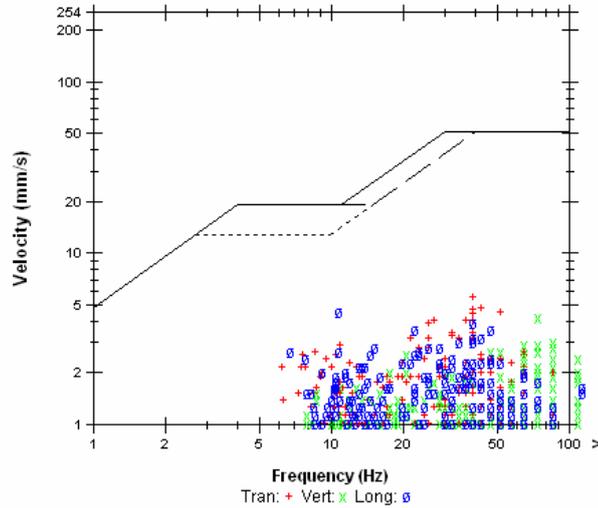
Post Event Notes

Linhas de produção S12+S3+L+M NBR
 2 furos/ret 30ms e 4s/10 furos

Microphone Linear Weighting
PSPL 26.0 pa.(L) at 9.515 sec
ZC Freq 10 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 797 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	5.59	4.19	4.57	mm/s
ZC Freq	39	73	11	Hz
Time (Rel. to Trig)	2.245	0.013	15.890	sec
Peak Acceleration	0.133	0.172	0.106	g
Peak Displacement	0.0445	0.0272	0.0479	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 5.70 mm/s at 2.245 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [Symbol]

BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 9 /03 17:20:06 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:20:06 January 9, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by Instantel Inc.
File Name H8139EM8.510

Notes

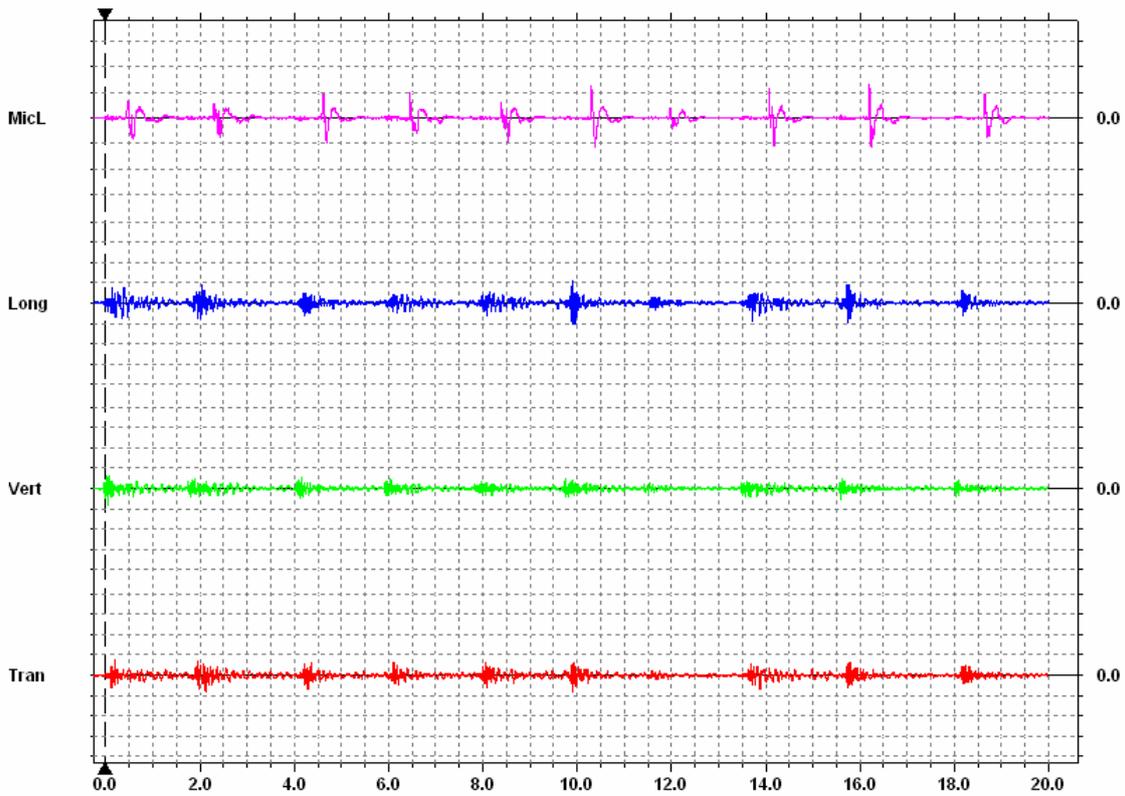
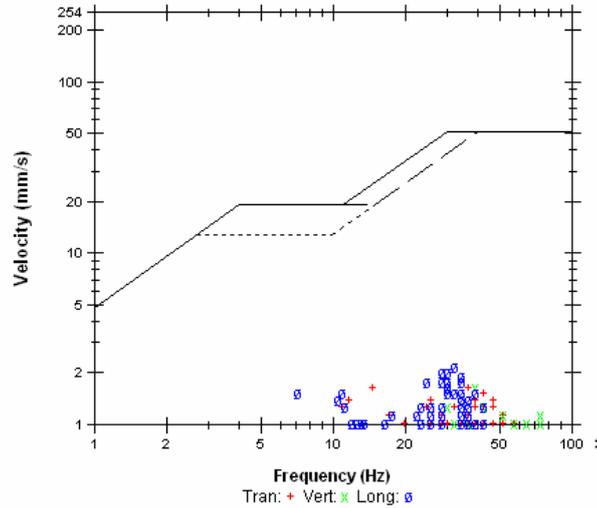
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 13.3 pa.(L) at 16.186 sec
ZC Freq 12 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 701 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	1.65	1.65	2.16	mm/s
ZC Freq	15	39	32	Hz
Time (Rel. to Trig)	2.120	0.037	9.902	sec
Peak Acceleration	0.0398	0.0530	0.0530	g
Peak Displacement	0.0190	0.0116	0.0266	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 2.55 mm/s at 9.917 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = ▶ ◀

BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 11 /03 17:34:54 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:34:54 January 11, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by Instante! Inc.
File Name H8139EPY.660

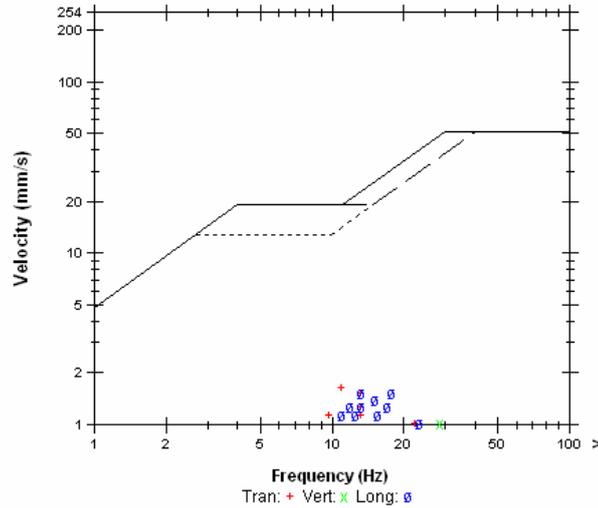
Notes

USBM R18507 And OSMRE

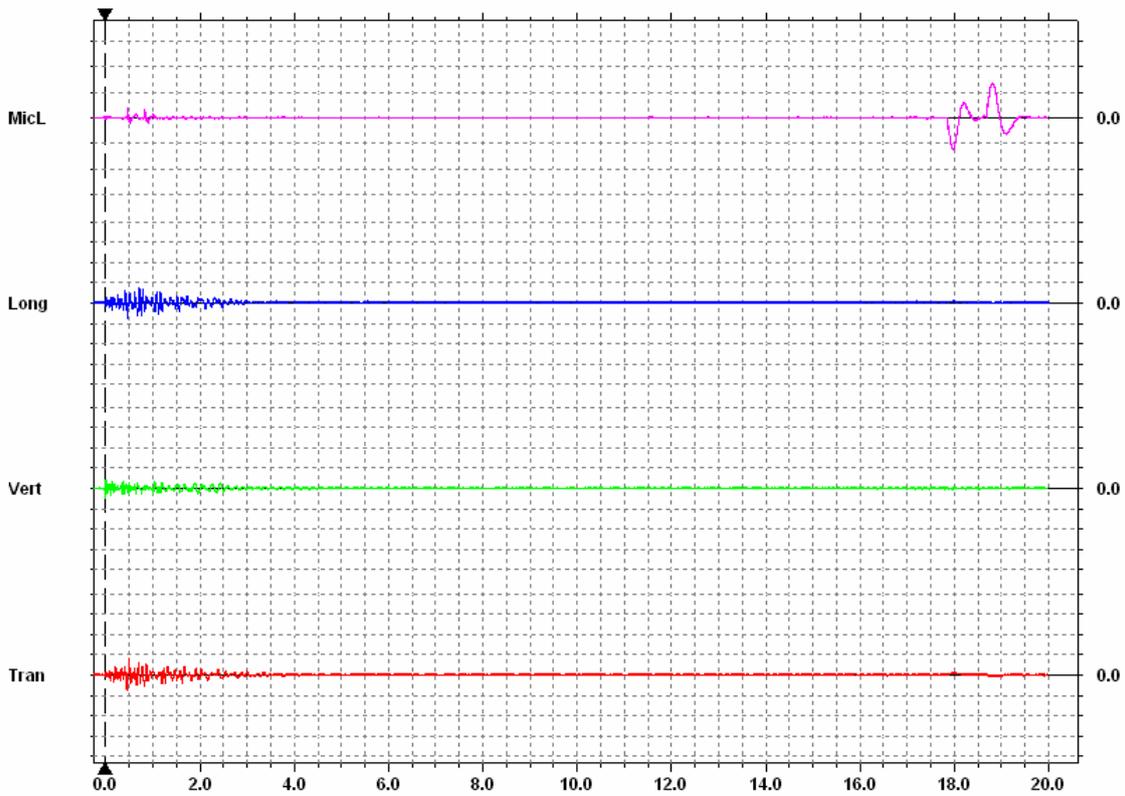
Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 13.8 pa.(L) at 18.800 sec
ZC Freq 1.8 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 705 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	1.65	1.02	1.52	mm/s
ZC Freq	11	28	18	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.494	0.000	0.458	sec
Peak Acceleration	0.0265	0.0398	0.0265	g
Peak Displacement	0.0183	0.00986	0.0240	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	



Peak Vector Sum 1.82 mm/s at 0.494 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [right arrow] [left arrow]

BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 13 /03 17:14:04 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:14:04 January 13, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by Instante! Inc.
File Name H8139ETM.JG0

