

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

**MONITORAMENTO DA VIBRAÇÃO CAUSADA POR DETONAÇÕES
EM MINA SUBTERRÂNEA DE CARVÃO
(MINA TREVO – SIDERÓPOLIS, SC) COMO SUBSÍDIO AO
ESTABELECIMENTO DE UMA POLÍTICA DE RELACIONAMENTO
COM A COMUNIDADE DO ENTORNO DA MINERAÇÃO**

José Teodorico de Melo Ribeiro

Orientadora: Profa. Dra. Gilda Carneiro Ferreira

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao
Curso de Pós-Graduação em Geociências –
Área de Concentração em Geociências e Meio
Ambiente para obtenção do Título de Mestre
em Geociências.

Rio Claro (SP)
2003

Comissão Examinadora

Prof.^a. Dra. Gilda Carneiro Ferreira

Prof. Dr. Elias Carneiro Daitx

Prof. Dr. Valdir Costa e Silva

José Teodorico de Melo Ribeiro

Rio Claro, 06 de junho de 2003

Resultado: _____

A minha família pelo tempo de ausência
Solange, Lea e Júlia

Grande GÍLSON, valeu a força

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a **DEUS** por todas as coisas boas que me aconteceram, como ter colocado as pessoas certas nos momentos certos, durante o desenvolvimento desse trabalho.

- Aos técnicos do DNPM de Criciúma (Geólogo Dario Valiatti, Técnicos Pedro dos Santos e Airton Pavan) e Florianópolis (Eng^o minas Dário de Almeida e Anaelia Marques Alves, Geólogo Jesse Otto) pelas informações e acompanhamento de campo.
- Aos técnicos da Indústria Carbonífera Rio Deserto (Eng^o Marco Antônio, Laerte Barcelos e Cleusa Crepaldi e Técnico Dorival de Oliveira) que sempre se dispuseram a fornecer todas as informações técnicas sobre a mina Trevo.
- A Profª. Dra. Gilda Carneiro Ferreira e ao Prof. Dr. Elias Daitx pela insistência, incentivo e paciência que tiveram ao longo deste trabalho.
- Ao eng^o minas e amigo Ricardo Moraes pela ajuda no trabalho de campo e revisão do texto.
- A comunidade da Vila Rio Albina, em especial o seu representante Francisco Pazzetto Neto pela confiança e acolhimento.
- A chefia do DNPM de São Paulo.
- Aos funcionários da UNESP/SP, Antonio Cesário Porta Jr., Elaine Brigatto.
- A todos que direta ou indiretamente ajudaram no desenvolvimento desse trabalho.

SUMÁRIO

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE QUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE FOTOS	v
ABREVIATURAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	13
3 MÉTODO DE LAVRA E BENEFICIAMENTO.....	25
4 VIBRAÇÕES GERADAS PELO USO DE EXPLOSIVOS NO DESMONTE DE ROCHA	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

ÍNDICE

1 – Introdução.....	1
1.1 – Generalidade	1
1.2 - Reservas e Produção de Carvão em Santa Catarina	2
1.3 – Consumo	4
1.4 – O problema ambiental na região da Mina Trevo.....	6
1.5 – Objetivo.....	7
1.6 – Metodologia	8
1.7 – Localização da Área.....	9
1.8 – Aspectos Legais.....	9
2 – Aspectos Geológicos.....	13
2.1- Geologia Regional	13
2.1.1 – Unidades Pré-Gonduânicas.....	13
2.1.1.1 – Complexo Metamórfico – Migmático	13
2.1.2 – Unidades Gonduânicas	13
2.1.2.1 – Grupo Tubarão.....	13
2.1.2.1.1 – Subgrupo Itararé	13
2.1.2.1.2 - Subgrupo Guatá.....	16
2.1.2.1.2.1 – Formação Rio Bonito	16
2.1.2.1.2.2 - Formação Palermo	16
2.1.2.2 – Grupo Passa Dois	17
2.1.2.2.1 – Formação Irati	17
2.1.2.2.2 - Formação Estrada Nova.....	17
2.1.2.2.3 - Formação Rio do Rastro.....	17
2.1.2.3 – Grupo São Bento.....	17
2.1.2.3.1 – Formação Botucatu	18
2.1.2.3.2 – Formação Serra Geral.....	18
2.1.3 – Unidades Pós – Gonduânicas	18
2.1.3.1 – Sedimentos Quaternários	18
2.2 – Geologia Local	18

3	– Método de Lavra e Beneficiamento.....	25
3.1	– Lavra de Carvão.....	25
3.2	- Beneficiamento	32
4	– Vibrações geradas pelo uso de explosivos no desmonte de rocha	35
4.1	– Dados Gerais	35
4.2	- Equipamentos Utilizados	37
4.3	- Localização dos pontos de amostragem.....	40
4.4	- Monitoramento	48
4.5	- Resultados obtidos.....	50
5	– Considerações Finais	57
6	– Bibliografia	62

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Situação atual das minas em Santa Catarina.....	5
Quadro 2 – Coluna estratigráfica da região de Siderópolis	15
Quadro 3 – Dados referentes aos registros sismográficos na área de estudo.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Carvão em Santa Catarina	3
Figura 2 – Mapa de localização da Mina Trevo	10
Figura 3 – Geologia da área de estudo	14
Figura 4 – Perfis litológicos da Mina Trevo com detalhe da Camada Barro Branco	22
Figura 5 – Esquema de furação e efeito da detonação na frente de lavra. Vista frontal e lateral	28
Figura 6 – Vista superior dos furos.....	29
Figura 7 – Fluxograma de beneficiamento da Mina Trevo	34
Figura 8 – Planta de avanço das galerias da Mina Trevo e pontos de monitoramento.....	42
Figura 9 – Exemplo de um sismograma relativo ao monitoramento da Mina Trevo.....	51

ÍNDICE DE FOTOS

- Foto 1 – Frente de lavra da galeria 7, câmara 110, na Mina Trevo, Siderópolis (SC), ao fundo a Camada Barro Branco, com detalhe do forro, quadração e banco20
- Foto 2 – Operação de carregamento por bob cat, na frente de lavra após a detonação, Mina Trevo, Siderópolis (SC)26
- Foto 3 – Transporte de minério por correia transportadora, na galeria principal da Mina Trevo, Siderópolis (SC).....26
- Foto 4 – Frente de extração da Mina Trevo, Siderópolis (SC), com a disposição dos furos de detonação com explosivo e amarração feita com cordel.....31
- Foto 5 – Detalhe do parafuso de sustentação do teto da galeria. A viga de madeira serve como orientação caso o teto esteja cedendo, a arruela penetra na madeira, Mina Trevo, Siderópolis (SC).....31
- Foto 6 – Alimentador da correia transportadora principal da Mina Trevo, Siderópolis (SC)33
- Foto 7 – Vista geral das instalações da Mina Trevo, Siderópolis (SC).....33
- Foto 8 – Sismógrafo de engenharia modelo SSU 2000 DK utilizado no registro das vibrações na área de pesquisa39
- Foto 9 – Ponto 01 de monitoramento, na casa Treviso. O aparelho foi instalado próximo à casa e a 100 metros da frente de lavra da Mina Trevo, Siderópolis (SC)43
- Foto 10 – Ponto de monitoramento número 02, no pátio da casa de Domingos Patel, Siderópolis (SC)43
- Foto 11 – Ponto de monitoramento número 03, o aparelho está posicionado no quintal da casa de Fátima Patel, Siderópolis (SC)44
- Foto 12 – Ponto de monitoramento número 04, no estábulo da casa da Fátima Patel, Siderópolis (SC)44
- Foto 13 – Ponto de monitoramento número 05, o aparelho está posicionado a 10 metros leste do salão paroquial, da Vila Rio Albina, Siderópolis (SC)45

- Foto 14 – Ponto de monitoramento número 06, localizado no piezômetro nº 2.4, na Vila Rio Albina, Siderópolis (SC)45
- Foto 15 – Ponto de monitoramento número 08, aparelho está posicionado na casa de Vinicius Savaris, Siderópolis (SC)46
- Foto 16 – Ponto de monitoramento número 09, sensor instalado na estrada de acesso à casa de Luis D’Acol, na Vila Rio Albina, Siderópolis (SC) 46
- Foto 17 – Ponto de monitoramento número 10, sensor posicionado a 100 metros da frende de lavra. Casa de Luis D’Acol, na Vila Rio Albina, Siderópolis (SC)..... 47
- Foto 18 – Aspecto de reunião realizada após a vistoria na Mina TREVO. Presentes representantes da Comunidade de Rio Albina, Sindicato dos Trabalhadores, DNPM e FATMA..... 47

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- A.L – Arenito Laminado
- A.M. – Arenito Maciço
- CA – mina a céu aberto
- CBCA – Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá
- CC – Carvão na Camada
- CECOPOMIN – Centro de Controle da Poluição na Mineração
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- CT – Camada Total
- DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral
- EUA – Estados Unidos da América
- FATMA – Fundação de Amparo à Tecnologia e ao Meio Ambiente
- MW - megawatt
- NBR – Norma Brasileira
- NP – Nitro penta
- OD – oxigênio dissolvido
- OSRME – Office for Surface Mining Reclamation
- RC – Razão de carregamento
- PLC – Razão linear de carregamento
- ROM – Run of Mine
- SS – sub solo
- USBM – United State Bureau of Mine
- $V_p (R)$ – velocidade da partícula resultante
- V_v – velocidade vertical
- \varnothing - diâmetro do furo

RESUMO

Historicamente a convivência entre a mineração e a população sempre foi problemática, com prejuízos enormes para essa última que por problemas da falta de moradia, tem que conviver com a degradação do meio ambiente ao seu redor como a poluição através da poeira, ruído e da vibração. Este trabalho, com dados coletados na mina subterrânea de carvão Trevo na região carbonífera de Santa Catarina, coloca em evidência a necessidade da integração Empresa x Comunidade no sentido da melhoria das técnicas de mineração e meio ambiente visando uma convivência pacífica e tendo como um dos seus principais resultados alertar e despertar a consciência da Empresa ante aos reclamos da comunidade, demonstrando com dados, o perigo decorrente do planejamento de uma lavra sem levar em conta as habitações em superfície.

Palavras-chave: carvão, vibração, meio-ambiente, mina subterrânea

ABSTRACT

Usually, the mining activities and the neighborhood are at odds, with huge losses to the latter, that is in need of houses and must live right in the area, with dust, sound and vibrations problems. This dissertation, using the data of the Trevo mine, an underground coal mine, in the Carboniferus Basin in south of Santa Catarina state, puts an evidence the necessary relationship between mining companies and inhabitants to promote an increase on mining methods and environment, trying too to make clear and to alert the company of the citizens claims, with data, showing the problems of a lack of planning and an adequate study about risks and hazards on surface buildings.

Key – word: coal, vibration, environment, underground

1 INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

O crescimento desordenado e o deslocamento dos núcleos habitacionais das médias e grandes cidades para a periferia vem, no decorrer dos anos, criando dificuldades as minerações, gerando o conflito população x mineração. No caso das minerações subterrâneas de carvão na região de Siderópolis (SC), dá-se o contrário, ou seja, o avanço da mineração em sub-superfície na direção das habitações já existentes.

Data de 1915 a abertura da primeira mina de carvão na região de Criciúma dando início a um acelerado crescimento econômico e populacional. A Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá (CBCA), em Araranguá, e a Carbonífera Próspera, em Criciúma, lavravam carvão e enviavam até Laguna, de onde este era distribuído, por navios, para os grandes centros do Brasil. A extração era feita com picaretas e o transporte por carros de boi. Em 1919, passou-se a utilizar a recém-inaugurada Ferrovia Thereza Cristina, ligando Tubarão a Araranguá, aumentando também o fluxo de imigrantes para o trabalho nas minas de carvão.

Com o fim da Primeira Guerra Mundial, o carvão internacional, de melhor qualidade e mais barato que o nacional, começou, novamente, a entrar no mercado brasileiro, instalando-se uma crise na região que só acabou na década seguinte. A lei decretada pelo presidente Getúlio Vargas, determinando que 100% do carvão nacional deveria ser adicionado ao produto importado, foi suficiente para a retomada da exploração desordenada do carvão na região.

A degradação do meio ambiente só foi notada décadas mais tarde, quando as paisagens, antes nativas, tornaram-se montanhas de rejeitos. Os rios passaram a receber toda a carga de poluição das águas ácidas vindas das minas; as minas de subsolo abandonadas começaram a causar subsidência de terrenos em diversos locais e os poços artesanais começaram a secar. Enfim, o problema ambiental começou a preocupar as autoridades e a população.

No final da década de 80 e começo da década de 90, surgiram as primeiras reclamações, principalmente em relação à combustão espontânea nas pilhas de rejeito, com graves conseqüências para a qualidade do ar e a degradação dos recursos hídricos da região. Um projeto experimental de recuperação de áreas de pilhas de rejeitos foi iniciado na década de 80 em Siderópolis (SC), com resultados positivos.

Várias ações foram movidas contra as empresas carboníferas, mas só na metade da década de 90 é que elas passaram a surtir efeito, com a implementação, por parte dos órgãos governamentais em associação com organismos estrangeiros, de um programa de recuperação de áreas degradadas e um maior controle dos rejeitos líquidos desaguados nos rios da região.

Atualmente são por demais conhecidos os problemas ambientais gerados pela mineração de carvão em Santa Catarina. Saltam aos olhos o comprometimento qualitativo dos recursos hídricos em toda a extensão da Região Carbonífera de Santa Catarina. A deposição dos rejeitos em superfície durante décadas de lavra veio comprometer grandes extensões de áreas produtivas e dos seus rios, através da exposição da pirita ao ar e à água, ocasionando reações químicas que abaixaram drasticamente o pH das águas e comprometeram a qualidade do ar. Do mesmo modo, a dispersão dos finos encontrados nas pilhas de rejeito contribuiu no aumento de problemas respiratórios na região (Grehs, 1979).

1.2 Dados gerais sobre o carvão em Santa Catarina.

Os depósitos de carvão no Estado de Santa Catarina ocorrem numa área alongada no sentido norte/sul, situada entre os municípios de Araranguá e Lauro Müller, com aproximadamente 70 km de comprimento por 20 km de largura (Figura 1). Essas reservas estão individualizadas por camadas denominadas Treviso, Barro Branco, Irapuá, Bonito Inferior.

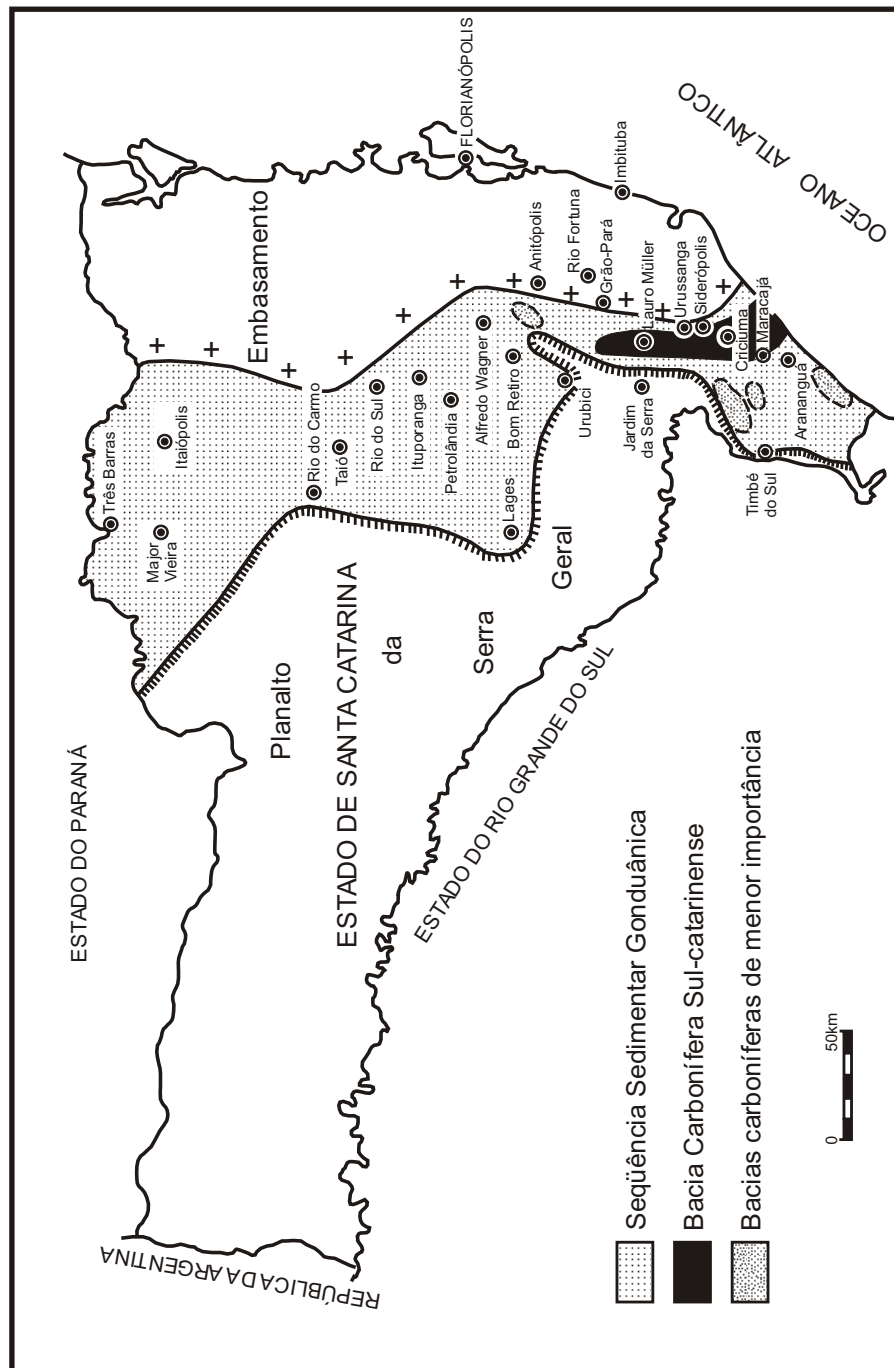


Fig. 1 - Localização da Bacia Carbonífera no Estado de Santa Catarina.

Fonte: DNPM, 1985

Em Santa Catarina a percentagem de carvão na camada Barro Branco (CC) com respeito à camada total (CT) é de 40% a 45%. As reservas, com título de lavra no Estado, são da ordem de $1.576,31 \times 10^6$ t, enquanto as do Brasil alcançam $7.378.006,78 \times 10^6$ t (DNPM, 2001). A produção de carvão em Santa Catarina é da ordem de 7.100.470 t (ROM), sendo a produção vendável de 3.124.206 t (43,49%); no Brasil a produção de minério *run of mine* (ROM) é de 14.335.065 t e produção vendável de 6.724.598 t (46,91%) (DNPM, 2001).

A produção nacional de carvão do tipo energético, em 2001, teve um acréscimo de 15,0% em relação ao ano anterior, devido, principalmente, à estiagem que ocorreu na região sul do Brasil nos últimos meses daquele ano. Tal fato provocou a redução nos reservatórios das usinas hidrelétricas e o conseqüente aumento na demanda por carvão, para abastecer as usinas termoelétricas existentes na região, que passaram a operar a plena carga, até o início do ano de 2001. Em Santa Catarina, a Gerasul, empresa que opera o Complexo Jorge Lacerda, maior termoelétrica a carvão do país (potência instalada de 832 MW), também teve que aumentar o consumo de carvão (DNPM, 2001).

No Estado de Santa Catarina existem, atualmente, 26 minas de carvão em atividade que operam os seus trabalhos de lavra a céu aberto (CA) e/ou subterrâneo (SS) e três minas paralisadas (Quadro 1).

1.3 Consumo brasileiro de carvão

O consumo total de carvão, em 2000, foi de 17 milhões de toneladas. Deste total, 62,0% corresponde a carvão metalúrgico importado, destinado à siderurgia e 33,0% refere-se ao consumo de carvão energético, para uso em usinas termoelétricas. O restante foi para uso industrial como cerâmica, alimentos, papel celulose e agricultura. Quanto ao consumo específico de carvão energético nacional, tem-se uma distribuição por setor de consumo de 90,0% para a termoelétrica, 4,0% para a indústria petroquímica, 3,0% para a indústria de papel e celulose e o restante distribuído entre outros setores (DNPM, 2001).

Quadro 1 – Situação atual das minas de carvão em Santa Catarina

EMPRESAS DE MINERAÇÃO	MINAS
Carbonífera Metropolitana S.A	Esperança(SS), Fontanella-(SS), Manifesto-(SS) e União (CA). Mina NESI (SS)
Carbonífera Criciúma S.A	Verdinho – UM II-(SS)
Companhia Carbonífera de Urussunga	Transferidas para a Ind. Carbonífera Rio Deserto Ltda.
Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.	Trevo-(SS), Barro Branco-(SS) e São Geraldo-(SS) Rio Deserto (paralisada)
COOPERMINAS	3 Verdinho-(SS)
Carbonífera Barro Branco S.A	Bonito I-(SS), Rio Dez-(CA), Represa-(CA) e Índio-(CA)
Companhia Carbonífera Catarinense	Rio Maina – Poço 3-(SS)
Carbonífera Belluno Ltda.	Malha II-(CA), Malha II-(SS), Marion-(CA) e Fiorita-(SS)
MINAGEO – Mineração e Geologia Ltda.	Santa Irapuá/Santa Augusta-(SS)
Coque Catarinense Ltda. – COCALIT	Rio Fiorita –(CA) Ex-Patrimônio e Morro da Palha (paralisadas)
Mineração São Domingos S.A	P8.P10-(CA) e Rocinha-(CA)
COMIN & CIA LTDA	Comin-(CA), Antônio de Luca-(CA) e Rio América-(CA)

Fonte: DNPM, 2000

1.4 O problema ambiental na região da Mina Trevo

Referências bibliográficas a estudos de vibração causada pelo uso de explosivos na mineração subterrânea de carvão no Brasil são escassas, uma vez que as empresas de mineração que realizam esses estudos não tornam públicos seus resultados. Acredita-se ser este um dos primeiros trabalhos a monitorar os efeitos da detonação de explosivos, em mina subterrânea de carvão, visando atender às reclamações de superficiários, incomodados com as vibrações e o ruído.

A emissão de poluentes sempre existiu na atividade de mineração, mas nem sempre foi tratada de modo objetivo, com a preocupação no que se refere à sua diminuição e/ou total contenção. Em 1992, através de convênio entre os governos brasileiro e japonês, foi construída uma estação de monitoramento na cidade de Forquilha (SC), visando a coleta de informações sobre a qualidade da água do rio Mãe Luzia, até então considerado um rio sem vida, devido ao seu alto grau de poluição (pH em torno de 3,0), uma vez que servia de tributário de toda a água de rejeito das minas de carvão e das pilhas de rejeito ao longo do seu curso. O monitoramento diário trouxe uma gama enorme de informações com relação ao pH, turbidez e OD. Foi, possível, então, implementar medidas que vieram minimizar, de modo gradativo, os efeitos nocivos gerados por décadas de poluição na região, com a recuperação de alguns rios. Paralelamente, promoveu-se a melhoria da locação e deposição dos novos depósitos de rejeitos e reaproveitamento dos já existentes.

Fechando o ciclo de poluição, veio somar-se, a partir de 1999, mais um agente poluidor, a vibração decorrente das detonações em minas subterrâneas, com as primeiras reclamações sobre “tremores” nas casas, rachaduras nas paredes e o próprio incômodo sofrido pelos moradores das regiões das minas.

A atividade extrativa mineira envolve, normalmente, o desmonte de minério e estéril. Essa operação implica, geralmente, na detonação de explosivos industriais nas frentes de extração, liberando uma grande

quantidade de energia que se propaga em todas as direções. A parte da energia não utilizada na fragmentação da rocha é transformada em calor e toma dois caminhos: uma passa diretamente ao maciço na forma de ondas de choque instáveis, provocando vibrações até que a energia se dissipe. A outra é transmitida à atmosfera, provocando ruído e pulsos de σ (sobrepessão) na atmosfera local.

Em abril/maio de 1999, a comunidade, através de seus representantes, fez a primeira reclamação concreta, relacionada com as vibrações sentidas no decorrer das detonações da mina Trevo (painel 1W com lavra iniciada em janeiro de 1999) e que estariam causando incômodo nos animais e pessoas, além de rachaduras nas paredes das casas. Na ausência de instrumentação adequada, tentou-se minimizar o problema através de reuniões na casa do reclamante, com técnico da empresa carbonífera e técnico governamental para esclarecimentos dos efeitos da vibração e ruído.

Estas reclamações foram o principal motivo para que fosse feito um monitoramento, visando a coleta de dados referentes aos valores das vibrações provenientes das detonações, à medida que o avanço das frentes de lavra do painel 1W da mina Trevo prosseguiram na direção da comunidade de Rio Albina, município de Siderópolis, estado de Santa Catarina, dando origem a esta pesquisa.

1.5 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar os níveis de emissão de vibração, com o acompanhamento sistemático do avanço das frentes de lavra de carvão da mina subterrânea Trevo, em Santa Catarina. Para atingir o objetivo proposto foram necessários:

- a. Mensurar os níveis de emissão de vibração decorrente das detonações das frentes de lavra;
- b. Avaliar os seus efeitos na superfície;
- c. Comparar com os padrões vigentes na Legislação Ambiental;

- d. Propor medidas para minimizar e/ou controlar essas emissões.

1.6 Metodologia

Esta pesquisa teve início com o levantamento de relatórios técnicos existentes no escritório do Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM localizado na cidade de Criciúma (SC), desde a implantação da lavra subterrânea do painel 1W da mina Trevo que ocorreu em janeiro de 1999. Nestes relatórios, constam as reclamações dos superficiários com relação ao problema referente à fuga das águas superficiais e ao rebaixamento do lençol freático com a consequente “secagem” de alguns córregos e poços de abastecimento na zona rural local. As reclamações foram enviadas diretamente ao Procurador da República em Criciúma (SC). As reclamações referentes às vibrações datam de abril/maio de 1999.

Após esse levantamento preliminar, foi realizado contato com o corpo técnico da Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda., que opera a mina Trevo. Foram recebidas as principais informações sobre a operação de lavra e beneficiamento desta mina, tais como; método de lavra, plano de fogo, número de galerias, mapa do avanço diário das frentes de lavra, posicionamento das galerias em relação à superfície, geologia local (perfis, furos de sondagem), espessura da cobertura e horário e número das detonações/dia.

De posse dos dados técnicos, partiu-se para o contato com a comunidade de Rio Albina, cujas habitações ficam na direção do avanço das galerias, a fim de conhecer os problemas existentes, com a versão de quem os sofre no seu dia a dia.

A segunda etapa consistiu no reconhecimento da área, em toda a sua extensão, na companhia de técnicos do DNPM e da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM, de Criciúma, na locação dos principais pontos, com preferência para os locais de concentração de residências, passíveis de monitoramento e no posicionamento destes pontos em relação à frente de lavra, tais como; distância, espessura do material de

cobertura.

Finalmente, na terceira etapa, procedeu-se com o monitoramento propriamente dito.

A escolha da mina Trevo deveu-se ao fato de se tratar de mina subterrânea com pequena cobertura, mínimo de 15 m e máximo de 28 m, com habitações na sua superfície e ainda ela estar em fase inicial de avanço das galerias. Outro fator que muito contribuiu para a escolha desta foi as constantes reclamações dos superficiários em relação às vibrações sentidas quando das detonações.

1.7 Localização da área

A área em estudo localiza-se no município de Siderópolis, na região sudeste do estado de Santa Catarina, estando contida na denominada Micro-região Carbonífera do Estado. O local da pesquisa situa-se à oeste da cidade de Siderópolis, na estrada Geral Rio Jordão Baixo, distando cerca de 4,0 km de seu centro. O acesso se faz a partir da cidade de Criciúma, principal da região, com excelente infra-estrutura, distante cerca de 28 km de Siderópolis por estrada asfaltada (Figura 2).

1.8 Aspectos legais

As legislações ambientais federal, estadual e municipal estabelecem os padrões de qualidade com parâmetros de emissão de poluentes. Ao serem eles ultrapassados, haverá riscos à saúde, à segurança e ao bem estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Cabe ao Governo, através de seus órgãos e munido da legislação ambiental, promover a fiscalização das atividades poluidoras. Ao empresário do setor mineral, cabe ajustar suas atividades à legislação ambiental, com a procura de novas técnicas para que possa minimizar e/ou controlar a emissão de poluentes, visando adequar o empreendimento às normas de emissão de poluentes vigentes.