Notes

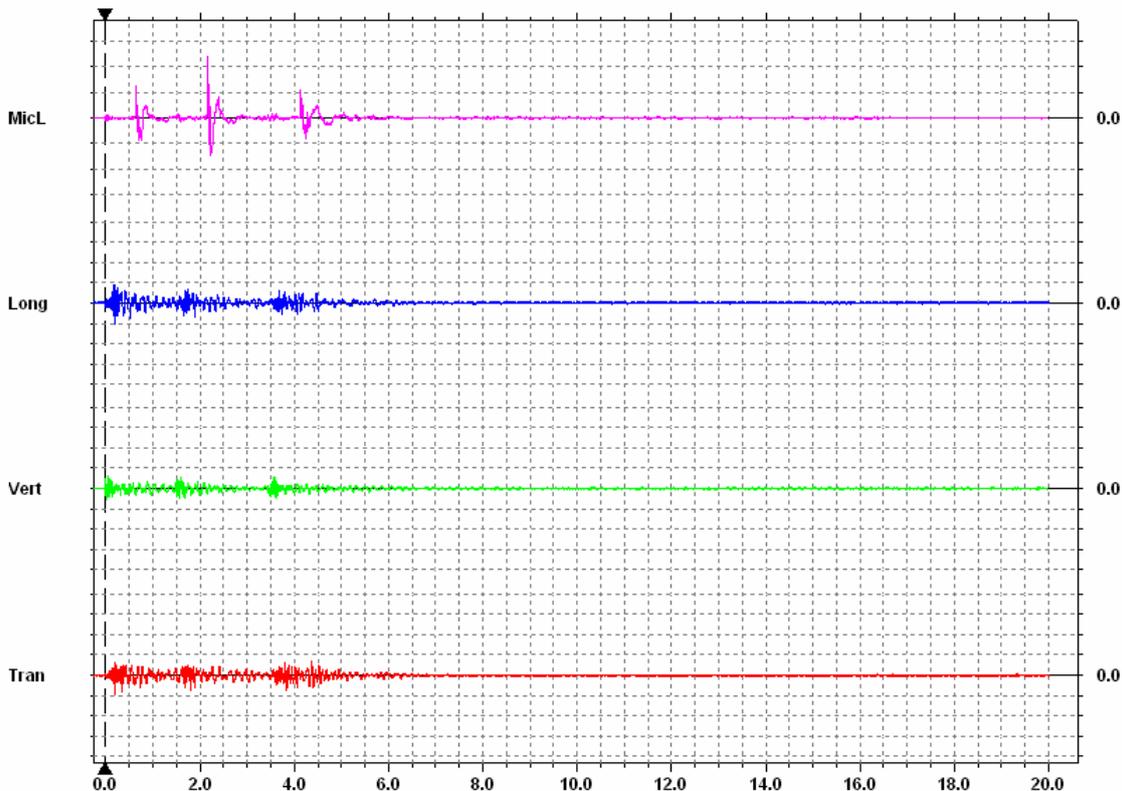
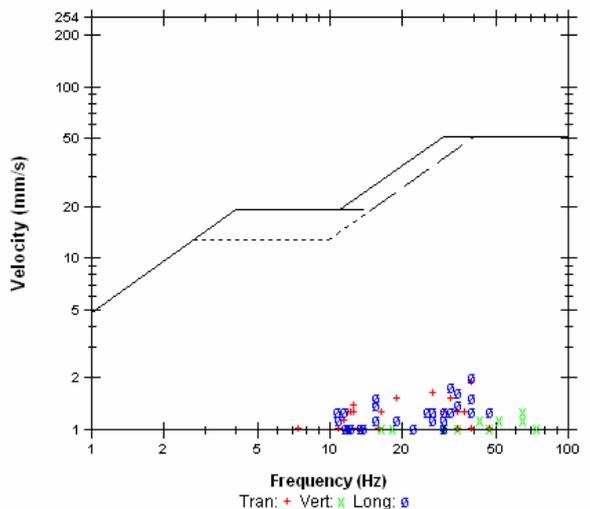
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 23.8 pa.(L) at 2.170 sec
ZC Freq 12 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 765 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	1.90	1.27	2.03	mm/s
ZC Freq	39	64	39	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.190	0.035	0.194	sec
Peak Acceleration	0.0398	0.0530	0.0530	g
Peak Displacement	0.0189	0.0103	0.0201	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 2.54 mm/s at 0.192 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [arrow pointing right]

BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 28 /03 13:51:05 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 13:51:05 January 28, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.4 Volts
Calibration October 29, 1999 by Instante! Inc.
File Name H8139FL5.550

Notes

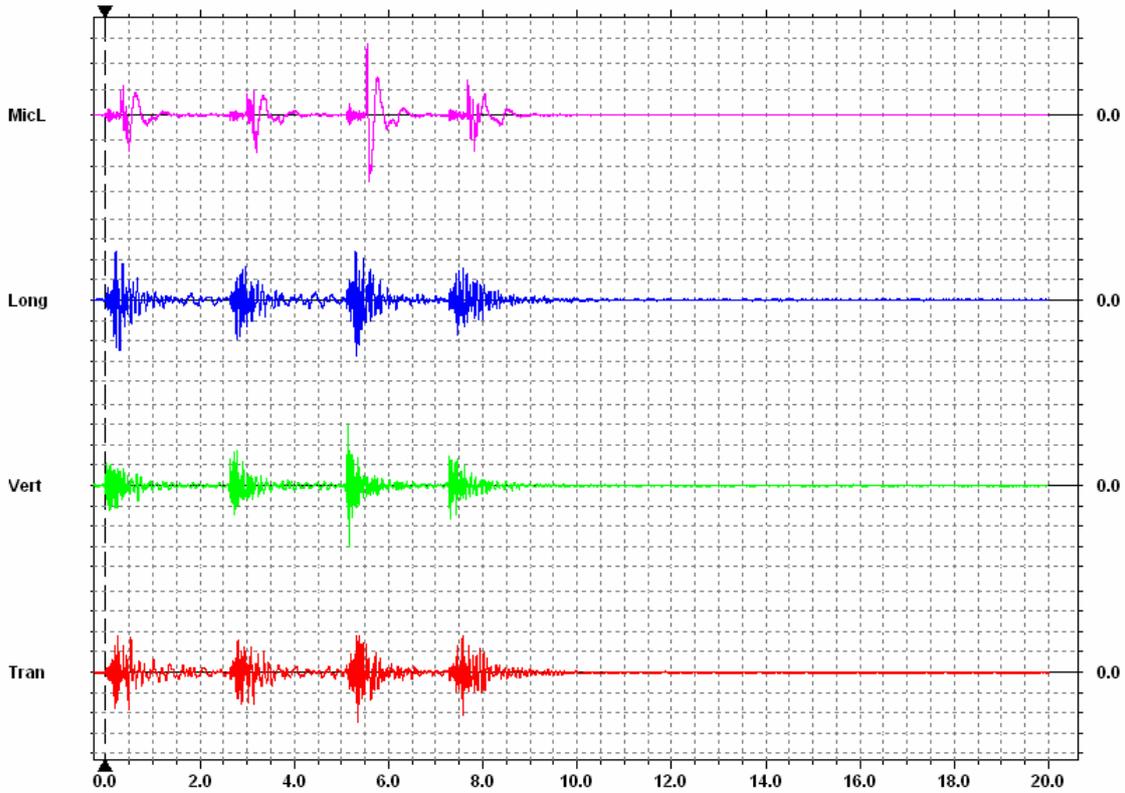
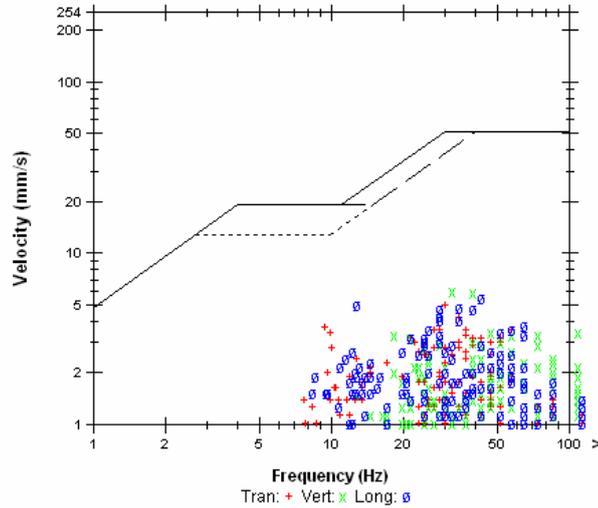
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 27.5 pa.(L) at 5.557 sec
ZC Freq 7.9 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 713 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	4.95	5.97	5.46	mm/s
ZC Freq	30	32	43	Hz
Time (Rel. to Trig)	5.343	5.175	5.329	sec
Peak Acceleration	0.133	0.265	0.159	g
Peak Displacement	0.0585	0.0228	0.0414	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 6.56 mm/s at 5.329 sec



BlastWare Series III - [# BE6813, Dec 16 /02 17:18:17 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:18:17 December 16, 2002
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo :254 mm/s
Record Time 10.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139DDS.2HO

Notes

USBM RI8507 And OSMRE

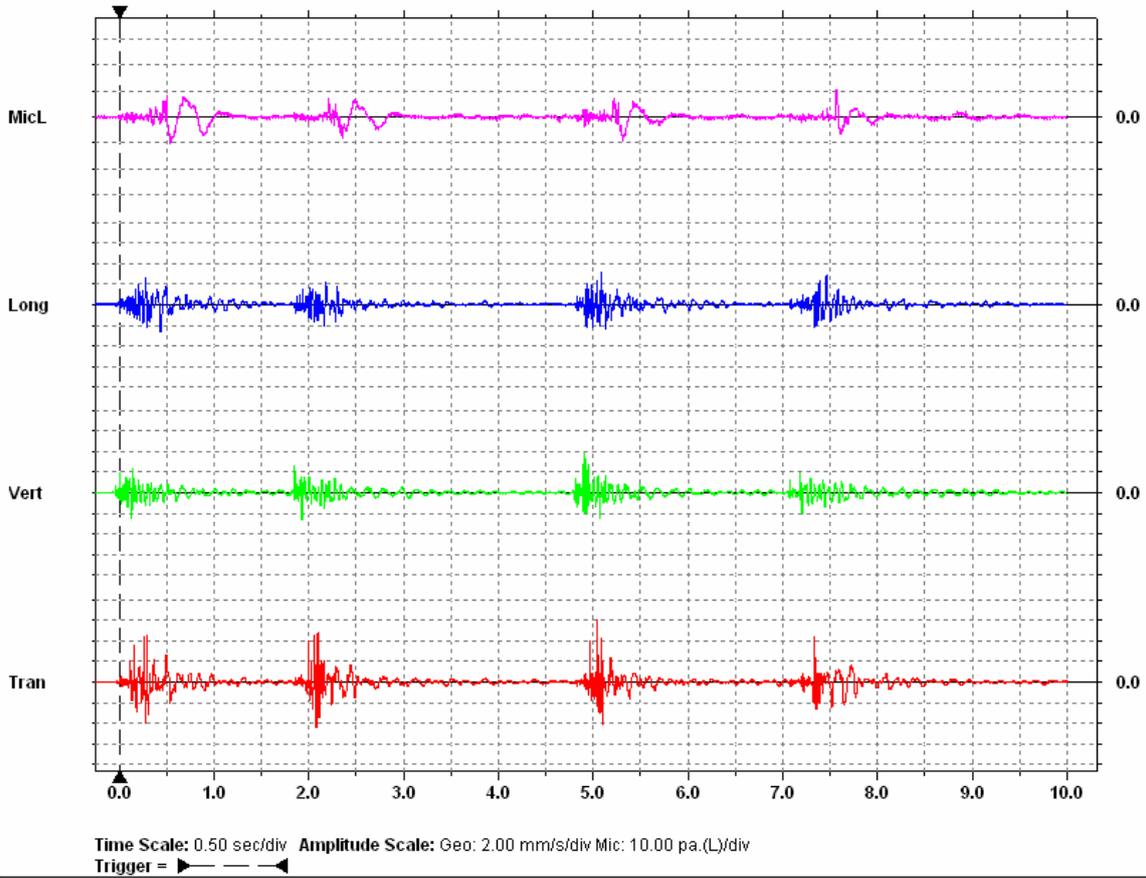
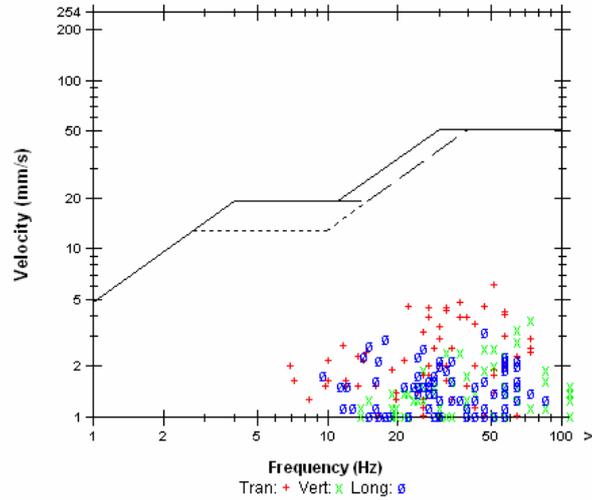
Post Event Notes

S12+S3+L+M NBR sem linha amortecimento

Microphone Linear Weighting
PSPL 10.5 pa.(L) at 0.538 sec
ZC Freq 4.5 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 779 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	6.10	3.81	3.17	mm/s
ZC Freq	51	73	47	Hz
Time (Rel. to Trig)	5.045	4.899	5.082	sec
Peak Acceleration	0.186	0.159	0.0928	g
Peak Displacement	0.0365	0.0154	0.0292	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 6.22 mm/s at 5.045 sec



BlastWare Series III - [#BE6812, Feb 17 /03 18:13:28 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 18:13:28 February 17, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo :254 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps
Job Number: 1

Serial Number BE6812 V 4.33-4.33 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8129GMI.MG0

Notes

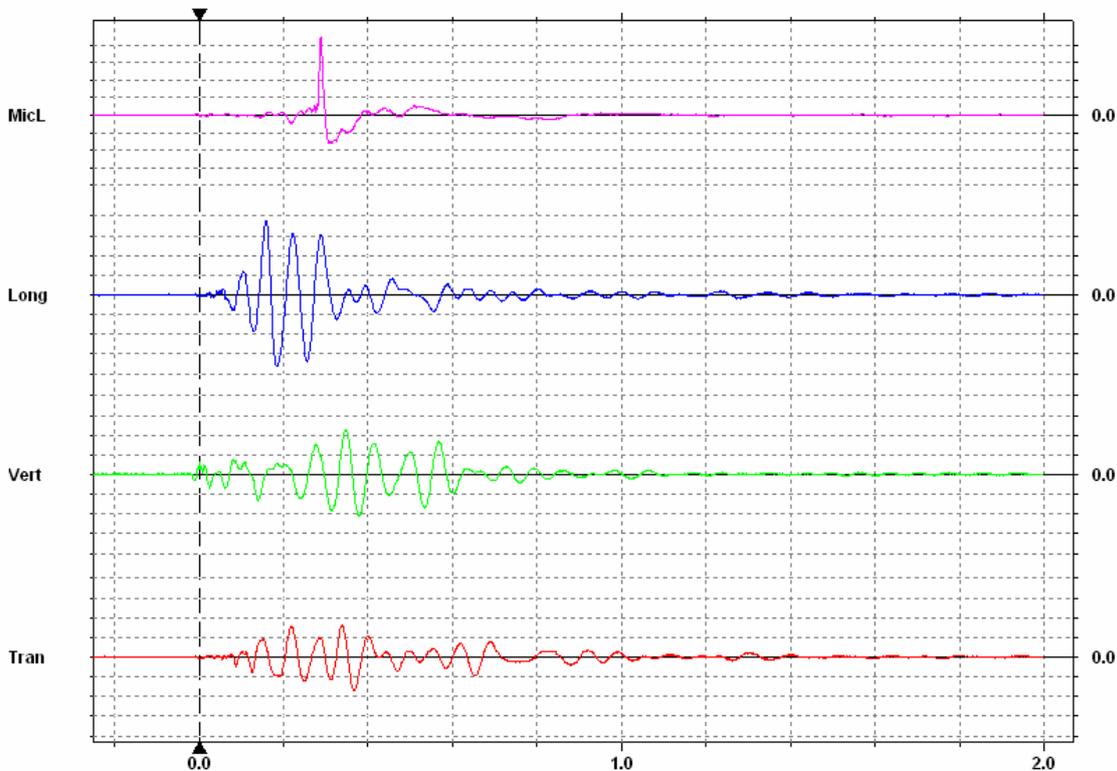
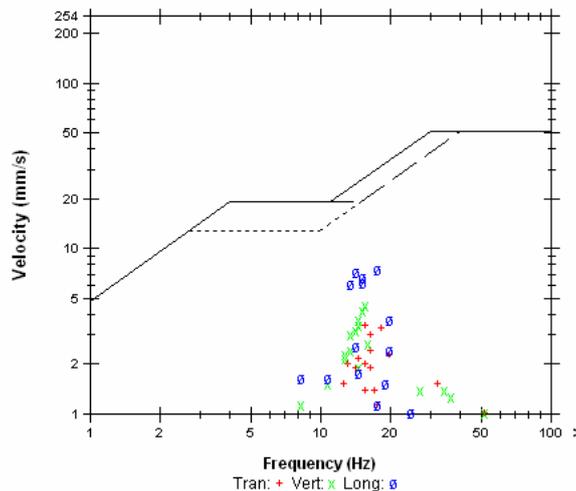
USBM RI8507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 44.3 pa.(L) at 0.288 sec
ZC Freq 7.5 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 690 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	3.43	4.57	7.49	mm/s
ZC Freq	16	16	18	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.365	0.347	0.158	sec
Peak Acceleration	0.0530	0.0530	0.106	g
Peak Displacement	0.0347	0.0468	0.0843	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 7.60 mm/s at 0.158 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [Arrow pointing to 0.0 on the time axis]

BlastWare Series III - [#BE6812, Feb 17 /03 18:18:27 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 18:18:27 February 17, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: 254 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps
Job Number: 1

Serial Number BE6812 V 4.33-4.33 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8129GML.UR0

Notes

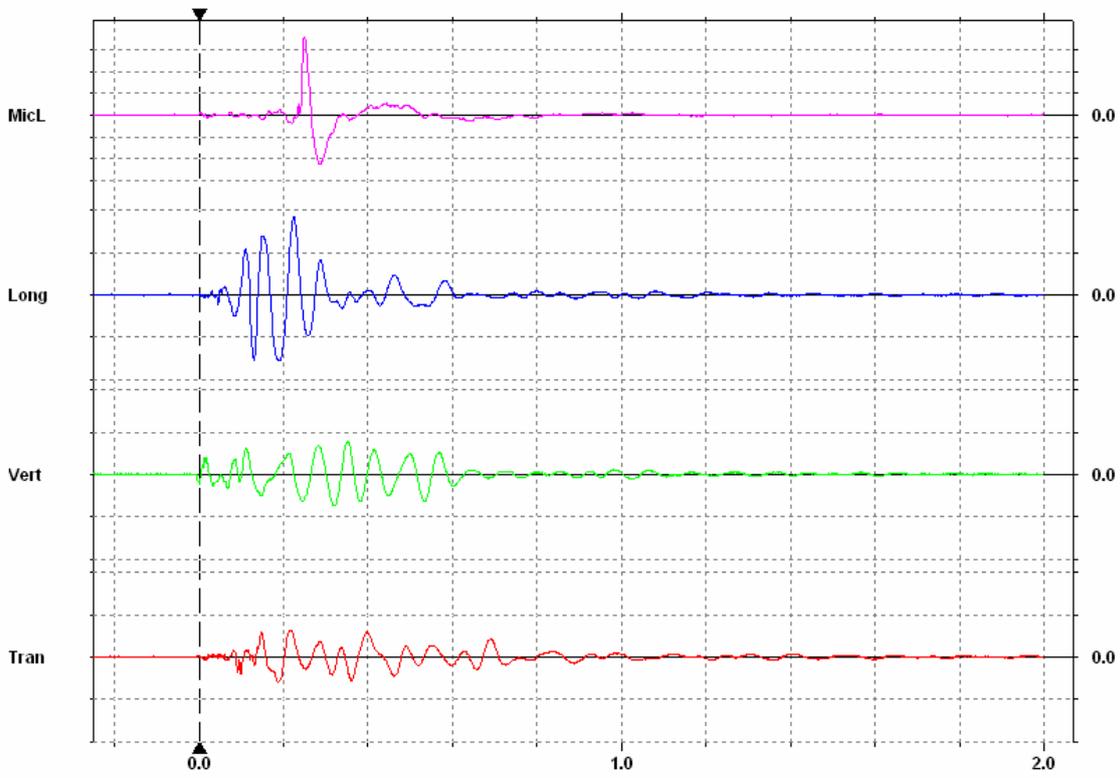
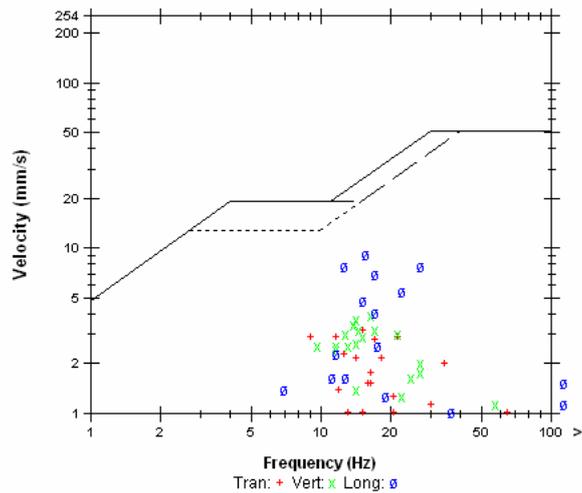
USBM RI8507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 35.5 pa.(L) at 0.248 sec
ZC Freq 15 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 669 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	3.17	3.94	9.14	mm/s
ZC Freq	15	17	16	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.215	0.351	0.223	sec
Peak Acceleration	0.0795	0.0795	0.159	g
Peak Displacement	0.0419	0.0417	0.108	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 9.56 mm/s at 0.223 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [Symbol]

BlastWare Series III - [#BE6812, Feb 17 /03 18:23:34 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 18:23:34 February 17, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: 254 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps
Job Number: 1

Serial Number BE6812 V 4.33-4.33 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8129GMJ.3A0

Notes

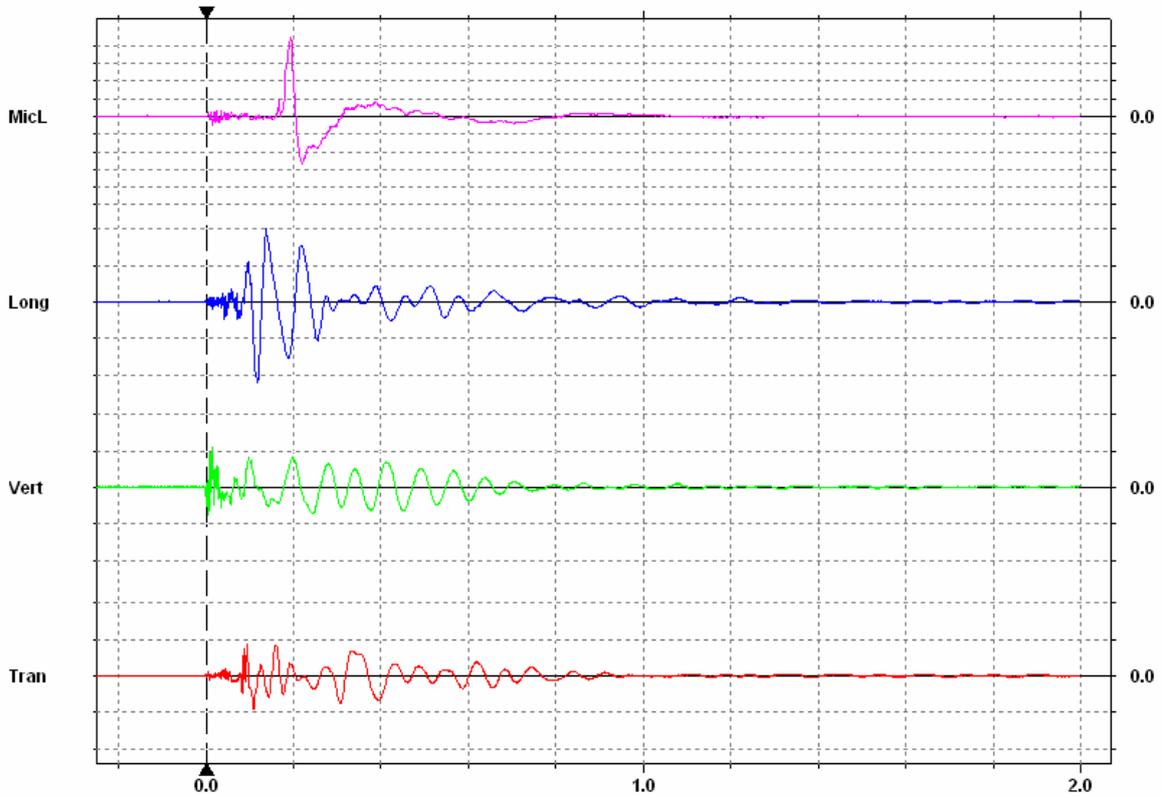
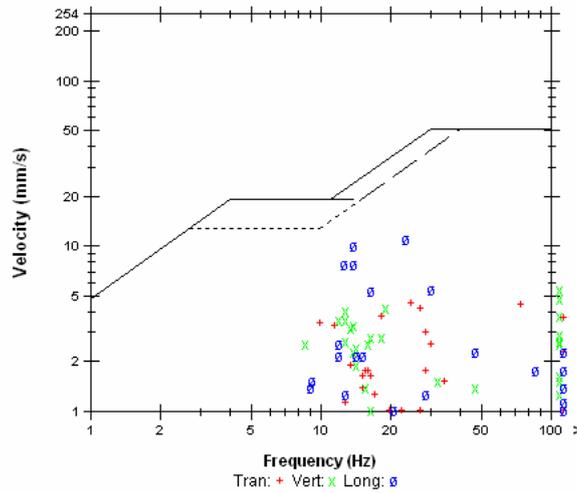
USBM RI8507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 45.0 pa.(L) at 0.194 sec
ZC Freq 15 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 681 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	4.57	5.46	11.0	mm/s
ZC Freq	24	>100	23	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.108	0.015	0.118	sec
Peak Acceleration	0.265	0.437	0.199	g
Peak Displacement	0.0648	0.0486	0.0956	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 11.0 mm/s at 0.118 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger =