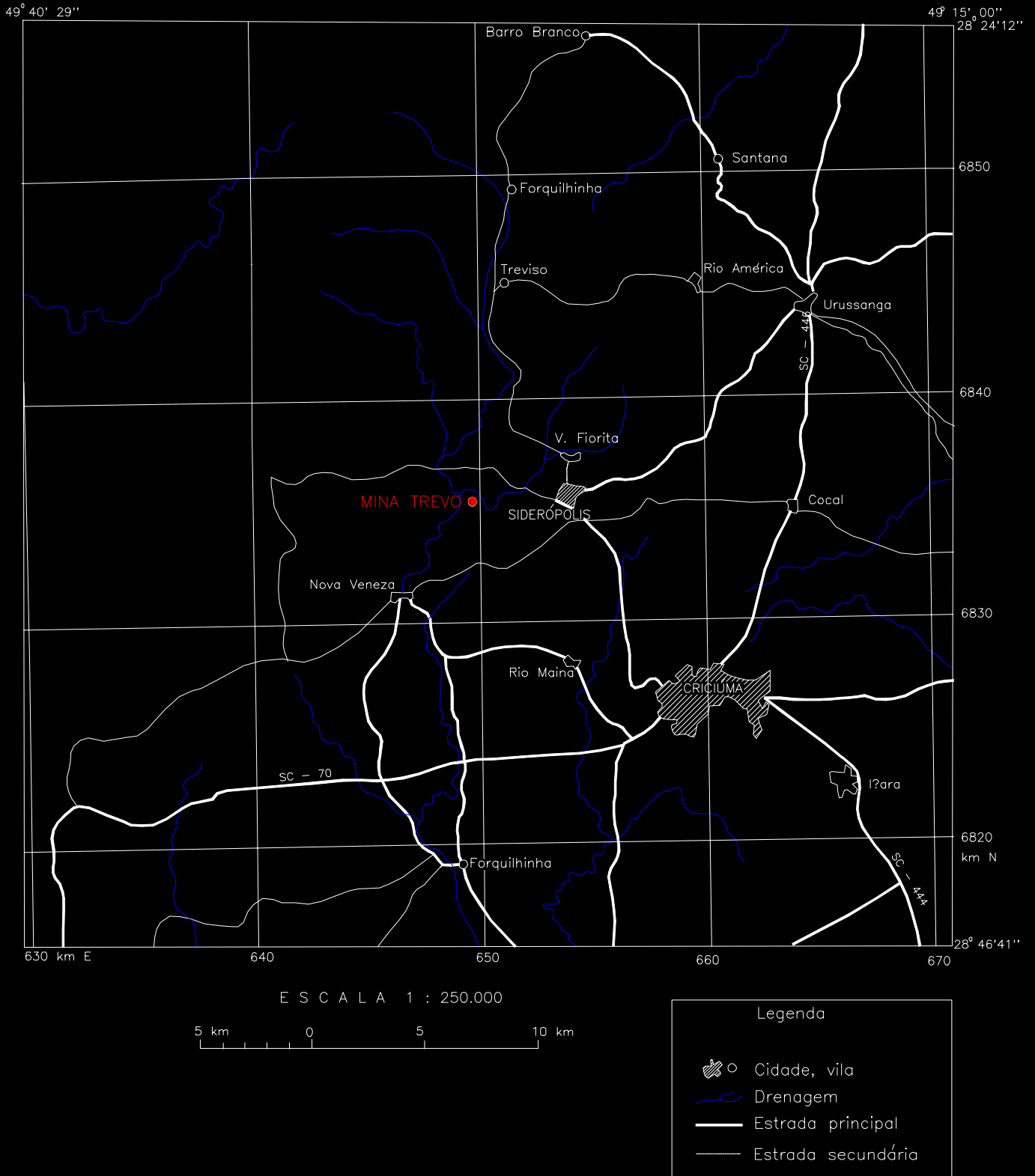
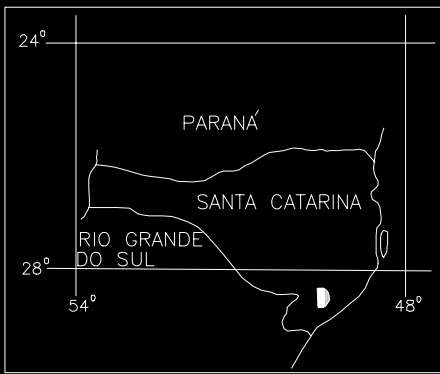


Figura 2 – Mapa de localização da Mina Trevo.
 Fonte: Machado et al., 1984. Siderópolis (SC)

A preocupação com os problemas gerados pelas detonações no desenvolvimento de um empreendimento mineiro é mundial. Normas sobre este assunto existem em diversos países da Europa e nos Estados Unidos da América. Todas elas utilizam o valor da velocidade resultante da partícula, relacionada com o tipo de construção, como parâmetro para estabelecer os limites permitidos para a emissão de vibração. As normas Norte Americana e Alemã são as únicas que se preocupam com o valor da freqüência, de suma importância, principalmente quando ela atinge valores inferiores a 40 Hz.

Trabalhos realizados indicam que, para a faixa de freqüência entre 2 Hz a 40 Hz, os limites de velocidade possuem grande dispersão com maiores probabilidades estatísticas de danos. Isto se dá a grandes deslocamentos que ocorrem nessas freqüências associadas à ressonância estrutural (as freqüências naturais de estruturas estão na faixa de 4 Hz até 24 Hz). Entretanto, para altas freqüências, a estrutura suporta melhor as vibrações. É o caso de estruturas fundadas em rocha e o mais próximo das detonações (< 300 m) (IPT, 1991).

A norma brasileira NBR 9653 (Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas) da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, fixa a metodologia para reduzir os riscos inerentes ao desmonte de rocha com explosivos em minerações, estabelecendo parâmetros a um grau compatível com a tecnologia disponível para a segurança das populações vizinhas às áreas de lavra. Aplica-se somente às emissões de ruídos impulsivos, vibrações pelo terreno e ultralançamentos decorrentes do desmonte de rocha por explosivos. É facultativa a aplicação desta norma nas minerações localizadas em áreas não urbanas. Desde que a situação envolva riscos semelhantes, a norma deve ser aplicada.

É recomendado, como guia seguro para operações de desmonte de rochas por explosivos, observar os seguintes parâmetros:

a) Ultralançamento de fragmentos

O ultralançamento não deve ocorrer.

b) Nível de pressão acústica (sobrepessão do ar).

Definido através da NBR 7731 e medido além da área de operação, não deve ultrapassar o valor de 134 dBL pico, correspondente a uma pressão acústica de pico de 100 Pa.

c) Velocidade de vibração de partícula.

A velocidade de vibração de partícula resultante não deve ultrapassar o valor de 15 mm/s.

Essa norma não leva em conta o tipo de terreno, da construção ou o valor da frequência da velocidade de vibração da partícula. Simplesmente estabelece o limite da velocidade da partícula resultante, que não deve ser ultrapassado (ABNT, 1986).

2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

2.1 Geologia regional

Os dados da geologia regional foram extraídos de Machado, 1984.

A região carbonífera do Estado de Santa Catarina faz parte da Bacia Intracratônica do Paraná, que é uma grande depressão, situada na parte centro-leste do continente sul-americano, cobrindo uma área de aproximadamente 1.600.000 km². A área de Siderópolis faz parte da Bacia Carbonífera de Santa Catarina, na porção sudeste deste estado (Figura 3).

A região é constituída por rochas pré-Gonduânicas representadas pelo Complexo Metamórfico-Migmático, por rochas Gonduânicas representadas pelas formações Rio do Sul, Rio Bonito, Palermo, Irati, Estrada Nova, Rio do Rastro, Botucatu e Serra Geral, e por sedimentos quaternários constituídos por aluviões. A coluna estratigráfica da região está representada no quadro 2.

2.1.1 – Unidades Pré-Gonduânicas

2.1.1.1 – Complexo Metamórfico-Migmatítico

Sob essa denominação estão englobadas rochas migmatíticas, graníticas e gnáissicas. As rochas graníticas são equigranulares, de granulação média a grosseira, leucocráticas, coloração rósea a cinza, constituídas por feldspato alcalino, quartzo e subordinadamente biotita.

2.1.2 – Unidades Gonduânicas

2.1.2.1 – Grupo Tubarão

Neste pacote estão englobados, da base para o topo, os subgrupos Itararé e Guatá.

2.1.2.1.1 – Subgrupo Itararé

Este subgrupo está representado na região pela formação Rio do Sul, cuja parte basal é representada de folhelhos e argilitos cinza escuros, a parte superior é constituída por argilitos, folhelhos várvidos, ritmitos, arenitos finos e diamictitos.

Quadro 2 - Coluna estratigráfica da região de Siderópolis

PERÍODO	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA				LITOLOGIAS	
	GRUPO	SUB-GRUPO	FORMAÇÃO	MEMBRO		
QUATERNÁRIO					Depósitos de aluviões e coluviões	
JURO-CRETÁCEO	SÃO BENTO		SERRA GERAL		Soleiras e diques de diabásio	
			BOTUCATU		Arenitos róseos a avermelhados, finos a médios	
PERMIANO	PASSA DOIS		RIO DO RASTRO		Siltitos e argilitos esverdeados a arroxeados e avermelhados com intercalações de arenitos finos acinzentados e avermelhados	
			ESTRADA NOVA		Argilitos, folhelhos e siltitos cinza escuros com raras intercalações de arenitos finos, cinza claros	
			IRATI		Argilitos, folhelhos e siltitos cinza escuros com intercalações de folhelhos pirobetuminosos pretos e lentes de calcário	
	TUBARÃO	GUATÁ	PALERMO		Siltitos cinza escuros a cinza-esverdeados, localmente com intercalações de arenitos finos cinza claros	
			RIO BONITO	SIDERÓPOLIS	Arenitos finos a médios, cinza a cinza-esbranquiçados, intercalados com siltitos cinza escuros, siltitos carbonosos e camadas de carvão.	
				PARAGUAÇU	Siltitos cinza a cinza-esverdeados intercalados com arenitos finos	
				TRIUNFO	Arenitos médios a grosseiros, cinza-esbranquiçados com algumas intercalações de siltitos cinzas.	
		ITARARÉ	RIO DO SUL		Folhelhos, argilitos, arenitos finos, ritmitos e diamictitos.	
	PRÉ-CAMBRIANO	COMPLEXO METAMÓRFICO-MIGMÁTICO				Migmatitos, granitos e gnaisses.

Fonte: Machado, 1984

2.1.2.1.2 – Subgrupo Guatá

Nesta seqüência estão presentes siltitos cinza e cinza-esverdeados com intercalações de camadas de carvão e folhelhos carbonosos. O subgrupo Guatá está dividido nas formações Rio Bonito e Palermo.

2.1.2.1.2.1 – Formação Rio Bonito

A formação Rio Bonito foi subdividida por Mulhmann et alii (1974), segundo Machado (1984) nos seguintes membros, da base para o topo: Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis.

- Membro Triunfo

Consiste essencialmente de arenitos cinza-esbranquiçados, médios e grosseiros, com estratificação cruzada freqüente, selecionamento regular de grãos subarredondados. Subordinamente aparecem siltitos de coloração cinza, com estratificação plano-paralela ou maciços, podendo aparecer ainda, arenitos finos, argilitos, folhelhos carbonosos, leitos de carvão e conglomerados.

- Membro Paraguaçu

Este membro é constituído predominantemente por siltitos de coloração cinza a cinza-esverdeadas, intercalados com arenitos finos e leitos de rochas carbonáticas. Nesta seqüência raramente são encontrados níveis de carvão.

- Membro Siderópolis

Consiste essencialmente de arenitos finos a médios, localmente grosseiros, de coloração cinza a cinza-esbranquiçada intercalados com camadas de siltitos de coloração cinza a cinza escuro, siltitos carbonosos de coloração cinza escuro e carvão. É neste membro que se encontram as principais camadas de carvão lavradas comercialmente nesta região.

2.1.2.1.2.2 – Formação Palermo

É constituída predominantemente por siltitos e siltitos arenosos de coloração cinza, cinza escuro e cinza-esverdeados. Localmente aparecem

arenitos finos, normalmente de coloração cinza clara. Estes sedimentos encontram-se normalmente bioturbados, provocando uma destruição intensa nas estruturas sedimentares originais. O contato superior com a Formação Irati é concordante.

2.1.2.2 – Grupo Passa Dois

Este grupo é constituído pelas seguintes formações, da base para o topo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rastro.

2.1.2.2.1 – Formação Irati

A parte inferior da formação normalmente é constituída por argilitos, folhelhos de coloração cinza escuro a cinza claro e siltitos de coloração acinzentada. A parte superior é constituída por folhelhos de coloração cinza escuro, folhelhos pretos pirobetuminosos e calcários. O contato superior com a Formação Estrada Nova é concordante.

2.1.2.2.2 – Formação Estrada Nova

A seqüência normalmente é constituída em sua parte inferior, por argilitos, folhelhos e siltitos de coloração cinza escuro a preto. Localmente aparecem algumas lentes e concreções calcárias. Os siltitos podem apresentar fratura conchoidal. A parte superior da formação é constituída por uma alternância de argilitos e folhelhos com siltitos e arenitos de coloração cinza clara. Localmente aparecem calcários e o contato superior com a Formação Rio do Rastro é gradacional.

2.1.2.2.3 – Formação Rio do Rastro

A porção basal desta formação é constituída por siltitos esverdeados e arroxeados com intercalações de argilitos, arenitos finos e níveis carbonáticos às vezes com oólitos. A parte superior da formação é constituída por argilitos e siltitos de coloração avermelhada apresentando intercaladas lentes de arenitos finos. O contato superior desta formação com a Formação Botucatu é feito por uma discordância erosiva.

2.1.2.3 – Grupo São Bento

Este grupo é constituído pelas formações Botucatu e Serra Geral, sendo esta última a seqüência superior.

2.1.2.3.1 – Formação Botucatu

A seqüência é constituída por arenitos de coloração rósea e avermelhada, granulometria fina a média, friáveis, com grãos foscos e normalmente bem arredondados. Na parte basal podem ocorrer alguns níveis de arenitos argilosos mal selecionados. O contato superior com a Formação Serra Geral é discordante.

2.1.2.3.2 – Formação Serra Geral

É constituída por basaltos de textura afanítica e coloração cinza escura. A seqüência é formada por vários derrames de lava basáltica, apresentando-se amigdaloidal no topo de cada derrame e com desenvolvimento de grande quantidade de juntas verticais e horizontais na porção intermediária.

Entre um derrame e outro podem aparecer intercalações de arenitos finos a médios com estratificação cruzada, especialmente na porção basal da formação. As rochas da Formação Serra Geral foram derramadas por um intenso vulcanismo de fissura.

2.1.3 – Unidades Pós-Gonduânicas

2.1.3.1 – Sedimentos Quaternários

- Aluviões

As planícies aluvionares estão presentes nas faixas marginais das principais drenagens da região, destacando-se os rios Mãe Luzia, Sangão e São Bento. Os aluviões formados nestas planícies são constituídos predominantemente por uma sedimentação detrítica areno-argilosa, transportada pelos rios e arroios e depositada ao longo de suas planícies de inundação. Junto ao leito dos principais rios são comuns bancos de areia e cascalhos, que seguidamente são utilizados na construção civil.

2.2 Geologia local

A empresa Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda., detentora dos direitos de lavra sobre a Mina Trevo, tem por objetivo a exploração da Camada Barro Branco, com cobertura variando entre um máximo de 160

metros e um mínimo de 15 metros.

Estratigraficamente, as rochas de cobertura são constituídas pelos folhelhos escuros da Formação Irati, siltitos e arenitos da Formação Palermo e também arenitos da Formação Rio Bonito.