BlastWare Series III - [#BE6812, Feb 17 /03 18:27:52 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 18:27:52 February 17, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: 254 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps
Job Number: 1

Serial Number BE6812 V 4.33-4.33 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8129GMJ.AG0

Notes

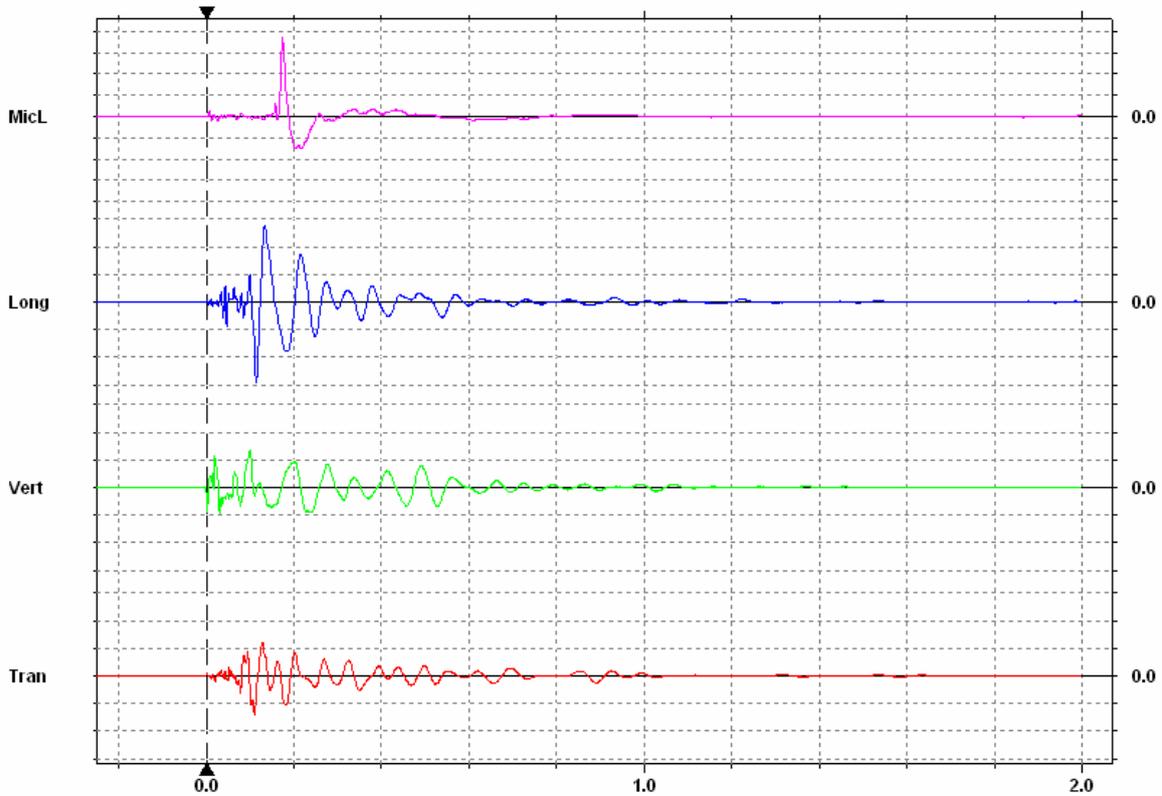
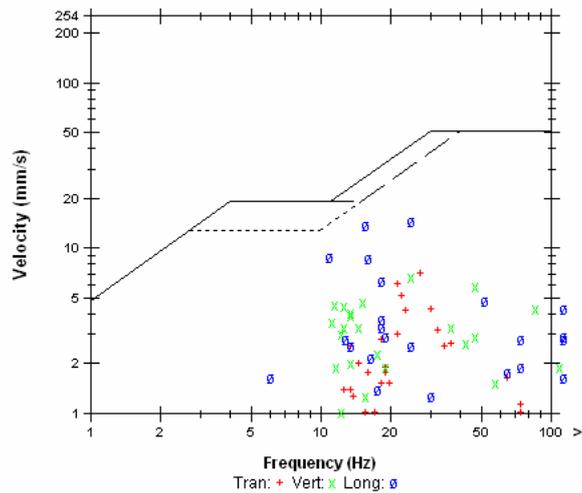
USBM RI8507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 75.0 pa.(L) at 0.174 sec
ZC Freq 21 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.3 Hz Amp = 645 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	7.11	6.73	14.5	mm/s
ZC Freq	27	24	24	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.110	0.100	0.114	sec
Peak Acceleration	0.225	0.278	0.278	g
Peak Displacement	0.0415	0.0676	0.129	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 14.9 mm/s at 0.113 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 20.0 pa.(L)/div
Trigger =

ANEXO 1F

BlastWare Series III - [# BE6813, Dec 18 /02 17:22:33 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:22:33 December 18, 2002
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 10.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139DHH.LL0

Notes

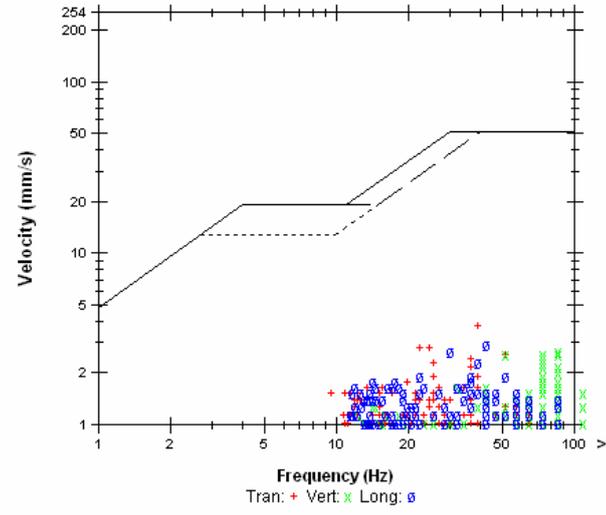
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

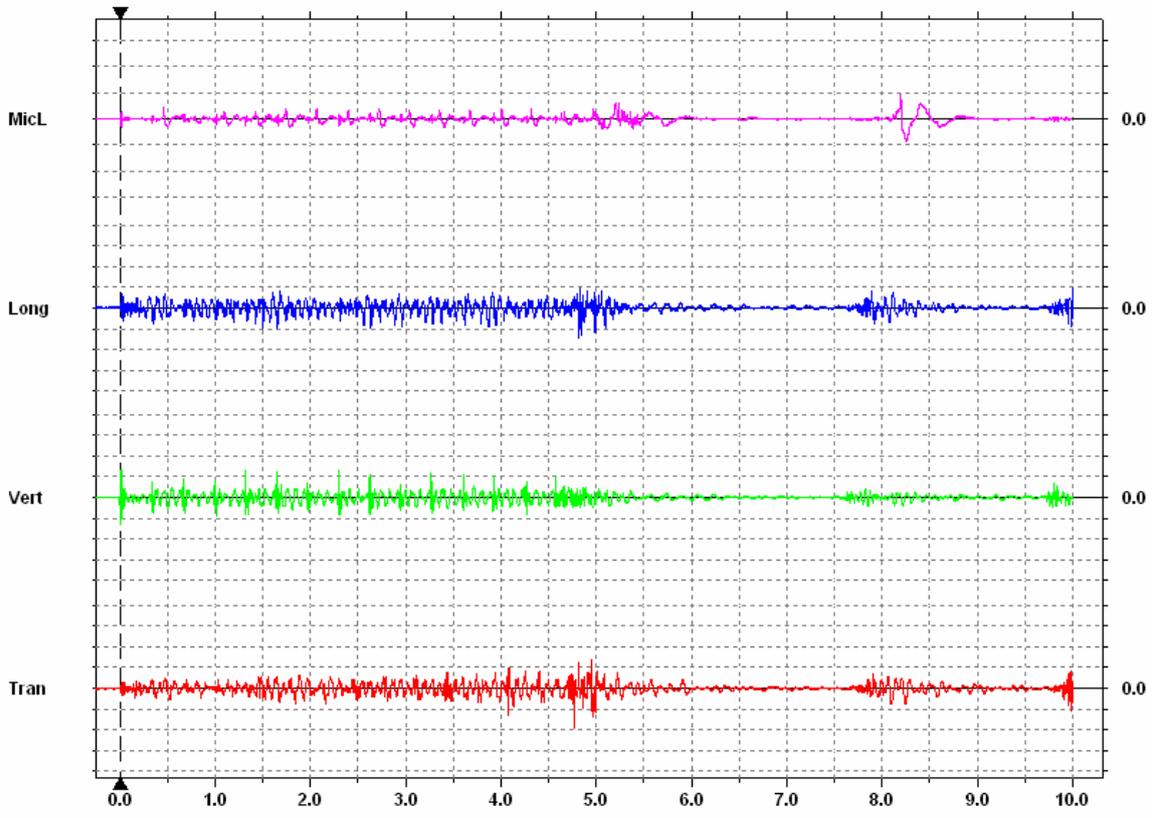
canada S12+S3+L+M corte NBR
 No sinal há mistura da linha(14 furos) de amortecimento com as de produção
 retardos linha amort 350 ms 14 retardos + 30 ms no furo

Microphone Linear Weighting
PSPL 9.25 pa.(L) at 8.194 sec
ZC Freq 8.5 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 787 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	3.81	2.67	2.92	mm/s
ZC Freq	39	85	43	Hz
Time (Rel. to Trig)	4.767	0.012	4.813	sec
Peak Acceleration	0.0795	0.159	0.0795	g
Peak Displacement	0.0228	0.0141	0.0198	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	



Peak Vector Sum 3.99 mm/s at 4.767 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
 Trigger =

BlastWare Series III - [# BE6813, Dec 30 /02 17:27:20 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:27:20 December 30, 2002
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139E3P.TK0

Notes

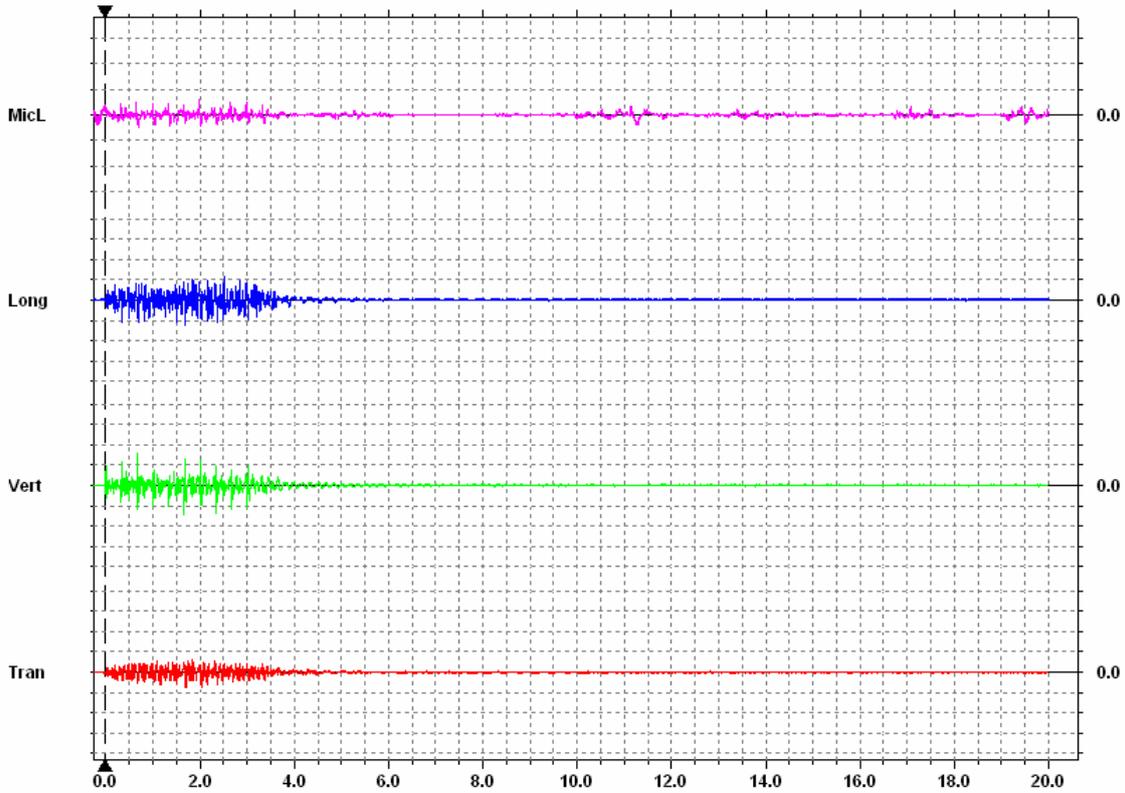
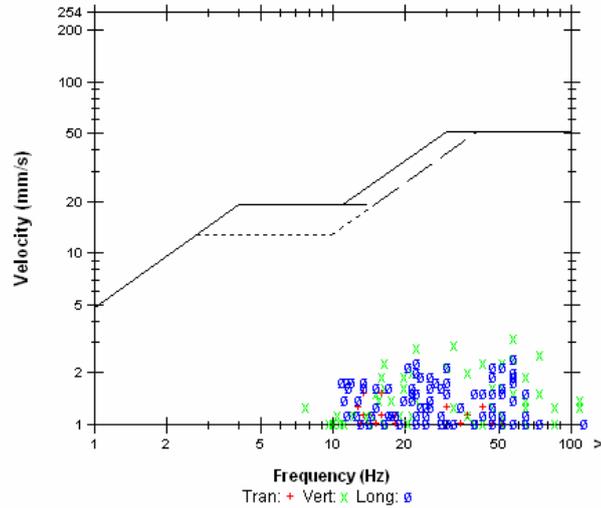
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 6.00 pa.(L) at 1.979 sec
ZC Freq 12 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 813 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	1.52	3.17	2.41	mm/s
ZC Freq	13	57	57	Hz
Time (Rel. to Trig)	1.699	0.678	1.688	sec
Peak Acceleration	0.0530	0.133	0.0928	g
Peak Displacement	0.0146	0.0193	0.0241	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 3.61 mm/s at 0.678 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [right arrow] [left arrow]

BlastWare Series III - [# BE6813, Dec 31 /02 13:59:00 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 13:59:00 December 31, 2002
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139E5A.UC0

Notes

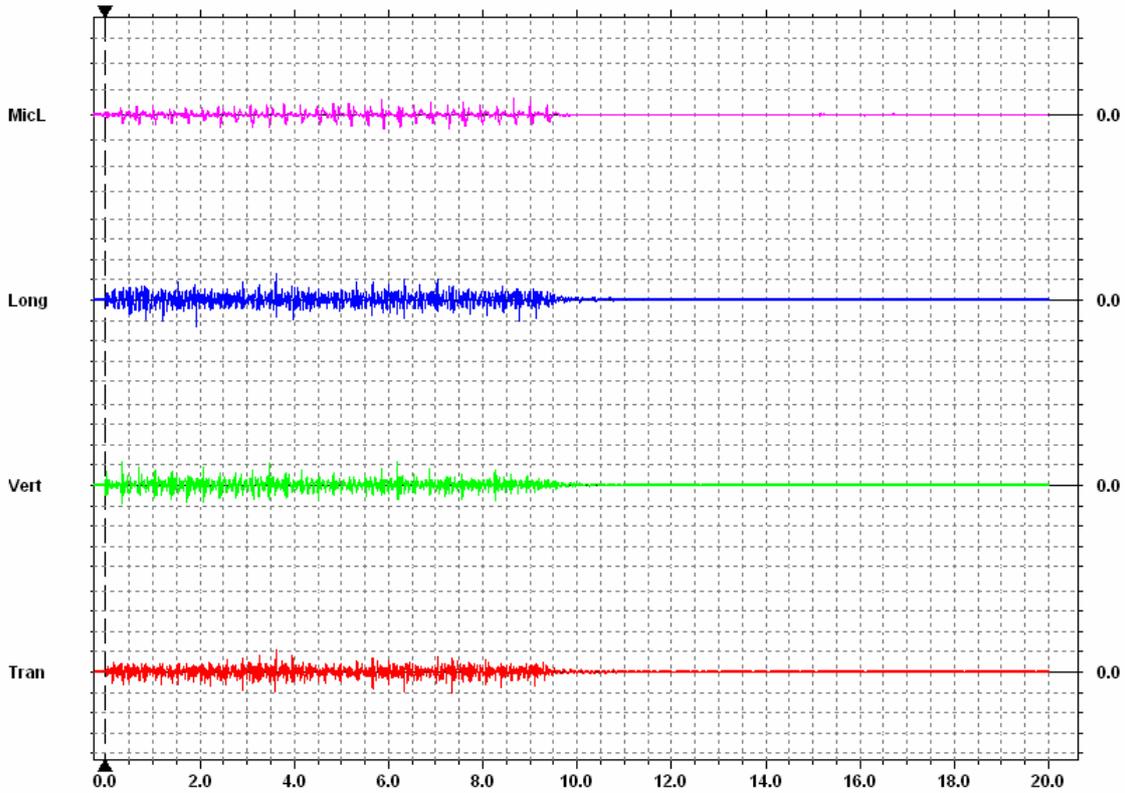
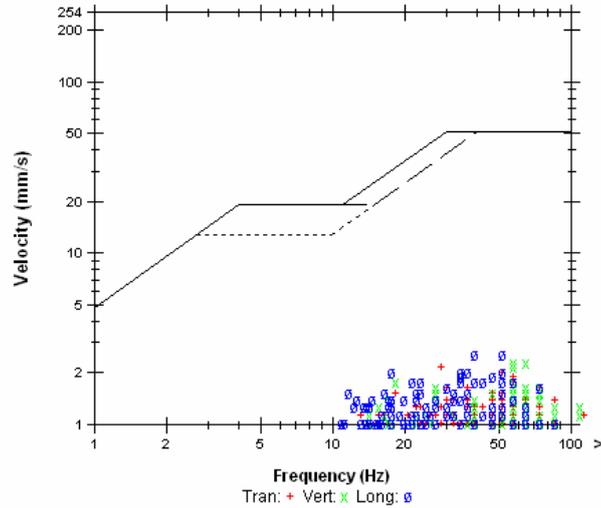
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 6.75 pa.(L) at 8.647 sec
ZC Freq 26 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 746 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	2.16	2.29	2.54	mm/s
ZC Freq	28	57	39	Hz
Time (Rel. to Trig)	3.608	0.354	1.916	sec
Peak Acceleration	0.0795	0.106	0.0928	g
Peak Displacement	0.0128	0.0120	0.0158	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 3.34 mm/s at 3.610 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [right arrow] [left arrow]

BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 4 /03 16:57:33 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Tran at 16:57:33 January 4, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.4 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139ECX.RX0

Notes

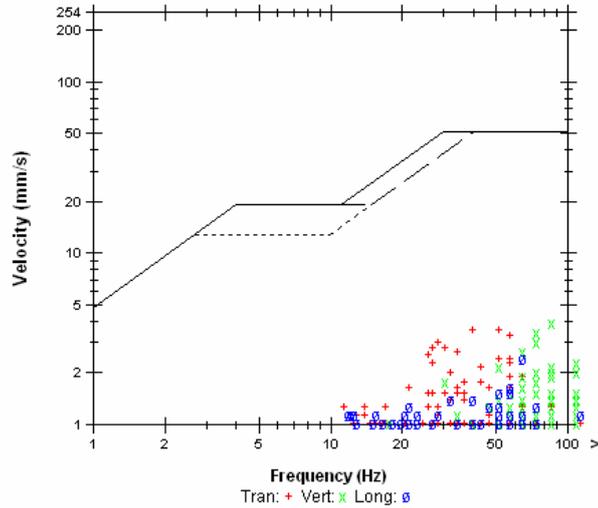
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

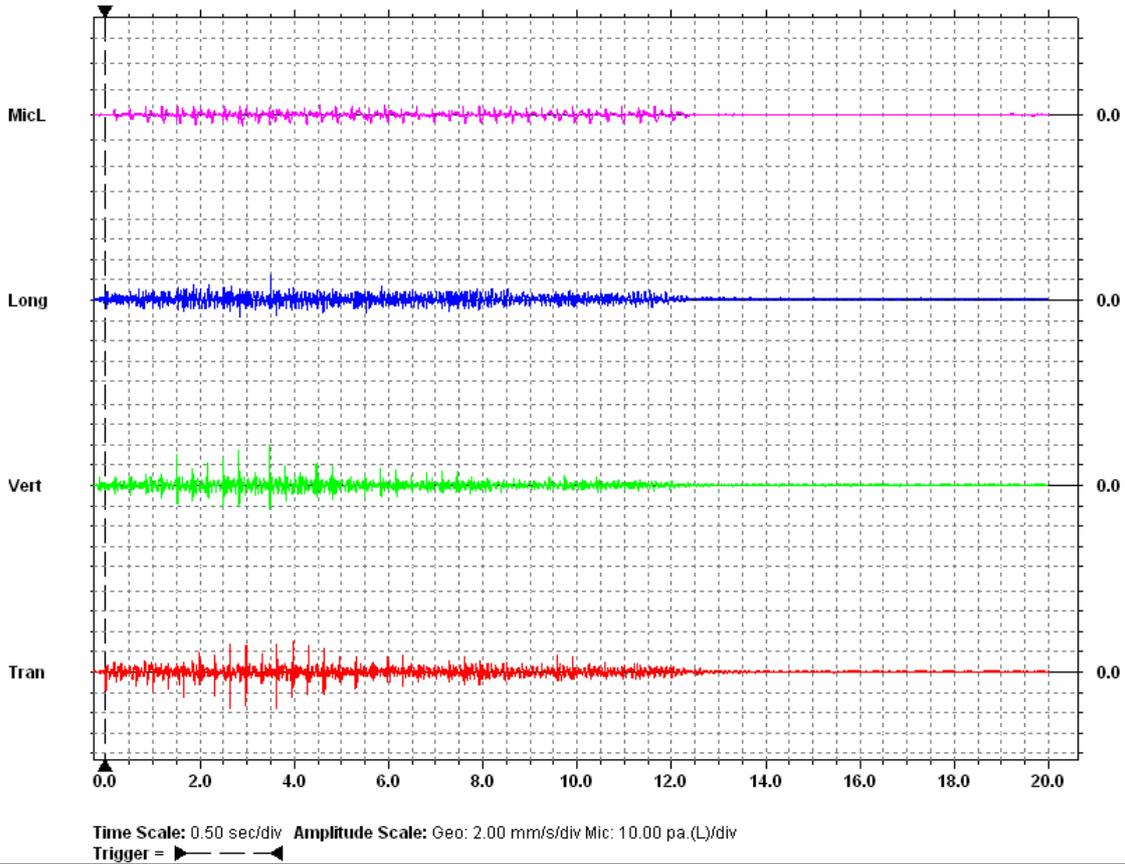
Linha de amort. S12+S3+L+M NBR
 Deck c/ 3,5 medidas por deck 0ms topo e 30ms base
 350ms por furo

Microphone Linear Weighting
PSPL 4.50 pa.(L) at 2.896 sec
ZC Freq 9.0 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 713 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	3.56	3.94	2.41	mm/s
ZC Freq	51	85	64	Hz
Time (Rel. to Trig)	2.631	3.476	3.493	sec
Peak Acceleration	0.133	0.199	0.106	g
Peak Displacement	0.0171	0.00930	0.0130	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	