Destaque-se o Membro Siderópolis da formação Rio Bonito, que consiste, essencialmente, de arenitos finos a médios, localmente grosseiros, de coloração cinza a cinza-esbranquiçada intercalados com camadas de siltitos de coloração cinza a cinza-escuro, siltitos carbonosos de coloração cinza escuro e carvão. É neste membro que se encontram as principais camadas de carvão lavradas comercialmente na região: Barro Branco e Irapuá. (Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda., 1995).

Essas camadas de carvão apresentam as seguintes características:

Camada Barro Branco

Apresenta maior importância, tanto pela qualidade de seu carvão para fins siderúrgicos, como pela sua persistência em toda a bacia. Esta camada vem sendo lavrada economicamente desde os primórdios da mineração de carvão até os dias atuais.

A camada Barro Branco (Foto 1) é constituída por leitos de carvão intercalados com siltitos e folhelhos, em proporções aproximadamente equivalentes. A camada total contém em média entre 0,50 m e 1 m de carvão, localmente superando 1,50 m. A espessura média dessa camada nas minas é de 1,54 m (camada total) e 0,76 m (carvão na camada). O limite leste é definido pela linha de erosão atual; o limite oeste é bem nítido, devido a uma diminuição abrupta da possança, logo depois de ter alcançadas suas espessuras máximas (DNPM, 1985).

Seu perfil típico, com as denominações regionais dos leitos, pode ser assim resumido:

Forro – É o leito de carvão preto com finas lâminas ou lentes brilhantes (vitrênio), algo piritoso, com espessura média de 0,35 m. Algumas vezes, intercalam-se no Forro uma ou mais lentes de siltito ou folhelho cinza-

escuro a preto, conhecidos regionalmente por “Bexiga”.

Quadração – É um pacote de siltitos e folhelhos com cor que varia do cinza a preto, com espessura média de 0,60 m, contendo algumas finas intercalações de carvão.

Coringa – É um fino leito de carvão com lâminas e lentes brilhantes, pouco piritoso, que normalmente ocorre entre a Quadração e o Siltito Barro Branco. Sua espessura média é de 0,06 m.

Siltito Barro Branco – É o leito de siltito cinza-claro, ocasionalmente apresentando tonalidades escuras, que se altera a uma argila branca. A denominação da camada Barro Branco foi dada em alusão à alteração desta rocha. Sua espessura média é de 0,28 m.

Banco – É um pacote de carvão com intercalações de leitões de folhelhos e siltitos pretos. O número de leitões de estéril varia de um até cinco, sendo mais comum ocorrerem três. A espessura média do banco é de 0,67 m, com 0,20 m de material estéril. Seu carvão apresenta muita pirita e lâminas e lentes de vitrênio.



Foto 1 - Frente de lavra da galeria 7, câmara 110, na mina Trevo, Siderópolis (SC); ao fundo a Camada Barro Branco, com detalhe do forro, quadração e banco.

Próximo à atual área de lavra, ocorrem, aleatoriamente na camada Barro Branco, concreções de calcário em forma de lentes e mais raramente esféricas, denominadas pelos mineiros de “bolões”. Seu tamanho varia de 0,10 m até 1,00 m de diâmetro. Na área de ocorrência dos “bolões”, a lavra subterrânea mecanizada é grandemente prejudicada pela dureza das concreções e sua distribuição aleatória dentro da camada.

A Camada Barro Branco na área de lavra pode ser visualizada na figura 4, através de dois perfis litológicos, dos furos de sondagem MT 51 e MT 52.

Acima da camada Barro Branco, ocorre, na maior parte da bacia, um leito de 0,80 m de espessura média, denominada “Alevante” constituído de siltito arenoso, micáceo, cinza-claro, passando muitas vezes a arenito síltico, cinza-claro, com lâminas de coloração mais escura, onde há maior concentração de matéria orgânica.

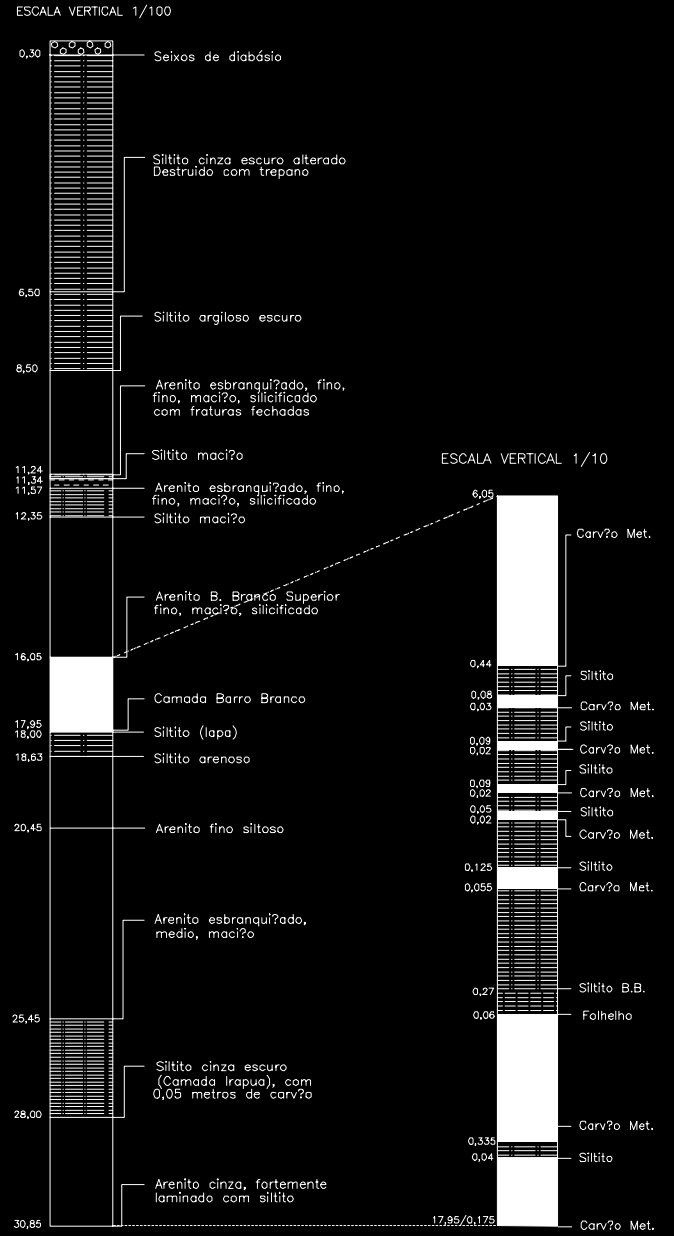
Entre a camada de carvão Barro Branco e o arenito que lhe está sotoposto, normalmente ocorre um leito de folhelho preto com restos de raízes fósseis Underclay, com espessura média da ordem de 0,10 m.

A camada Barro Branco está estruturada em um grande monoclinal, com direção regional N70°W e suave mergulho regional (menor do que 1°, para sudoeste), sendo intensamente recortada por falhas. A direção da camada apresenta uma leve inflexão para leste na porção meridional da bacia. As variações locais de mergulho (que chegam a atingir 15°) e as inversões no sentido, bem como a existência local de estrutura tipo sinclinal e anticlinal, são atribuídas a efeitos de acomodação de blocos anteriormente falhados ou à intrusão de corpos ígneos. As numerosas falhas que ocorrem em toda a área produziram acentuadas discontinuidades na camada de carvão.

O carvão da Camada Barro Branco encontra-se no estágio Carvão Betuminoso Alto Volátil, e apresenta, na sua parcela beneficiada, propriedades coqueificantes satisfatórias, com um índice de inchamento elevado.

MT 51

PERFIL LITOLÓGICO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	DETALHE DA CAMADA BARRO BRANCO
-------------------	----------------------	--------------------------------



MT 52

DETALHE DA CAMADA BARRO BRANCO	PERFIL LITOLÓGICO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
--------------------------------	-------------------	----------------------

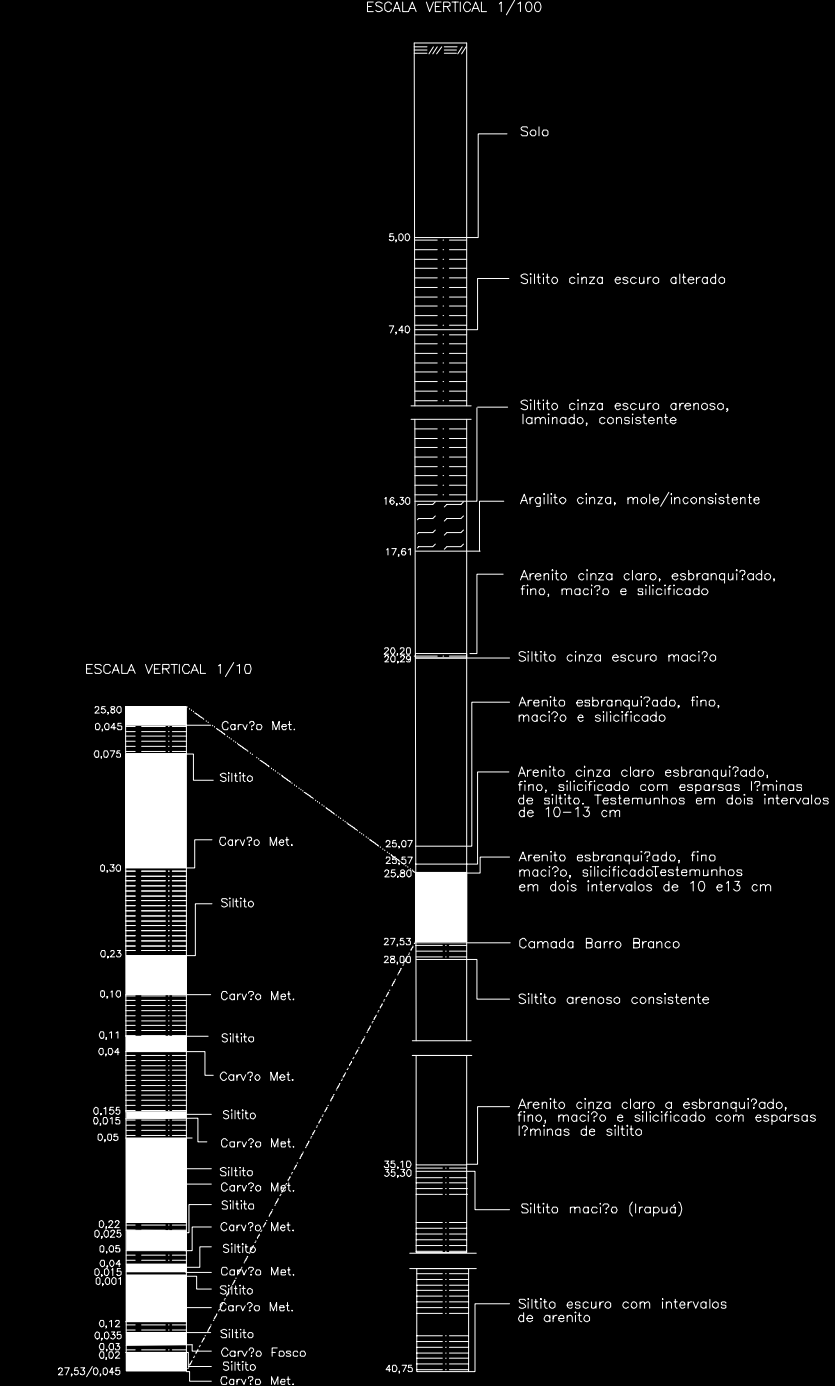


Figura 4 – Perfis litológicos da Mina Trevo (Siderópolis) com detalhe da camada Barro Branco.
Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.

Camada Irapuá

A camada Irapuá é constituída, normalmente, por carvão preto com algumas lâminas e lentes brilhantes, com intercalação de leitos de siltitos e folhelhos pretos. Esta camada situa-se de 4 m a 15 m (em média 9 m) abaixo da camada Barro Branco, de modo que seu comportamento estrutural pouco difere daquela. Sua área de ocorrência é bastante restrita, passando a camada de carvão lateralmente para siltitos e folhelhos escuros, ricos em fósseis, com finos níveis de carvão. Seus depósitos mais significativos são alongados, via de regra curvos, em forma de ferradura, sugerindo depósitos em paleocanais. Sua espessura média é de 1,90 m, com cerca de 1,30 m de carvão na camada.

A lavra dessa camada já foi iniciada na mina Trevo, estando situada a 9 metros abaixo da camada Barro Branco no extremo oeste da área requerida.

Rochas de cobertura

No caso da mina Trevo, o maciço de teto da galeria foi delimitado pelo topo da camada Barro Branco até a base da Formação Palermo. Neste intervalo são encontrados basicamente dois tipos litológicos, siltitos e arenitos, assim classificados:

Arenitos Maciços (AM): São arenitos esbranquiçados de granulometria média a fina. Este arenito apresenta espessuras variáveis de 2 m a 8 m na área da mina, estando posicionado imediatamente abaixo da Formação Palermo. Do ponto de vista geotécnico, a tendência é comportar-se de uma maneira indeformável para o vão de 5 m de largura.

Arenitos Laminados (AL): São arenitos de cor cinza esbranquiçada, granulometria média a fina e intercaladas com lâminas de um material síltico-arenoso, em geral micáceo e piritoso. São freqüentes as oxidações dos níveis laminares, gerando superfícies de fraqueza na rocha. Esta litologia pode ou não ocorrer. Quando presente, está posicionado num local intermediário, entre os arenitos maciços e os siltitos oxidáveis. Quando

intercalado dentro dos AM, abaixo da espessura de 0,80 m, todo o pacote até este nível é considerado laminado para efeito de classificação geotécnica.

Siltitos Oxidáveis (SO): São siltitos finamente arenosos de cor cinza escura contendo minerais micáceos de granulometria muito fina. Do ponto de vista geomecânico, a tendência é que esta rocha, comporte-se razoavelmente bem quando com espessuras $> 0,40$ m, uma vez que não parece apresentar superfícies de descontinuidade abundantes.

3 – Métodos de lavra e de beneficiamento

3.1 – Lavra de carvão

O método de lavra por “câmaras e pilares” vem sendo aplicado de forma generalizada nas minas de carvão de Santa Catarina há várias décadas, com sucesso. Anteriormente ao ano de 1988, a concepção da lavra do carvão no país visava a máxima recuperação do minério em detrimento da segurança de superfície. Nessa época as minas de sub-solo eram projetadas para a recuperação dos pilares visando ao máximo o seu aproveitamento, como segue abaixo:

- a) Lavra manual através de câmaras em avançamento, com mineração total dos pilares em recuo e caimento do teto.
- b) Lavra manual através de câmaras em avançamento, com mineração total dos pilares em recuo, enchimento da zona minerada com estéril, lavra seletiva.

A partir de 1988 este método de lavra foi substituído pois, em hipótese alguma, a lavra poderá prejudicar a superfície. Projeta-se a mina, atualmente, pelo método de “câmaras e pilares” sem recuperação dos pilares, evitando a ocorrência de solapamento da superfície, na fuga de drenagem e danos em obras civis. Os níveis de recuperação da jazida são da ordem de 40% a 60% da reserva, dependendo da cobertura existente.

O método mais utilizado atualmente é o de lavra semi-mecanizada com carregadeiras de subsolo tipo *Bob-Cats*, modelo MT-700 e correias transportadoras para o transporte do carvão (fotos 2 e 3). Por este método são desenvolvidas, simultaneamente, galerias paralelas que são coligadas por galerias laterais (travessões) com abertura padronizada numa seção de 5,00 m de largura e 1,76 m de altura, ou seja, 8,80 m². O pilar tem, normalmente, 7,00 m x 7,00 m. Quando a cobertura ultrapassa 125 m de espessura, a dimensão dos pilares aumenta.



Foto 2 - Operação de carregamento por *bob cat*, na frente de lavra após a detonação, Mina Trevo, Siderópolis (SC)



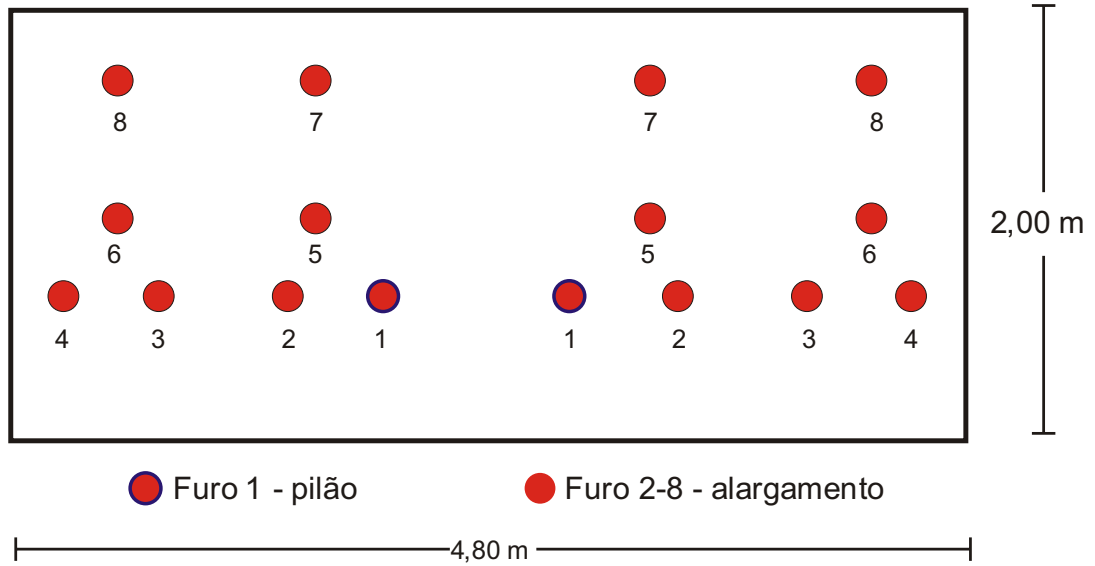
Foto 3 - Transporte do minério por correia transportadora, na galeria principal da Mina Trevo, Siderópolis (SC)

O desmonte do carvão na Camada Barro Branco é feito com furação e detonação nas camadas consistentes. A perfuração na frente de lavra é executada com perfuratrizes pneumática a úmido. Para um desmonte são necessários 16 furos com 1,40 m a 1,60 m de profundidade e avanço de 1,10 m por fogo (figuras 5 e 6).

A detonação é realizada utilizando-se na iniciação estopim, espoletas simples, sistema ignitor não elétrico e retardos com tempo de espera variando de 40 ms a 6500 ms (foto 4). As características do plano de fogo utilizado pelas minerações de carvão podem ser assim descritas.

nº de furos	16/20
nº de linhas	03
Ø do furo	42 mm
profundidade	1,53 m (média)
afastamento	1,10 m
espaçamento	0.55 m (min.); 1.30 m (máx.)
área da malha	9,36 m ²
inclinação do furo	Sim; 30 e 20
explosivos	PV 15 (1 1/8 "x 8")
quantidades	7,56 kg
RLC	4,95 kg/m
tampão	não
iniciação	espoleta não elétrica (brinel)
Carga por furo	0,56 kg
carga total (16 furos)	7,56 kg
carga por espera	0,70 kg
RC	330 g/t
volume desmonte	11,23 m ³
Tempo dos elementos de retardos	40 ms, 300 ms, 600 ms, 1500 ms, 2500 ms, 3500 ms, 6500 ms

Vista Frontal (posição dos furos na frente)



Vista Lateral (posição de emboque e profundidade dos furos)

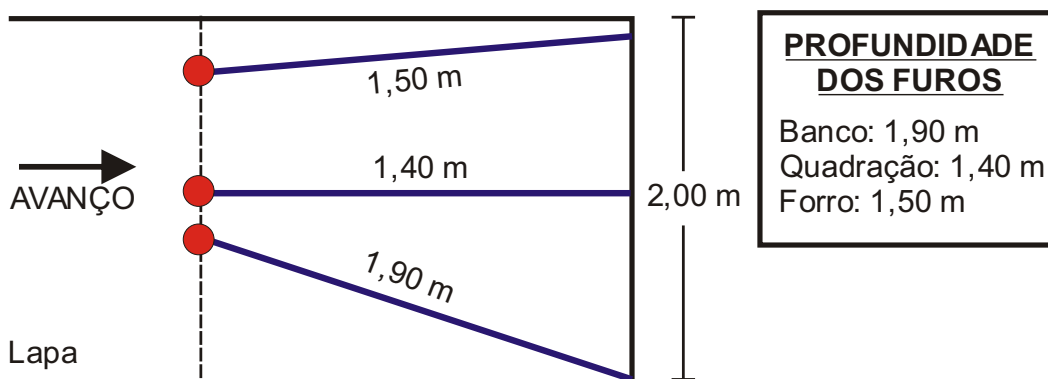
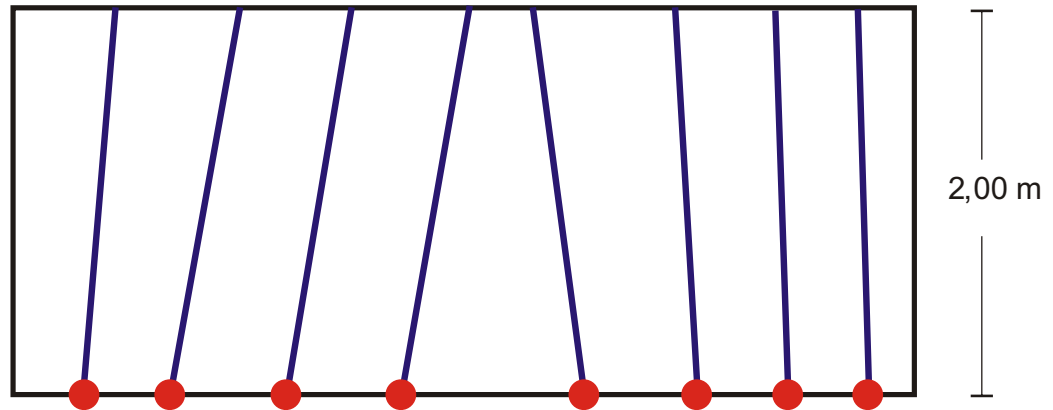


Figura 5 - Vistas frontal e lateral do esquema de furação na frente de lavra.
 Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.

Vista superior (planta baixa do banco)



Vista superior (planta baixa: forro e quadração)

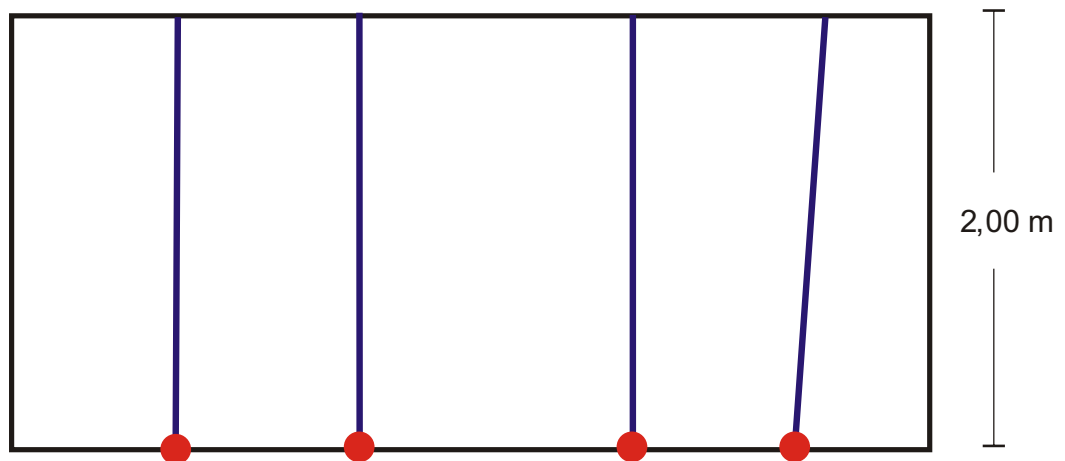


Figura 6 - Vista superior do esquema de furação na frente de lavra.
Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.

O escoramento do teto das galerias (Foto 5) é executado através de atirantamento com hastes metálicas de 1,05 m a 1,20 m e usando-se ancoragem com resinas químicas de pega rápida (1 a 2 cartuchos de 20 mm x 300 mm; 1 minuto de tempo de cura). É instalada uma haste para cada 2,5 m². Os furos para a fixação também são feitos por perfuratrizes pneumática a umido. Além das informações obtidas através das sondagens, a cada 100 metros são realizados realces no teto imediato dos painéis para verificar as condições do mesmo.

Compressores de ar na superfície fornecem o ar necessário às frentes de serviço, através de uma rede de tubulações. As operações de carregamento e transporte do carvão desmontado são realizadas nas frentes de serviço por *Bob-Cats* que descarregam nas correias transportadoras rebaixadas transversais às frentes de serviço (Foto 6). As correias rebaixadas transferem o carvão para uma correia transportadora instalada em galeria lateral ao painel de lavra e, a partir desta, realiza-se a descarga na correia instalada no eixo principal da mina, sendo conduzida após esta etapa para a superfície.



Foto 4 - Frente de extração da Mina Trevo, Siderópolis (SC), com a disposição dos furos de detonação com explosivo e amarração feita com cordel.



Foto 5 - Detalhe do parafuso de sustentação do teto da galeria. A viga de madeira serve como orientação caso o teto esteja cedendo, a arruela penetra na madeira, Mina Trevo, Siderópolis (SC)

3.2 - Beneficiamento

O beneficiamento do carvão tem por objetivo promover a redução do teor de cinza, o aumento do teor de matéria carbonosa e conseqüentemente, ao poder calorífero, a redução do teor de enxofre e a obtenção de granulometria adequadas às especificações industriais, visando sua utilização em função das necessidades do mercado consumidor.

No caso da empresa em estudo, a usina de beneficiamento está implantada dentro do pátio de operações da mina, a 300 metros do plano inclinado de extração do carvão e 1500 metros da área de deposição de rejeitos sólidos e efluentes líquidos (Foto 7).

O carvão extraído do subsolo segue através de correia transportadora até a pilha do ROM (*Run of Mine*), sofrendo processo de britagem primária e secundária sendo armazenado na pilha de britado, reguladora da alimentação do beneficiamento.

O carvão é beneficiado através da utilização de jigues. A fração menor que 0,60 mm é tratada por processos gravimétricos e flotação com o objetivo de obter matéria prima para a fabricação de coque (Figura 7). Produtos obtidos no beneficiamento: grossos (34.955 t/mês), finos (2.330 t/mês) e rejeitos (79.232 t/mês). Os produtos grossos e parte dos finos são destinados a Usina Termelétrica Jorge Lacerda IV, localizada em Tubarão (SC) e parte dos finos para a industrialização de coque.



Foto 6 - Alimentador da correia transportadora principal da Mina Trevo, Siderópolis (SC).



Foto 7 - Vista geral das instalações da Mina Trevo, Siderópolis (SC).

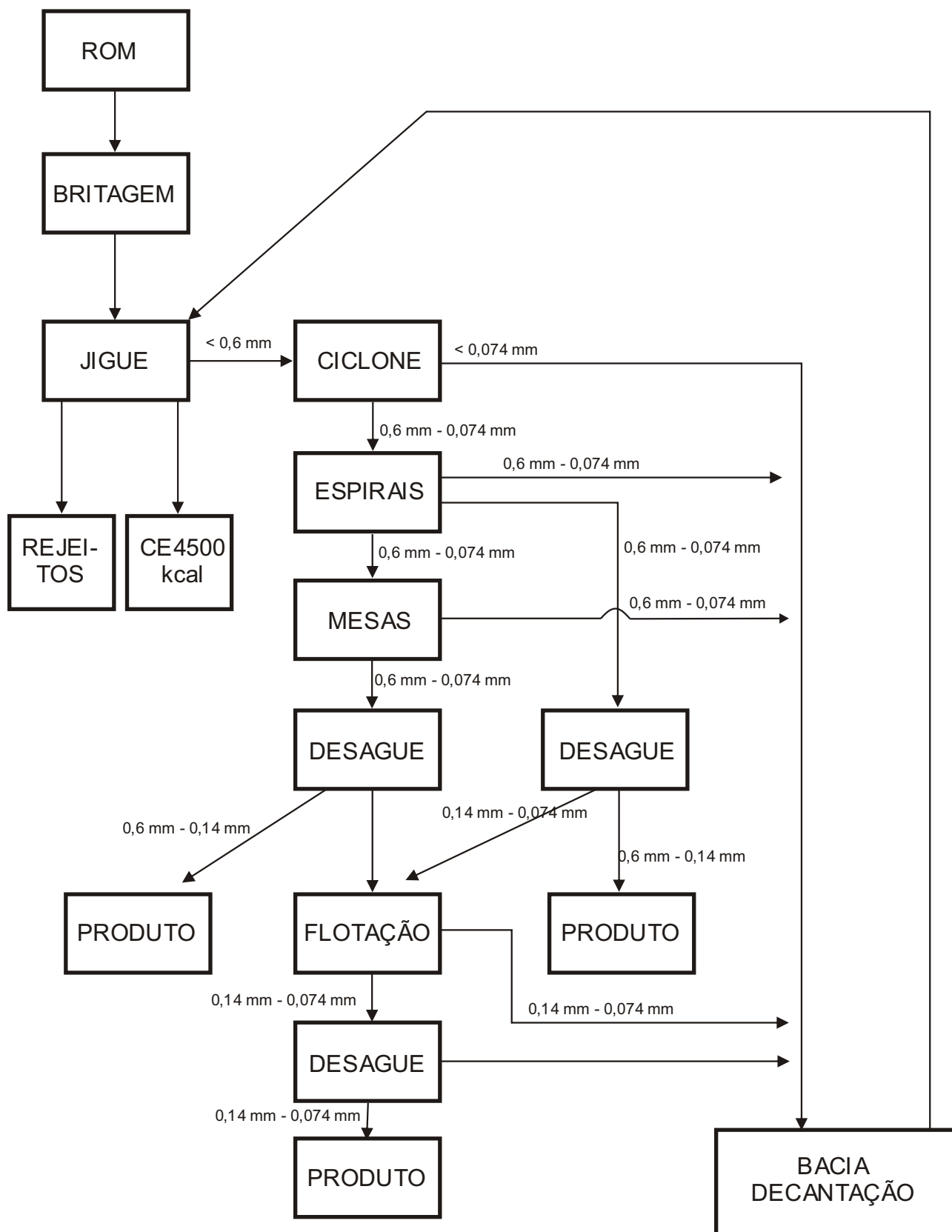


Figura 7: Fluxograma de beneficiamento da Mina Trevo- Siderópolis (SC).