Peak Vector Sum 3.98 mm/s at 3.476 sec



BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 11 /03 17:31:26 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:31:26 January 11, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by Instanteel Inc.
File Name H8139EPY.0E0

Notes

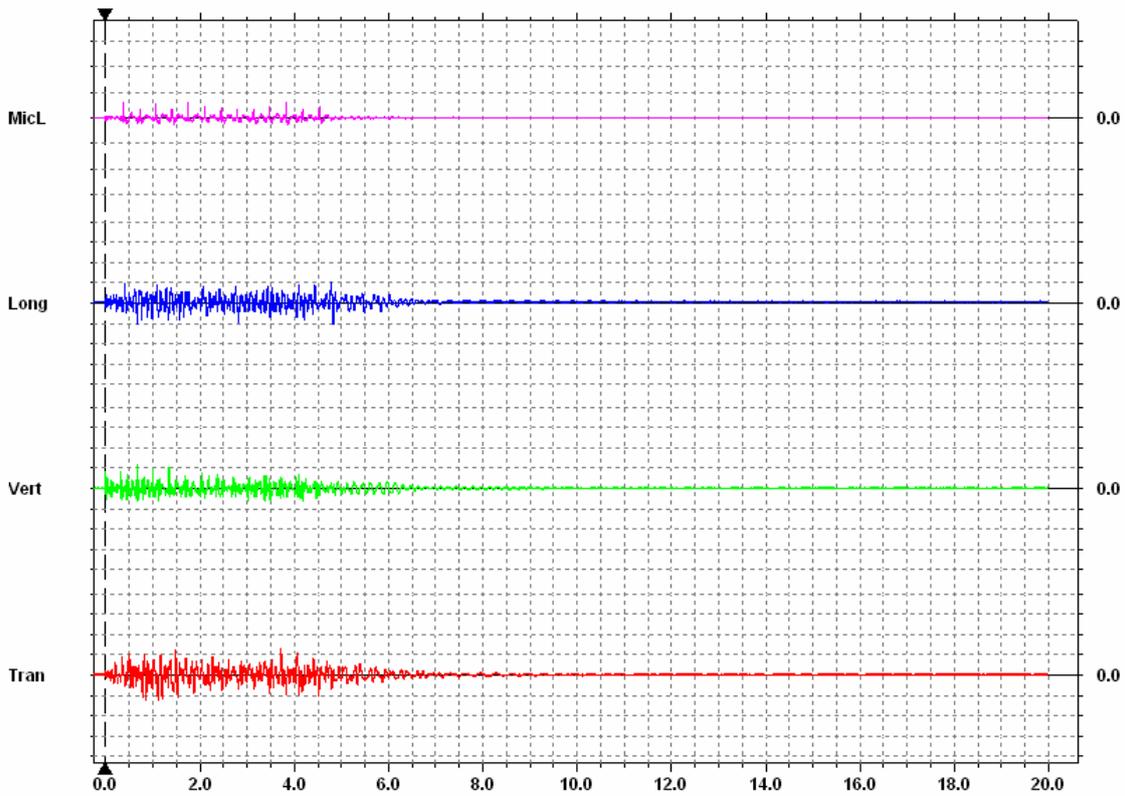
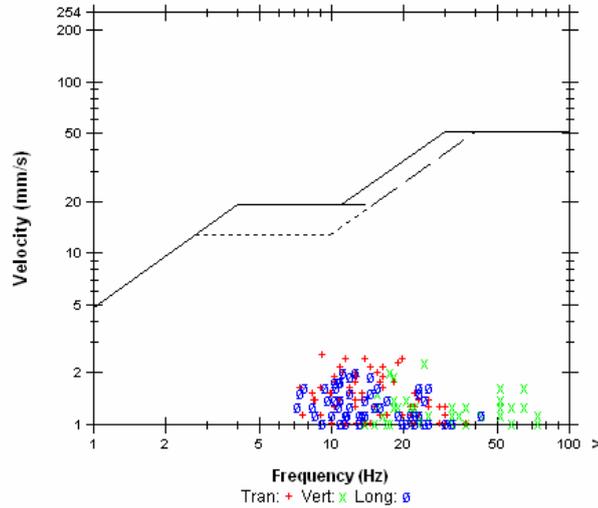
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 6.25 pa.(L) at 0.385 sec
ZC Freq 43 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 782 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	2.54	2.29	2.03	mm/s
ZC Freq	9.1	24	12	Hz
Time (Rel. to Trig)	3.717	0.664	0.666	sec
Peak Acceleration	0.0398	0.0530	0.0398	g
Peak Displacement	0.0371	0.0146	0.0325	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 2.99 mm/s at 0.665 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [Symbol]

BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 13 /03 17:13:24 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Tran at 17:13:24 January 13, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by Instatel Inc.
File Name H8139ETM.IC0

Notes

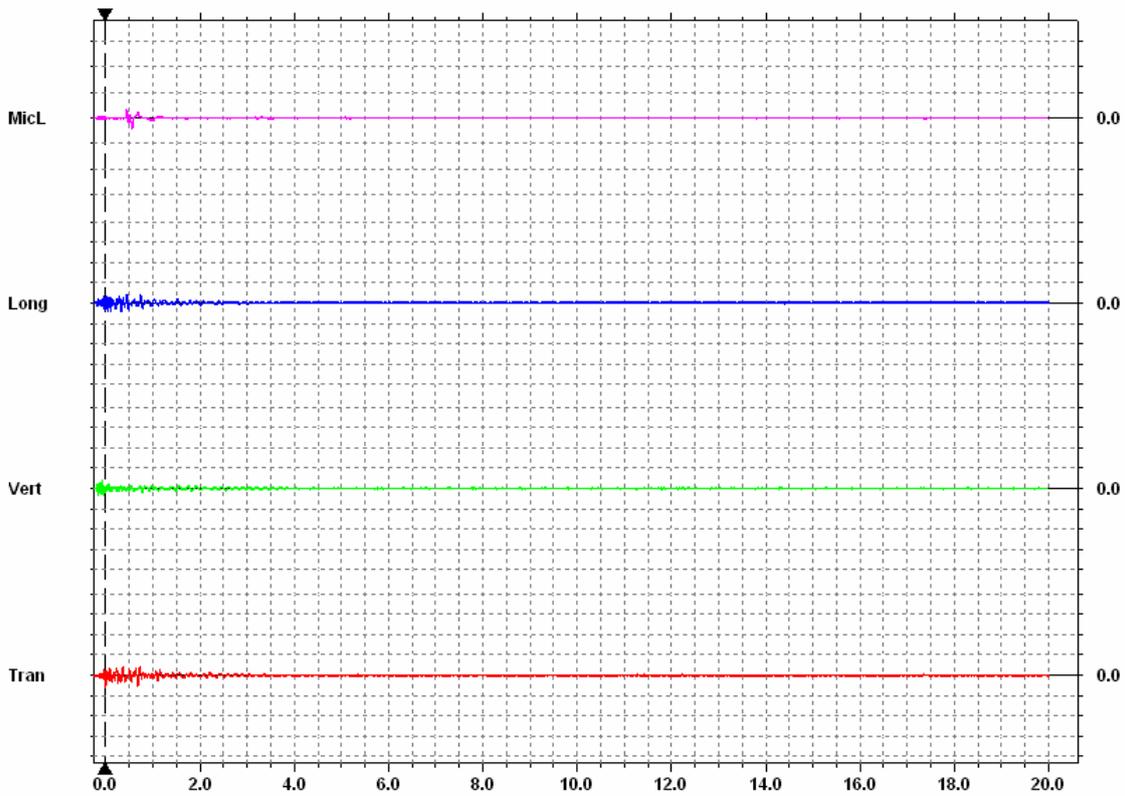
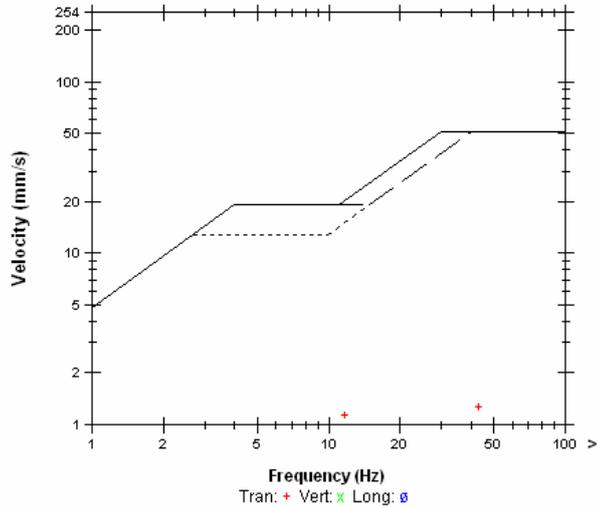
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 4.50 pa.(L) at 0.555 sec
ZC Freq 7.8 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 739 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	1.27	0.889	0.889	mm/s
ZC Freq	43	51	47	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.002	-0.079	0.044	sec
Peak Acceleration	0.0398	0.0398	0.0265	g
Peak Displacement	0.0161	0.00422	0.0107	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 1.35 mm/s at 0.002 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = ▶ ◀

BlastWare Series III - [# BE6813, Jan 28 /03 13:50:15 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 13:50:15 January 28, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.4 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139FL5.3R0

Notes

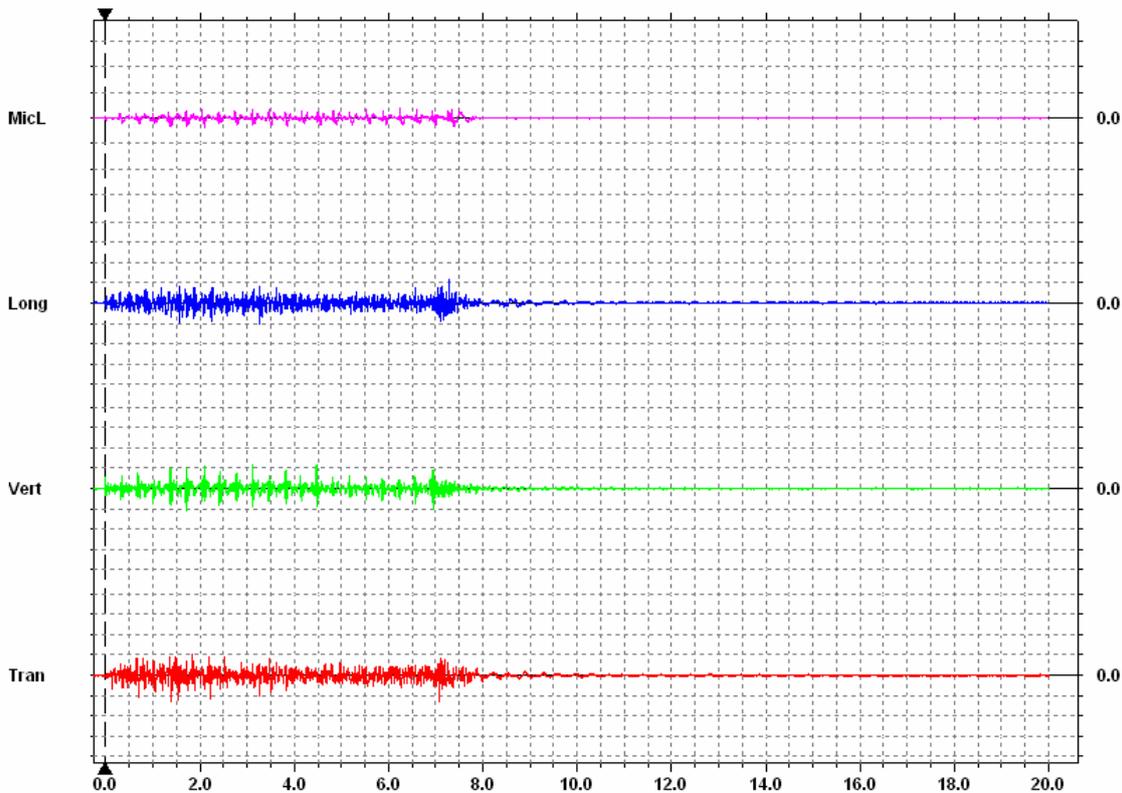
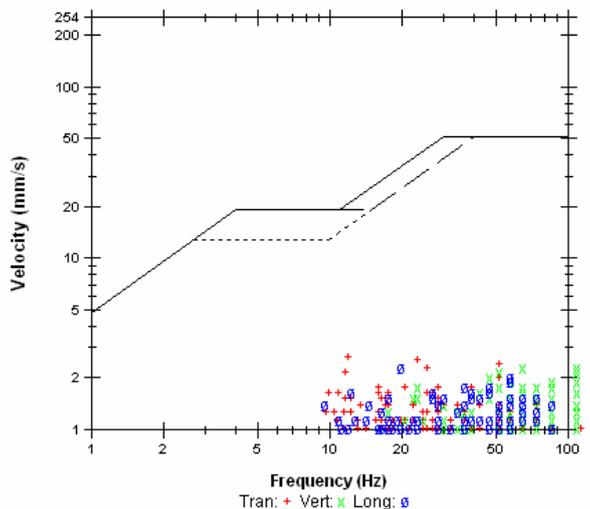
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 4.00 pa.(L) at 6.238 sec
ZC Freq 28 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 817 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	2.67	2.29	2.29	mm/s
ZC Freq	12	>100	20	Hz
Time (Rel. to Trig)	1.393	3.113	7.282	sec
Peak Acceleration	0.0795	0.146	0.0928	g
Peak Displacement	0.0278	0.0102	0.0167	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 2.98 mm/s at 1.394 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = ▶ ◀