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.

4 VIBRAÇÕES GERADAS PELO USO DE EXPLOSIVOS NO DESMONTE DE ROCHA

4.1 Dados gerais

A detonação de explosivos industriais no desmonte de rochas, libera uma grande quantidade de energia nas formas de ondas de choque e gases, a pressões e temperaturas muito altas, que se propagam em todas as direções. A energia proveniente da reação exotérmica de detonação de explosivos de ruptura é transmitida à rocha através de altíssimas pressões exercidas pelos gases nas paredes dos furos. O pulso dinâmico percorre a rocha, fraturando-a no início (4 ms a 5 ms) e provocando vibrações na região dita sísmica (até 50 m). As fraturas produzidas pelas ondas de choque facilitam a penetração dos gases que exercem uma tração ainda maior nas suas paredes, completando o desmonte da rocha. A ação dos gases no desmonte da rocha ainda provoca fraturas perpendiculares à sua direção de expansão, as quais também contribuem para a fragmentação da rocha.

As ondas características daquele pulso agem de maneira diversa, em função das características do meio de propagação. Genericamente podem ser de dois tipos:

- a. Ondas longitudinais, P, também conhecidas por primárias ou dilatacionais;
- b. Ondas transversais, S, também conhecidas por secundárias ou de cisalhamento.

Um aspecto importante da propagação das ondas sísmicas é o condicionamento imposto pela superfície do meio de propagação, polarizando as ondas sísmicas, isto é, o pulso se verifica na superfície do terreno e num determinado plano vertical (ondas de Rayleigh) ou horizontal (ondas de Love). Por serem ondas superficiais, elas possuem acentuada atenuação vertical (IPT,1991).

São quatro os principais impactos causados por uma detonação no desmonte de rochas numa mineração, a saber:

1. Vibração – a manifestação física da propagação das ondas sísmicas num

meio material é a vibração das partículas do terreno no qual as ondas se propagam.

2. Ultralançamento – é o lançamento inadequado da rocha por ocasião de uma detonação.
3. Sobrepressão – é a superposição de inúmeros pulsos de pressão do ar, positivos e negativos, em geral resultante da explosão no terreno.
4. Gases e poeiras – gases dos explosivos e poeiras da pulverização das rochas.

Quando não existe controle adequado, tais impactos podem causar graves problemas materiais e sociais.

A propagação de ondas de choque pelo maciço rochoso provoca o surgimento de vibrações que se apresentam com amplitudes maiores ou menores, de acordo com a carga de explosivo e podem ser de freqüências variadas de acordo com o tipo de rocha onde são geradas e/ou captadas. Normalmente rochas mais duras apresentam altas freqüências (acima de 100 Hz) enquanto as mais brandas, baixas freqüências (abaixo de 20 Hz). O parâmetro amplitude do movimento está diretamente correlacionado com a carga detonada instantaneamente e com a distância do ponto onde a medição é efetuada, sendo diretamente proporcional à carga e inversamente proporcional à distância.

Nos trabalhos que visam a captação e medição das vibrações e da sobrepressão atmosférica geradas através das detonações oriundas das frentes de lavra, são utilizados aparelhos denominados sismógrafos de engenharia. Devido ao grande avanço tecnológico, os sismógrafos de engenharia da atualidade são semi ou totalmente computadorizados, apresentando sismogramas e os resultados automaticamente calculados e fornecidos no instante das medidas de campo. O evento também é gravado em disquete além de ser armazenado na memória do sismógrafo, sendo, posteriormente, analisado através de programas específicos, dependendo do objetivo do trabalho a ser realizado.

4.2 Equipamento utilizado

Neste monitoramento, foi utilizado o sismógrafo de engenharia modelo SSU 2000 DK (foto 8), fabricado pela empresa norte-americana GeoSonics Inc. Este aparelho capta, processa e registra os sinais recebidos: velocidade, deslocamento e aceleração da partícula, a resultante das três componentes (longitudinal, transversal e vertical) e sobrepressão (“sopro de ar”) e a frequência de vibração. Possui duas unidades captadoras externas: 01 geofone triortogonal de registro sísmico e 01 microfone de registro sonoro da sobrepressão atmosférica. O aparelho pode ser acionado através do sistema “trigger” (gatilho), que estipula um valor, tanto para a velocidade da partícula como para a sobrepressão, permitindo, com isso, acionar o aparelho automaticamente, com maior segurança no monitoramento, sem a perda do registro ou o acionamento indevido. Nestes casos, devido à sensibilidade dos sensores é importante um rígido controle da movimentação próximo ao aparelho (GeoSonics, 1997).

O registro é feito através da unidade de gravação em disquete, memória interna para 20 eventos e impressora interna; além dos valores picos de velocidade, aceleração, deslocamento e velocidade resultante da partícula e da sobrepressão, imprime o gráfico das três componentes sísmicas e da sobrepressão. O sismógrafo citado apresenta as seguintes características:

- velocidade: 0.6 mm/s – 250 mm/s
- aceleração e deslocamento: calculados através dos valores picos
- disparo com valor pré-estabelecido: 0.6 mm/s – 30 mm/s
- tipos de registro: simples ou contínuo
- tempo de registro: 5 s (até 900 m), 10 s (entre 900 m e 2250 m) e 15 s (acima de 2250 m).
- resposta de frequência; 2 Hz – 250 Hz
- sobrepressão: 106 dB – 140 dB
- calibração: anual
- gráfico USBM/OSMRE: sim
- fonte: bateria de 12 V ou diretamente na corrente elétrica (120 V)

No presente estudo, devido a demora na impressão em campo, o gráfico USBM/OSM foi suprimido para que não houvesse perda de registros. Devemos lembrar que as detonações tinham intervalos de até 2 minutos (1,5 a 2,0 min) e o aparelho, com a impressão do gráfico, leva cerca de 2,5 minutos para estar novamente pronto para registrar a detonação seguinte. Mesmo assim, muitas detonações deixaram de serem registradas devido à sobreposição das mesmas.

O registro obtido em campo é imediato. No escritório podemos fazer um estudo mais completo, incluindo: análises do espectro de frequência, das componentes sísmicas (aceleração, deslocamento e velocidade) e da sobrepressão sobre intervalos de frequência, e do gráfico USBM e OSM, com a utilização de programa específico de computador. O equipamento utilizado no presente estudo está alocado no CECOPOMIN/DNPM – 2ºDS/SP.



Foto 8 – Sismógrafo de engenharia modelo SSU 2000 DK utilizado no registro das vibrações na área de pesquisa.

4.3 Localização dos pontos de amostragem

O que determinou a escolha dos locais de monitoramento foram as constantes reclamações dos residentes situados ao longo da faixa de avanço de lavra, no bairro Rio Albina, no município de Siderópolis. O avanço das galerias na mina Trevo se dá no sentido leste-oeste.

Foram monitorados dez pontos fixos durante vários eventos de detonação, no período de agosto de 1999 a dezembro de 2000 (figura 8). Os pontos escolhidos foram:

PONTO DE MONITORAMENTO	DESCRIÇÃO
? 01	Local: Casa Treviso (foto 9) Sensor posicionado a 100 m da frente de lavra. Cobertura: 26 metros Coordenadas: X = 651.888 Y = 6835577
? 02	Local: Casa de Domingos Patel (foto 10) Sensor posicionado a 130 m da frente de lavra Cobertura: 20 metros Coordenadas: X = 651.863 Y = 6835586
? 03	Local: Quintal da casa de Fátima Patel (foto 11) Sensor posicionado a 40 m da frente de lavra Cobertura: 28 metros Coordenadas: X = 651.723 Y = 6835582
? 04	Local; Estábulo no terreno de Fátima Patel (foto 12) e a 20 m S do ponto 03. Sensor posicionado a 40 m da frente de lavra Cobertura: 22 metros Coordenadas: X = 651.734 Y = 6835559
? 05	Local: Goiabeira a 10 m leste do salão paroquial (foto 13) Sensor posicionado a 80 m da frente de lavra Cobertura: 25 metros Coordenadas: X = 651666 Y = 6835556

- ? 06
Local: piezômetro nº 2.4 (foto 14)
Sensor posicionado a 80 m da frente de lavra
Cobertura: 23 metros
Coordenadas: X = 651.678 Y = 6835480
- ? 07
Local: Salão Comunitário (paroquial)
Sensor posicionado a 100 m da frente de lavra
Cobertura: 25 metros
Coordenadas: X = 651659 Y = 6836587
- ? 08
Local: casa de Vinícius Savaris (foto 15)
Sensor posicionado a 45 m
Cobertura: 25 metros
Coordenadas: X = 651164 Y = 6835505
- ? 09
Local: estrada de acesso à casa de Luis D'Acol (foto 16)
Sensor posicionado a 80 m da frente de lavra
Cobertura: 22 metros
Coordenadas: X = 651116 Y = 6835487
- ? 10
Local: casa de Luis D'Acol (foto 17)
Sensor posicionado a 100 m da frente de lavra
Cobertura: 25 metros
Coordenadas: X = 651093 Y = 6835441



Foto 9 - Ponto 01 de monitoramento, na casa Treviso. O aparelho foi instalado próximo à casa e a 100 m da frente de lavra da Mina Trevo, Siderópolis (SC).



Foto 10 - Ponto de monitoramento número 2, no pátio da casa de Domingos Patel, Siderópolis (SC).

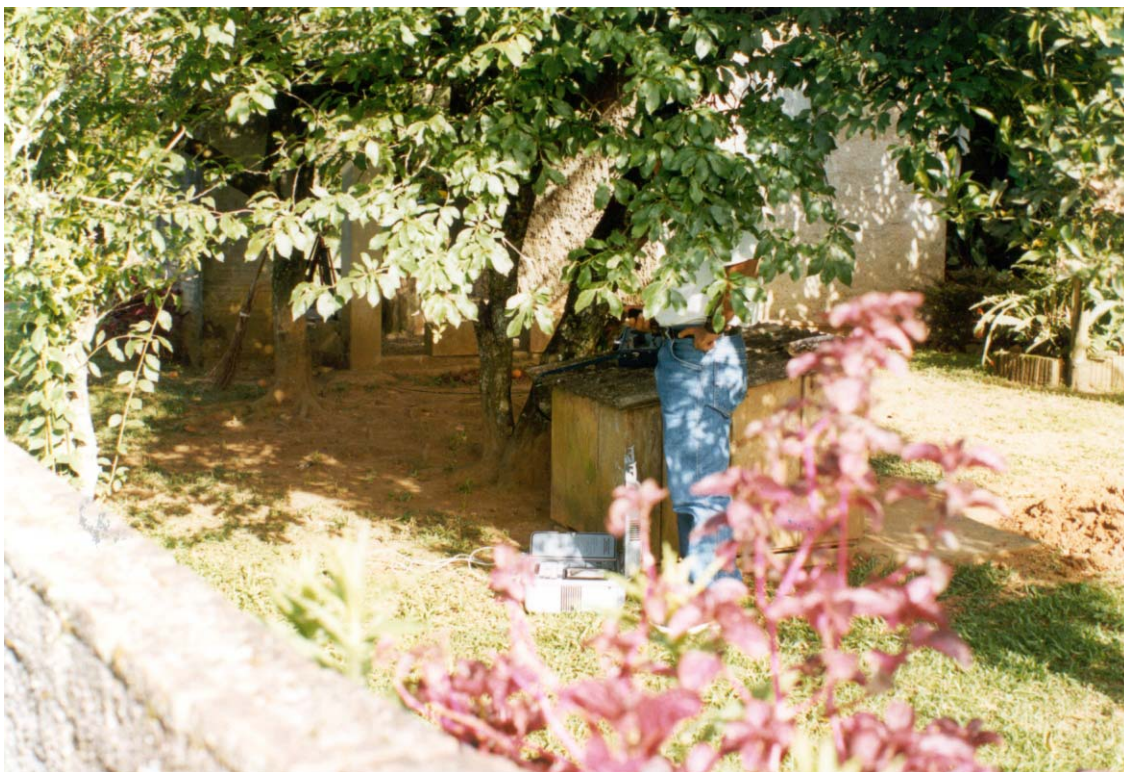


Foto 11 - Ponto de monitoramento número 03, o aparelho está posicionado no quintal da casa de Fátima Patel, Siderópolis (SC).



Foto 12 - Ponto de monitoramento número 04, no estábulo da casa de Fátima Patel, Siderópolis (SC).



Foto 13 - Ponto de monitoramento número 05, o aparelho está posicionado a 10 m leste do salão paroquial, na Vila Rio Albina, Siderópolis (SC).



Foto 14- Ponto de monitoramento número 06, localizado no piezômetro nº 2.4, na Vila Rio Albina, Siderópolis (SC).



Foto 15 - Ponto de monitoramento número 08, o aparelho está posicionado na casa de Vinícius Savaris, Siderópolis (SC).



Foto 16 - Ponto de monitoramento número 09, geofone instalado na estrada de acesso à casa de Luis D'Acol, Vila Rio Albina, Siderópolis (SC).



Foto 17 - Ponto de monitoramento nº 10, no limite oeste da área da Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. Sismógrafo instalado próximo à cerca em frente a casa.



Foto 18 - Reunião realizada após a vitória na Mina Trevo. Estavam presentes representantes da comunidade local, empresa, DNPM e Fatma.

4.4. Monitoramento

Em agosto de 1999 iniciou-se o trabalho de monitoramento dos eventos de detonação, com o sismógrafo de engenharia, após a fase preliminar de contato com os técnicos da empresa e dos habitantes locais.

Uma vez escolhido o local do monitoramento e de posse das informações técnicas necessárias faz-se preparação do aparelho para a captação dos eventos. Recomenda-se fazer esta preparação antes de se deslocar para o campo, ainda no escritório, para evitar possíveis falhas na coleta dos dados.