BlastWare Series III - [# BE6813, Feb 4 /03 17:18:29 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 17:18:29 February 4, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 20.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139FYD.ET0

Notes

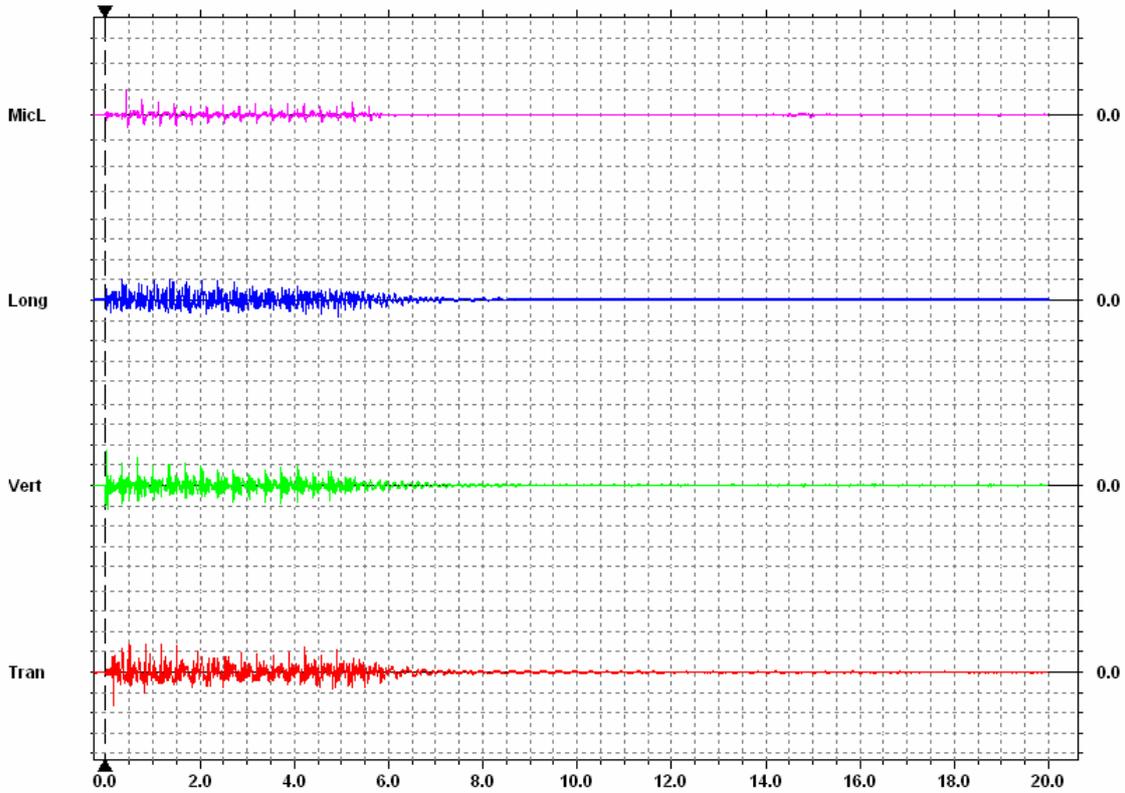
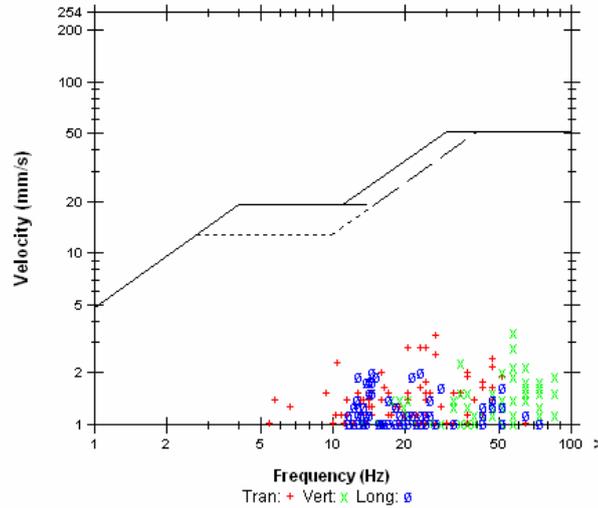
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 9.75 pa.(L) at 0.432 sec
ZC Freq 17 Hz
Channel Test Passed (Freq = 20.1 Hz Amp = 750 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	3.30	3.43	2.03	mm/s
ZC Freq	27	57	23	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.163	0.009	0.358	sec
Peak Acceleration	0.0663	0.119	0.0663	g
Peak Displacement	0.0293	0.0111	0.0195	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 3.45 mm/s at 0.009 sec



Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 2.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [right arrow] [left arrow]

BlastWare Series III - [# BE6813, Feb 17 /03 18:16:53 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 18:16:53 February 17, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139GMI.S50

Notes

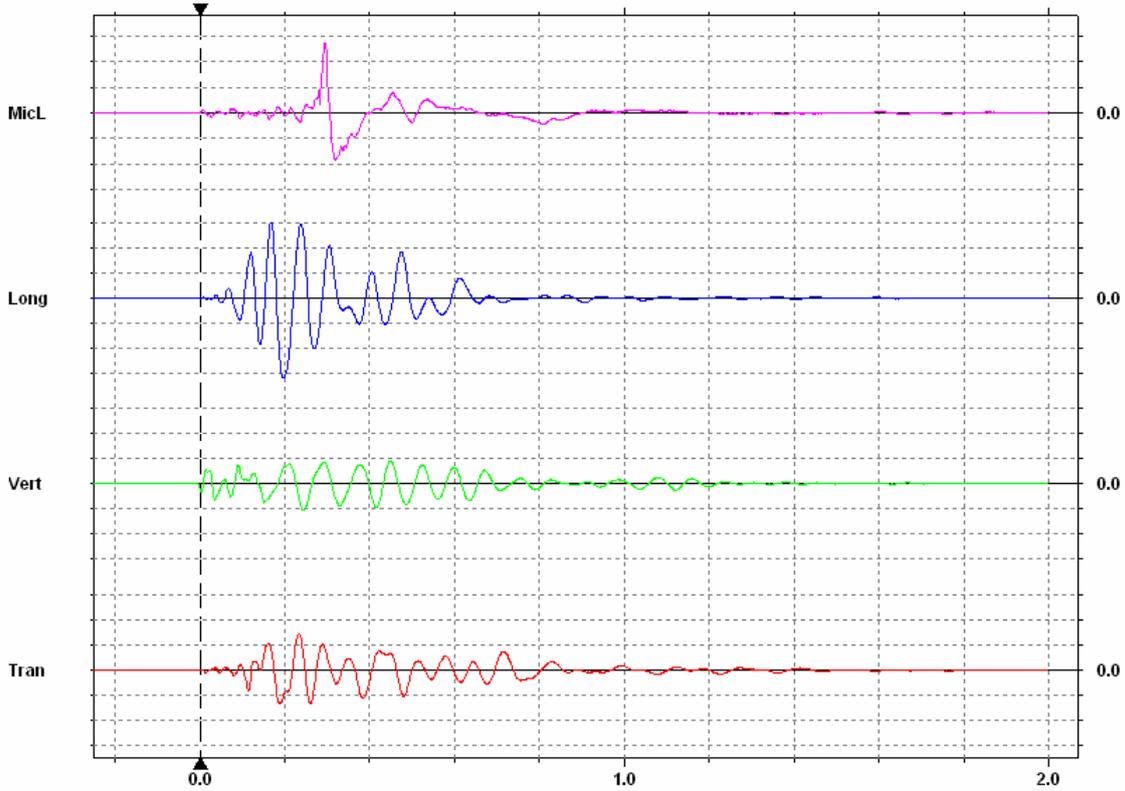
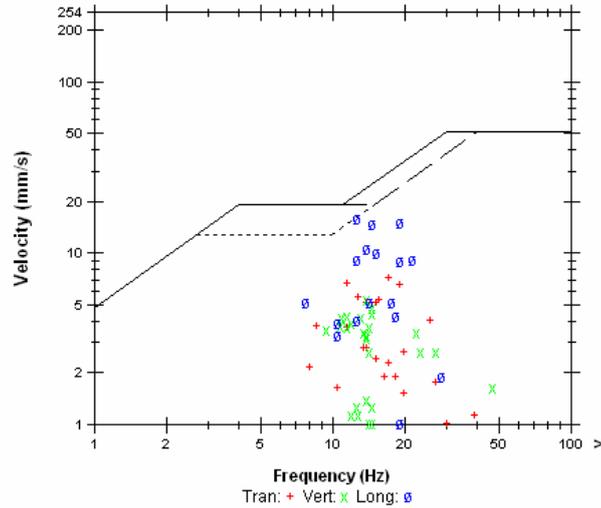
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 27.3 pa.(L) at 0.296 sec
ZC Freq 7.9 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 822 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	7.24	5.33	15.9	mm/s
ZC Freq	17	14	12	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.233	0.242	0.195	sec
Peak Acceleration	0.0928	0.0928	0.199	g
Peak Displacement	0.0942	0.0621	0.215	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 17.1 mm/s at 0.195 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [Trigger symbol]

BlastWare Series III - [# BE6813, Feb 17 /03 18:21:30 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 18:21:30 February 17, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139GMI.ZU0