A preparação do aparelho para a obtenção dos dados do monitoramento deve seguir as seguintes etapas:

a) Ajuste do set-up

O set-up consiste na programação do instrumento para a captação dos eventos a partir de determinados limites (trigger) e informações técnicas e de localização, para facilitar as leituras dos futuros registros. Tanto o trigger quanto as informações técnicas básicas e de localização podem ser modificadas e/ou acrescentadas a novas informações que se façam necessárias, conforme o avanço da frente de lavra a ser detonada.

Basicamente, na primeira etapa são permitidas as inserções das seguintes informações:

- nome do cliente.
- Tipo de operação (mina a céu aberto, subterrânea).
- Localização (nome, coordenadas geográficas).
- Distância do fogo.
- Operador.
- Comentários (carga, tipo de explosivo, condições de tempo).
- Nível de gatilho (Trigger): valor que ao ser ultrapassado aciona o aparelho, tanto através da vibração da partícula (geofone) como da sobrepressão (microfone).

Essas informações devem ser programadas antes do início de cada monitoramento.

b) Fixação do sensor

O sensor que mede a vibração é composto de três partes: três geofones triaxiais; uma base de metal e três pinos para fixação. O sensor pode ser fixado no local de monitoramento através de três pinos rosqueados na sua base, com a utilização de gesso ou enterrado no terreno, conforme a dureza do mesmo. Em terrenos com dureza elevada pode-se utilizar o seguinte artifício: desatarraxa-se o sensor da base de metal; coloca-se a base com os pinos no terreno e aplicam-se seguidos golpes com um martelo, tendo o cuidado de sobrepor um pedaço de madeira à base para não danificá-la; finalmente rosqueia-se novamente o sensor à base. Para evitar problemas de direcionamento do sensor com o local da detonação, recomenda-se fazer uma marca na base de metal na mesma posição da direção do vetor que existe no sensor. Na parte superior do geofone, existe uma figura em forma de vetor que deverá estar direcionada para o local da detonação e um dispositivo sob a forma de bolha de nível para um nivelamento perfeito. O posicionamento correto é fundamental para uma perfeita captação dos eventos.

c) Microfone.

Trata-se do sensor que capta a sobrepressão. Deve estar instalado a pelo menos um metro acima do nível do terreno e, de preferência, livre de qualquer obstáculo que venha interferir com os valores captados. O microfone também deverá estar orientado na direção do local da detonação, na posição horizontal. Uma vez que as detonações foram subterrâneas, sem o efeito da sobrepressão, não houve necessidade da utilização deste sensor. Para a captação do ruído das detonações foi utilizado um decibelímetro, modelo NA-20 da RION.

Após a captação do evento, o aparelho armazena os dados fornecendo-os sob a forma digital ou impressa em papel. Os registros consistem na velocidade de vibração da partícula nas três componentes horizontal, vertical e longitudinal e no valor da resultante vetorial máxima dessas componentes. Os resultados de velocidade de vibração da

partícula são representados em sismogramas (Figura 9).

4.5 - Resultados obtidos

Os dados obtidos durante os períodos de monitoramento (agosto de 1999 a agosto de 2000), foram compilados e tabulados (Quadro 3) para análise. Dados parciais relativos à mina, plano de fogo, espessura da cobertura e monitoramento da velocidade de vibração da partícula já haviam sido adquiridos em trabalhos anteriores (CECOPOMIN/DNPM, 1999 e 2000). Na figura 8 estão localizados os pontos de monitoramento, avanço mensal das galerias em lavra, pontos de sondagem e topografia da área estudada.

Durante o período de monitoramento, ocorreram 187 detonações (eventos), e o sismógrafo registrou 89 desses eventos. A diferença entre o número de eventos registrados e o número de eventos efetivamente ocorridos, deve-se aos seguintes fatores:

1. A morosidade do sismógrafo em completar o seu ciclo de registro (captar/calcular/imprimir/gravar). Ex.: o sismógrafo ainda estava imprimindo um evento quando ocorreu outro.
2. Durante o monitoramento, houve mudança no gatilho de acionamento automático do sismógrafo, sendo que os valores abaixo deste não foram registrados. Ex.: gatilho fixado em 5,3 mm/s para o valor da velocidade resultante. Todos os valores abaixo desse valor ficam sem registro.
3. A antecipação do horário da detonação sem aviso prévio.
4. O deslocamento do técnico para monitoramento em outras minas da região, com horário coincidente com o horário das detonações da Mina do Trevo.

RELATÓRIO DE ANÁLISE SISMOGRÁFICA

RELATÓRIO DE ANÁLISE SISMOGRÁFICA

SN: 2492 Event: 151
OSM/USBMI Safe Blasting Levels

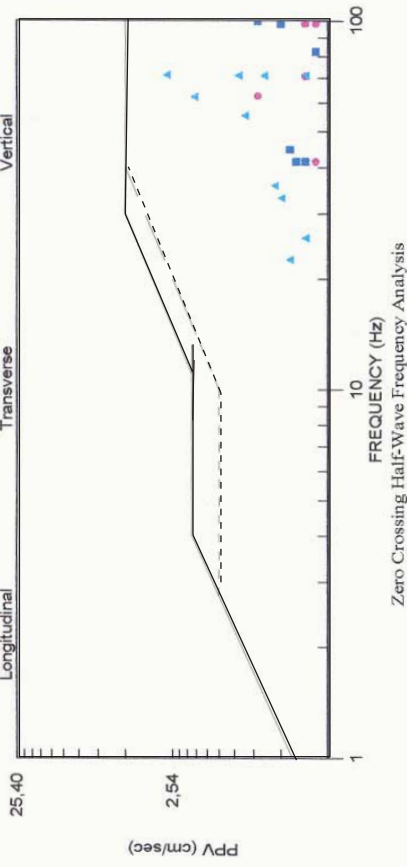
SN: 2492
Date: 16.11.1999
Event: 151
Record Time: 5.0 s
Client: DNPM/ID/SC
Operation: TREVO/GREIA
Location: MINA TREVO/SSSID/SC
Distance: 9,1 m
Operator: Teodorico
Comment: CG/MN/7.56 MX/7.56X3
Trigger Level: 0,17 mm/s

Velocity Waveform Graph Scale:

Time = 0,100 s
Seismic = +/- 1,28 mm/s
Sound = +/- 16,00 Pa

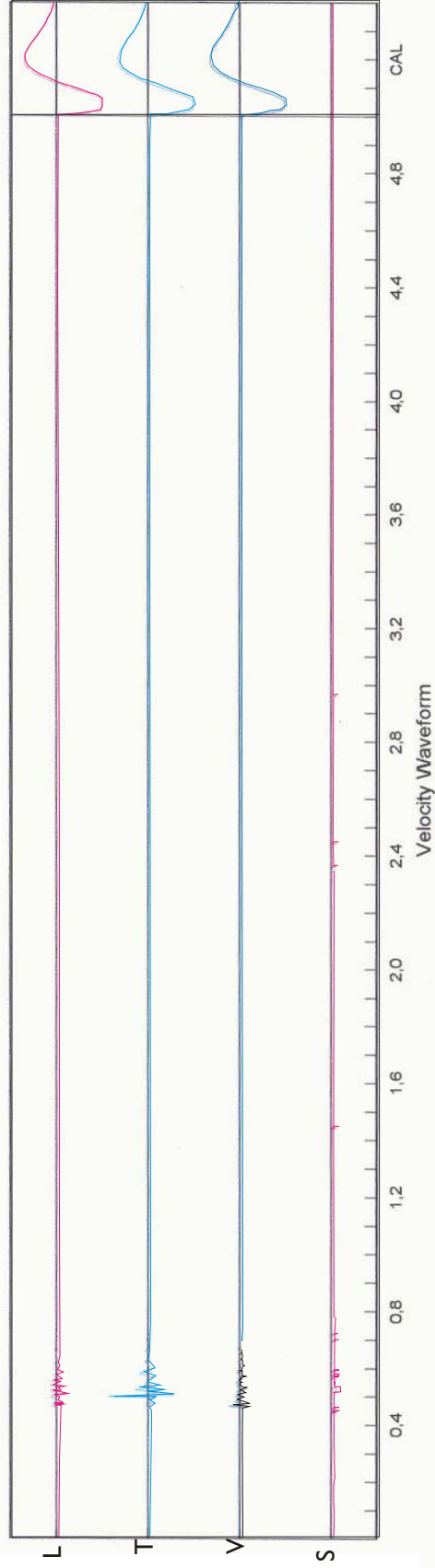
Summary Data

	L	T	V
PPV (mm/s)	7,112	27,432	7,112
PD (.01mm)	4,572	7,874	4,064
PPA (g)	0,31	1,45	0,57
FREQ (Hz)	62,5	71,4	100,0
Resultant PPV:	27,69 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	106 dB		
	4,00 Pa		



RELATÓRIO DE ANÁLISE SISMOGRÁFICA

SN: 2492 Event: 151



Printed: março 11, 2002 File: evtst151.evt (GeoSonics Inc. Analysis v6.1.11)

Figura 9 - Exemplo de um sismograma relativo ao monitoramento na Mina Trevo, Siderópolis (SC).

Diferentemente de minas a céu aberto, notadamente em pedreiras, quando ocorrem poucas detonações semanais, na mineração subterrânea de carvão, são dezenas de detonações por dia, em horários alternados. O número de detonações varia, em seus diversos horários, conforme a programação do avanço das galerias. Exemplificando, podem ocorrer duas detonações às 08:00 h e quinze detonações às 11:00 h.

As detonações são programadas, teoricamente, para que ocorreram em quatro horários durante o dia: 08:00 h; 11:00 h; 14:00 h e 17:00 h, mas há ocorrências que contribuem para que estes horários sofram mudanças ou, simplesmente, não ocorra detonação em um determinado horário ou mesmo no dia:

1. Quebra da correia transportadora (mais comum);
2. Problemas com a ventilação da mina;
3. Inundação de galerias;
4. Caimento do teto.

Na Mina do Trevo, eventualmente, eram programas detonações para o período noturno. Os constantes incômodos causados na população motivaram reclamações que implicaram em sugestão para a paralisação dessas atividades neste horário.

Com relação aos 89 eventos registrados, 68 eventos apresentaram valores para a velocidade da partícula resultante abaixo de 10 mm/s; dez eventos no intervalo de 10 mm/s a 15 mm/s e onze eventos com valores acima de 15 mm/s (valor máximo permitido pela ABNT).

Sobre o valor da frequência da resultante temos que 73 eventos apresentaram valores acima de 40 Hz (valor em que a estrutura suporta melhor as vibrações) e 16 eventos no intervalo de 2 Hz a 40 Hz (faixa com maior probabilidade de danos).

Associando os valores da velocidade da partícula resultante (V_{rp}) maiores do que 10 mm/s com o valor de frequência nas faixas de 2 Hz – 40

Hz e > 40 Hz, temos o que segue:

Vrp(mm/s) = 10 – 15	Freqüência (Hz) = 2 – 40	03 eventos
	> 40	08 eventos

Vrp (mm/s) > 15	Freqüência (Hz) = 2 – 40	01 evento
	> 40	09 eventos

Se compararmos os valores obtidos através dos registros do sismógrafo com o valor limite definido pela Norma ABNT 9653 (15 mm/s) verificamos que dez eventos apresentaram valores acima, sendo que desses, um apresentou freqüência na faixa considerada crítica para as estruturas. Ressalta-se que a citada norma não considera os valores de freqüência para reduzir os riscos inerentes ao desmonte de rocha com o uso de explosivos em minerações.

Os registros obtidos para um mesmo ponto monitorado em relação às diversas detonações que ocorriam seqüencialmente numa mesma frente de lavra apresentam valores distintos, uma vez que as detonações ocorriam ao longo da câmara, aproximando-se gradativamente do ponto monitorado, aumentando os valores das resultantes (Exemplo ponto monitorado – Casa Treviso, eventos de 103 a 116).

Quadro 3 – Dados referentes aos registros sismográficos na área de estudo.

Pontos de Monitoramento	Evento n.º	Data	Hora	Velocidade vertical (mm/s)	Frequência Hz	Resultante mm/s	Espessura da cobertura (m)	Local/Obs.	
2	096	25/08/99	11:30:27	2.5 (L=6.0)	166.6 100.0	6.3	20	Casa de Domingos Patel sensor a 130 m. da frente de lavra, câmara 35 ; total de 15 fogos pela manhã e a tarde. Paralisação por quebra da correia: sem detonação às 17:00hs	
2	097	25/08/99	11:32:57	3.0 (L=6.6)	125.0 100.0	6.6	20		
2	098	25/08/99	14:35:38	0.5	3.1	1.2	20		
2	099	25/08/99	14:39:39	0.5	250.0	1.7	20		
2	100	26/08/99	11:36:12	4.0	166.6	6.0	20	Total de 4 fogos: um sem registro	
2	101	26/08/99	11:40:03	3.5	166.6	4.5	20		
2	102	26/08/99	11:42:59	3.5	125.0	3.8	20		
1	103	26/08/99	15:33:47	0.5	0.3	1.2	26	Casa Treviso	
1	104	26/08/99	15:37:20	0.5	250.0	1.2	26		
1	105	26/08/99	15:40:33	0.5	0.4	1.2	26		
1	106	26/08/99	15:46:54	1.0	55.5	1.5	26		
1	107	26/08/99	15:49:31	2.5 (T=5.0)	100.0 38.4	6.8	26		
1	108	26/08/99	15:52:29	4.5 (T=6.6)	100.0 38.4	7.6	26		
1	109	26/08/99	15:55:56	5.5 (L=21.8)	35.7 45.4	22.0	26		Sensor posicionado a 90 m. da frente de lavra sobre a galeria 0 Painel 1
1	110	26/08/99	15:58:40	20.8 (T=15.2 ; L=14.7)	55.5 33.3 35.7	21.0	26		
1	111	26/08/99	16:02:01	9.6 (T=9.1)	55.5 55.5	9.9	26		Casa de Domingos Patel
1	112	26/08/99	16:04:51	3.0 (T=6.0)	100.0 33.3	6.6	26		
1	113	26/08/99	16:08:09	3.0 (T=10.1)	14.2 29;4	10.6	26		
1	114	26/08/99	16:10:55	1.5	62.5	2.7	26		
1	115	26/08/99	16:13:37	4.0	100.0	5.5	26		
1	116	26/08/99	16:16:28	2.5	100.0	3.8	26		
1	117	27/08/99	17:04:38	1.5	125.0	1.7	26		
2	118	30/08/99	11:33:29	1.0 (T=4.5)	62.5 100.0	5.0	20		
2	123	31/08/99	08:39:23	3.5	83.3	1.7		Casa de Domingos Patel	
2	124	31/08/99	11:35:37	0.5	12.5	1.7			
2	125	31/08/99	11:36:48	0.5	19.2	1.7			
2	126	31/08/99	11:38:51	1.0	71.4	2.2			
2	127	31/08/99	11:40:45	4.0	83.3	6.6			
2	128	31/08/99	11:44:55	3.0	71.4	6.8			
2	129	31/08/99	11:47:23	3.0	62.5	8.6			
2	130	31/08/99	11:49:12	2.0	50.0	4.8			
2	131	31/08/99	11:50:37	1.0	125.0	1.7			
2	134	02/09/99	11:27	2.0	166.6	3.3			
2	135	02/09/99	11:29	2.0	125.0	3.5			
2	136	02/09/99	11:31	5.0	125.0	5.5			
2	137	02/09/99	11:33	4.5	100.0	6.3			
2	138	02/09/99	11:34	4.5	100.0	4.5			
2	139	02/09/99	11:36	2.0	100.0	3.3			
2	140	03/09/99	11:23	1.0	166.6	2.2			