Notes

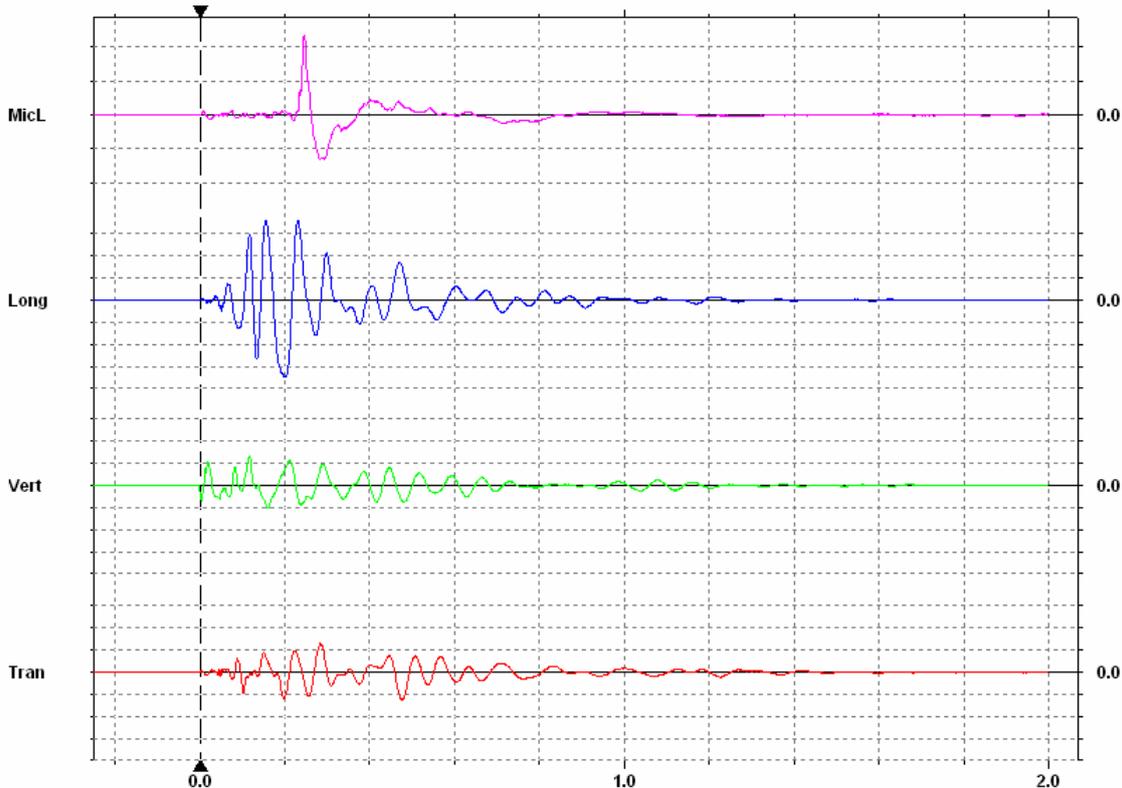
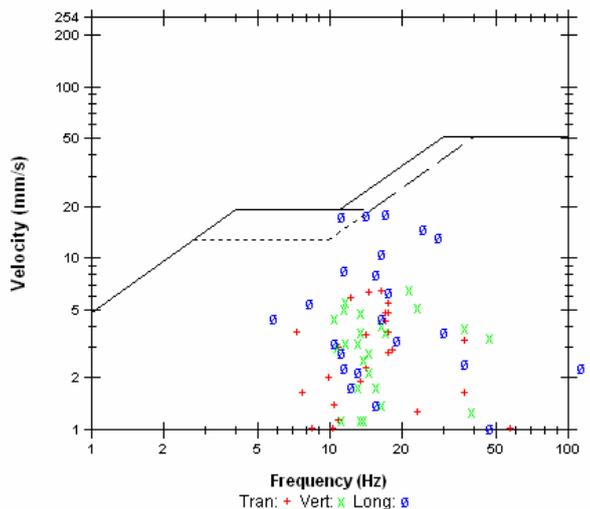
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 47.0 pa.(L) at 0.246 sec
ZC Freq 14 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 824 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	6.48	6.60	18.0	mm/s
ZC Freq	17	21	17	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.284	0.116	0.155	sec
Peak Acceleration	0.119	0.159	0.305	g
Peak Displacement	0.0675	0.0699	0.280	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 18.8 mm/s at 0.155 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 5.00 mm/s/div Mic: 20.0 pa.(L)/div
Trigger = [Marker]

BlastWare Series III - [# BE6813, Feb 17 /03 18:27:09 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 18:27:09 February 17, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by Instante! Inc.
File Name H8139GMJ.990

Notes

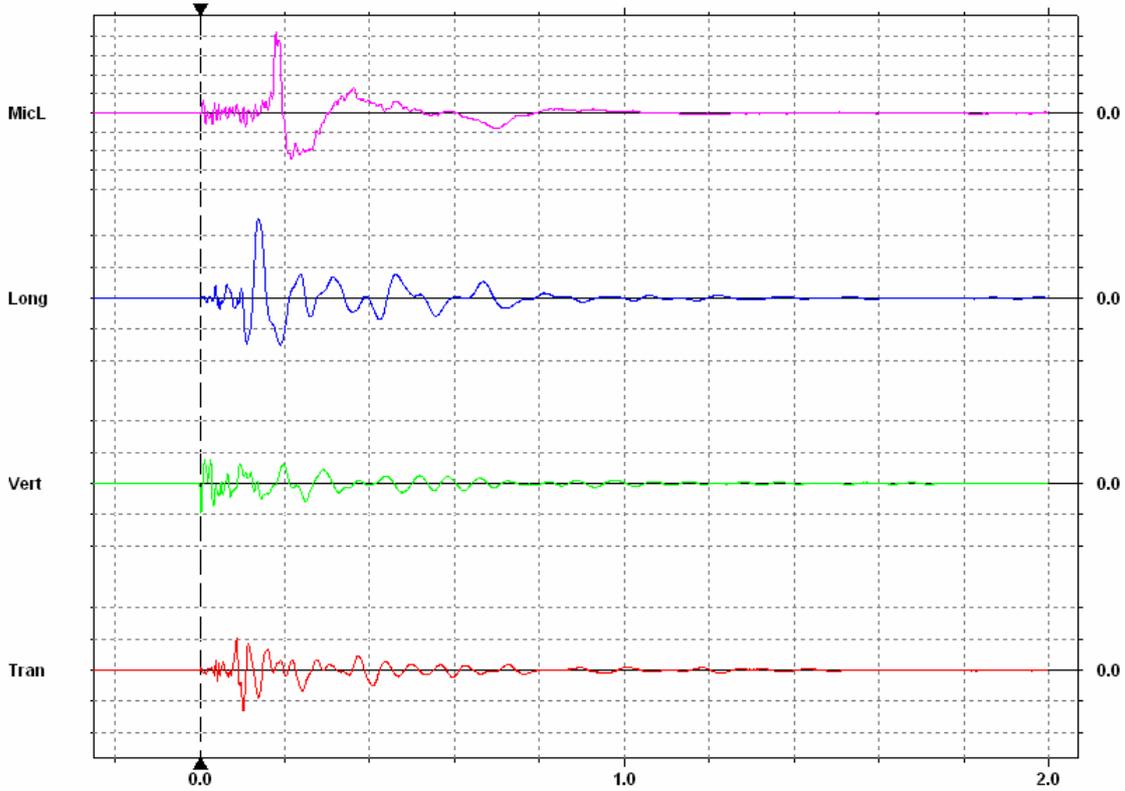
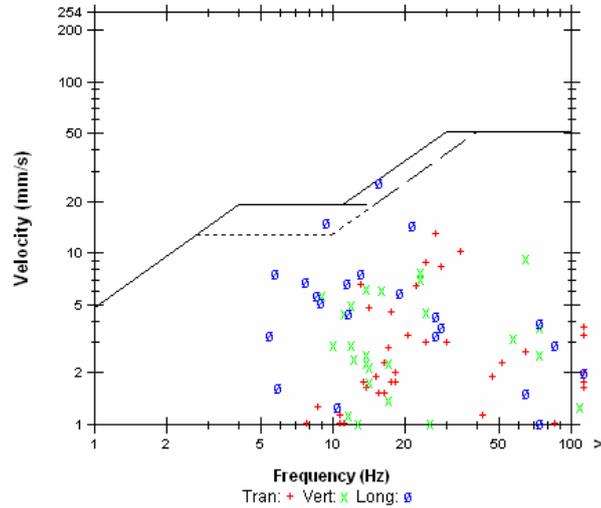
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 42.0 pa.(L) at 0.179 sec
ZC Freq 9.7 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 772 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	13.0	9.40	25.5	mm/s
ZC Freq	27	64	16	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.103	0.003	0.138	sec
Peak Acceleration	0.411	0.424	0.318	g
Peak Displacement	0.0688	0.0673	0.267	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 27.0 mm/s at 0.138 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 10.00 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = [Symbol]

BlastWare Series III - [# BE6813, Feb 17 /03 18:31:28 : Quick View]

File Analysis Window Help



Date/Time Vert at 18:31:28 February 17, 2003
Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
Range Geo: .254 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps

Serial Number BE6813 V 4.02-4.02 MiniMate Plus
Battery Level 6.3 Volts
Calibration October 29, 1999 by InstanTel Inc.
File Name H8139GMJ.GG0

Notes

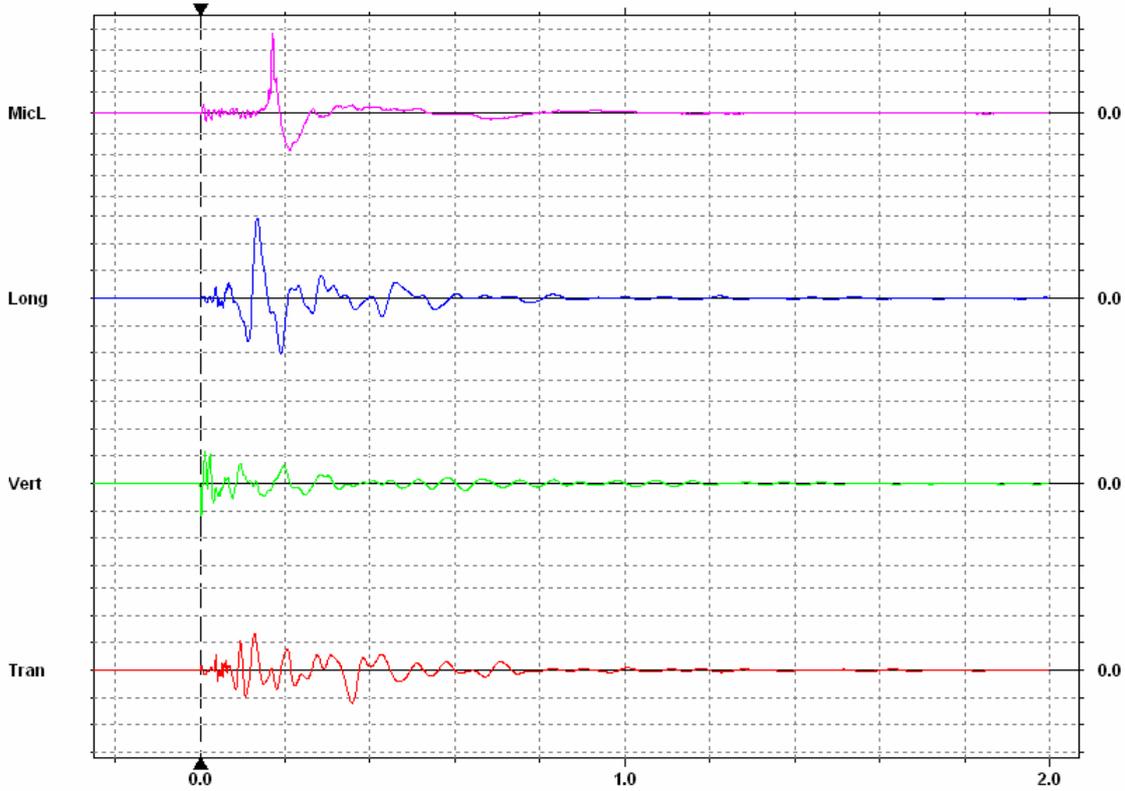
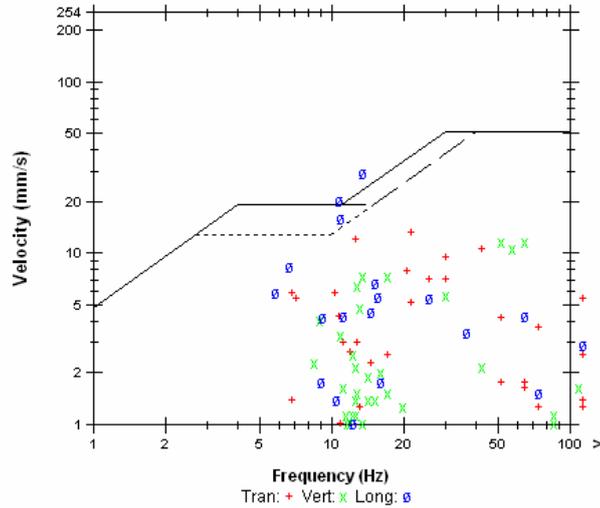
USBM R18507 And OSMRE

Post Event Notes

Microphone Linear Weighting
PSPL 76.5 pa.(L) at 0.170 sec
ZC Freq 9.3 Hz
Channel Test Passed (Freq = 19.7 Hz Amp = 830 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	13.2	11.6	29.3	mm/s
ZC Freq	21	64	13	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.128	0.003	0.134	sec
Peak Acceleration	0.504	0.504	0.411	g
Peak Displacement	0.144	0.0680	0.306	mm
Sensorcheck ®	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 30.6 mm/s at 0.134 sec



Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 10.00 mm/s/div Mic: 20.0 pa.(L)/div
Trigger = [Trigger pulse icon]