2	141	03/09/99	11:25	1.0	71.4	3.8		
2	142	03/09/99	11:28	3.5	62.5	6.3		
2	143	03/09/99	11:30	5.5	125.0	8.8		
2	144	03/09/99	11:32	6.0	100.0	8.6		
2	145	03/09/99	11:34	1.5	100.0	4.0	20	
3	146	16/11/99	14:12	1.0	71.4	3.0	28	Casa de Fátima Patel
3	147	16/11/99	14:13	1.0	62.5	3.0	28	Pátio interno. Sensor a
3	148	16/11/99	14:14	0.5	0.6	1.7	28	40 m da frente de lava.
3	149	16/11/99	14:15	1.0	62.5	3.8	28	
4	150	16/11/99	17:26	5.0 (T=10.1)	100.0 33.3	10.6	22	Estábulo da Fátima
4	151	16/11/99	17:27	7.1 (T=27.4)	100.0 71.4	27.6	22	Patel: sensor a 40 m. da frente de lava.
4	152	16/11/99	17:28:30	5.0 (T=23.3)	100.0 83.3	23.3	22	
4	153	16/11/99	17:29:40	5.0 (T=19.8)	83.3 62.5	21.5	22	
5	154	17/11/99	15:30	7.1	166.6	7.3		Goiabeira situada a 10
5	155	17/11/99	16:43	3.5	0.9	3.5		m do salão paroquial.
4	157	18/11/99	07:56	19.8 (T=11.6)	18.5 23.8	21.8		Estábulo da Fátima Patel
3	158	18/11/99	10:21	0.5	250.0	1.2		
3	159	18/11/99	10:23	0.5	250.0	1.2		
3	160	18/11/99	10:25	3.5 (T=7.1)	166.6 166.6	8.1		Casa da Fátima Patel
3	161	18/11/99	10:26	1.0	166.6	2.0		
3	162	18/11/99	10:28	4.0 (T=10.6)	83.3 166.6	11.6		Pátio interno
3	164	19/11/99	10:33	10.6	125.0	12.1		
5	165	19/11/99	13:48	9.1 (T=8.1)	100.0 83.3	9.9		Goiabeira. Sensor a
5	166	22/11/99	10:25	7.1 (T=9.1)	125.0 71.4	11.1		80 m da frente de lava. Goiabeira
3	167	22/11/99	17:23	2.5 (L=7.1)	100.0 100.0	7.8		Casa Fátima Patel
6	168	23/11/99	07:59	3.0	125.0	5.3		Piezômetro n.2.4
7	169	23/11/99	17:21	7.1 (T=9.6)	166.6 100.0	13.2		Salão comunitário
7	170	24/11/99	07:58	6.0	166.6	6.0	25	Sensor a 100 m da
7	171	24/11/99	10:31	2.5	23.8	5.3	25	frente de lava
7	172	24/11/99	10:33	5.5 (L=6.0)	71.4 83.3	8.1		Salão comunitário
7	173	25/11/99	07:59	6.6 (L=10.6)	62.5 71.4	10.9		Salão comunitário
7	180	25/11/99	17:36	4.5	166.6	5.0		Salão comunitário
7	181	07/06/00	10:04	28.4 (L=15.2)	83.3 8.4	28.9		Salão comunitário
7	182	06/07/00	10:06	7.6	38.4	7.8		Salão comunitário
7	183	06/07/00	10:07	14.7	1.1	14.9		Salão comunitário
7	184	07/07/00	11:59	3.0	29.4	3.3		Salão comunitário

8	185	02/08/00	09:13	1.5 (L=4.5)	62.5 50.0	4.8	25	Casa do Savaris Sensor posicionado a
8	186	02/08/00	09:15	3.5 (T=18.7)	71.4 41.6	21.0	25	45 m da frente de la- vra.
8	187	02/08/00	11:38	19.8 (T=7.1)	62.5 166.6	20.0	25	Casa do Savaris
8	188	03/08/00	11:32	3.0 (T=9.6)	100.0 62.5	11.1	25	Casa do Savaris
8	189	03/08/00	11:34	1.0 (T=5.0)	83.3 41.6	5.0	25	Casa do Savaris
8	190	04/08/00	08:07	0.5 (T=4.5)	0.4 2.9	5.3	25	Casa do Savaris
8	191	04/08/00	09:04:53	3.5 (L=11.6)	125.0 62.5	18.5	25	
10	193	08/08/00	08:52:44	3.0 (L=8.6)	100.0 50.0	8.8	30	Casa de D'Acol Sensor a 100m da fren
10	194	08/08/00	08:54:19	28.4 (T=15.2)	100.0 33.3	28.4	30	te de lavra
10	195	08/08/00	08:57:04	5.0 (T=14.7)	83.3 33.3	14.9	30	Casa de D'Acol
8	196	08/08/00 1	11:27:22	2.5 (L=7.6)	125.0 33.3	7.8	22	Casa do Savaris
8	197	08/08/00	15:07:06	1.5 (T=6.0)	125.0 100.0	6.3	22	Casa do Savaris
9	198	09/08/00	17:10:50	2.5 (T=5.0)	35.7 125.0	5.8	22	Estrada de acesso a Luis D'Acol. Sensor a 80 m da lavra
10	199	11/08/00	09:20:16	-	-	6.6	22	Casa de D'Acol

5 – Considerações finais

Durante quatro meses, num período de dois anos, entre agosto de 1999 e dezembro de 2000, foram levantados dados, através do monitoramento da vibração com sismógrafo de engenharia, referentes à vibração e a sua implicação em superfície. As atividades de lavra subterrânea na Mina do Trevo iniciaram em janeiro de 1999 e este monitoramento em agosto de 1999. No período de janeiro a julho de 1999, as galerias foram abertas em terrenos que não possuíam construções em superfície. Este trabalho coloca em evidência a necessidade da integração Empresa x Comunidade no sentido da melhoria das técnicas de mineração e meio ambiente.

Um dos principais resultados deste trabalho foi o de alertar e despertar a consciência da Empresa ante aos reclamos da comunidade, demonstrando com dados, o perigo decorrente do planejamento de uma lavra sem levar em conta as habitações em superfície.

Apesar das constantes reclamações, nenhum dano físico ocorreu ao longo de todas as atividades de monitoramento desenvolvidas na região de estudo. Podemos afirmar que o problema maior foi a sensação de incômodo causada pelo ruído das detonações.

Devido a inexistência de qualquer tipo de dados referentes aos valores de velocidade de partícula antes do início deste trabalho, criou-se a cultura do “achismo”: “eu acho que esse tremor foi alto”. Realmente, se levarmos em conta apenas o sentido da percepção, e este varia de indivíduo para indivíduo, muitos eventos nos levaram, num primeiro momento, a acreditar que tinham sido de grande magnitude, mas quando de posse dos registros verificou-se o contrário.

Acreditamos ter sido esse o primeiro fator para conseguirmos a confiança da população e acabarmos de uma vez por todas a cultura do “achismo”. Através dos registros mostrados em tempo real, que eram acompanhados pelos técnicos da mineração e de representantes dos moradores locais, pudemos mostrar que as detonações apresentaram valores

pequenos, sem perigo para as estruturas.

A partir daí, a população passou a ter uma maior confiança em relação às detonações. As mesmas vibrações que antes eram motivos de apreensão e sentidas de forma preocupante tornaram-se a ser encaradas de maneira quase normal.

Tão logo os primeiros registros (eventos 109 e 110 com valores de, respectivamente, 22 mm/s e 21 mm/s) apresentaram valores acima da Norma da ABNT, inúmeras sugestões foram dadas à empresa, sendo que apenas duas não foram acatadas. Foram sugeridas medidas de controle destacando-se: mudança no plano de fogo com adequação dos parâmetros (carga, retardos, cordel detonante), maior intervalo entre os fogos das galerias, suspensão das detonações no horário noturno, suspensão temporária da lavra em determinadas galerias, mudança na dimensão dos pilares na área considerada mais críticas. Essas medidas foram sugeridas no decorrer do monitoramento e à medida em que o avanço das galerias se fazia mais próximo das casas em superfície.

1. Supressão do horário noturno das detonações: foi acatada prontamente. Essa situação causava um incômodo muito grande à população que vivia sobressaltada em função do aumento do ruído devido ao silêncio do horário, apesar de não ser um procedimento constante da empresa.
2. Mudança do plano de fogo:
 - a) Diminuição da carga máxima por espera: descartada devido a implicações econômicas e técnicas. Resultaria numa diminuição do avanço das galerias, diminuição do minério lavrado o que implicaria em perdas econômicas para a empresa uma vez que ela possui contratos de entrega para cumprir.
 - b) Aumento dos tempos dos retardos: foi descartado uma vez que os retardos já fazem parte do conjunto adquirido pela empresa, não havendo a possibilidade em sua alteração.
 - c) Mudança no cordel detonante: A iniciação da detonação era feita

utilizando o conjunto espoleta-estopim e cordel detonante e a sua substituição para espoleta de retardo não elétrico não afetou os valores registrados da velocidade de vibração das partículas. O fator positivo foi a diminuição do incômodo causado pelo ruído.

3. Maior intervalo entre as detonações nas galerias: Com a eliminação da superposição de tempo de iniciação das detonações diminuiu-se consideravelmente o valor dos níveis de vibração. Devido ao grande número de galerias que eram detonadas simultaneamente, essa foi a sugestão que mais contribuiu para a diminuição dos valores das velocidades de vibração das partículas.
4. Suspensão temporária da lavra: Foi sugerida em novembro de 1999 quando foram registrados os valores de 27,6 mm/s e 23,0 mm/s, respectivamente, eventos 151 e 152, com uma cobertura de 22,0 metros de espessura e a proximidade de grande número de casas. As galerias pares do painel 1W foram paralisadas temporariamente (por três meses), até que se encontrasse uma solução para o problema e a empresa pudesse prosseguir com o avanço dessas galerias sem interferir nas casas em superfície (figura 9, área em amarelo).
5. Mudança nas dimensões dos pilares: A solução mais adequada para a retomada da lavra nesta área mais crítica citada no item anterior, foi aumentar o fator de segurança dos pilares e conseqüentemente o seu dimensionamento. Numa iniciativa inédita, os pilares dessas galerias foram adaptados ao tamanho da área superficial das construções em superfície, inclusive excedendo-as a fim de se evitar que viessem a sofrer abalos quando do avanço das galerias (figura 9, área em cinza). Podemos citar que o pilar praticado sob a casa da Sra. Fátima Patel, ponto de monitoramento 03, possui dimensões de 16,5 m x 24,5 m, enquanto que os pilares normalmente possuem as seguintes dimensões: 7,0 m x 7,0 m e fator de segurança de 1,8.

O monitoramento prosseguiu após a passagem sob a área mais crítica, até o final do painel 1W. Eventualmente alguns eventos apresentaram

registros com valores acima da Norma da ABNT, mas não implicaram em maiores riscos por estarem as galerias situadas em áreas pouco habitadas. Devemos frisar, que a reincidência de valores acima da norma, mesmo depois das sugestões, deve-se ao fato de que a empresa, passado o problema e a fiscalização, retornava a praticar os mesmos procedimentos anteriores. Também a falta de uma constância no monitoramento provocou uma alternância por parte da empresa quanto a seguir as sugestões propostas.

O monitoramento realizado trouxe subsídios para que pudéssemos sugerir as medidas acima mencionadas, numa situação local específica, com pequena cobertura, habitações em superfície e a necessidade de prosseguimento da lavra e não a sua paralisação definitiva. A empresa acatando as sugestões tomou consciência da importância de um monitoramento sistemático como ferramenta no avanço da lavra, tanto que em outras frentes de lavra, com situações de risco, a empresa vem utilizando os serviços da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para monitorar essas detonações. Este exemplo vem sendo seguido por algumas empresas mineradoras da região, particularmente as situadas próximas ao perímetro urbano das cidades, adequando-se às circunstâncias locais e gerando com isso menores conflitos com a vizinhança.

Durante todo o processo de lavra do painel 1W e do monitoramento deste, houve uma participação contínua e efetiva da comunidade do Rio Albina, localizada acima da área de avanço das galerias mineradas. Essa participação é um exemplo da força que uma comunidade tem, ao se sentir prejudicada e como sua atuação, aliada aos órgãos públicos, é importante para a melhoria do desenvolvimento dos trabalhos de mineração e conservação do meio ambiente.

Quando do início das atividades de lavra no painel 1W, a comunidade conseguiu, perante a empresa, o direito de entrar na mina, na última quarta-feira de cada mês, no período da manhã, percorrendo as galerias, verificando, anotando, questionando e apontando possíveis pontos que poderiam vir a prejudicar a superfície (casas, poços d'água, cursos de

rios, nascentes, benfeitorias, etc.). Também foi instalada uma sala no escritório da empresa em que um representante da comunidade tinha acesso a qualquer tipo de informação referente ao avanço das galerias. Nesse mesmo dia, todos se reuniam a noite (foto 18) no salão paroquial; comunidade, empresa e representantes dos órgãos públicos para comentar a situação da mina, discutir as sugestões apontadas pelos órgãos públicos e pela empresa.

A pressão exercida pela comunidade, durante todo o processo de avanço das galerias do painel 1W, aliado ao monitoramento inédito realizado, foi peça fundamental para que a lavra tenha se desenvolvido de forma a minimizar seus efeitos para o meio ambiente.

Paralelamente às medidas tomadas de cunho técnico, alguns acordos foram celebrados pela empresa com alguns superficiários, para a melhoria de suas casas e benfeitorias, mesmo que não tenham sido afetadas pelas vibrações e, com a comunidade em geral, através da restauração da capela de Sant'Ana construída em 1897, patrimônio histórico de grande valor para a comunidade de Rio Albina. Essa capela foi totalmente restaurada seguindo-se os documentos originais da época de sua construção e testemunhos de antigos moradores locais.

A empresa não mantém um programa contínuo de monitoramento dos eventos de detonação e sendo inviável a presença contínua dos órgãos fiscalizadores por uma série de fatores (falta de pessoal, equipamentos, verbas, etc.) o papel exercido pela população, em especial como ocorre com a comunidade de Rio Albina, é de grande relevância na fiscalização. Este fato serve de exemplo para outras comunidades existentes na região carbonífera de Criciúma.

6 – Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9653**: guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas: procedimento. Rio de Janeiro, 1986.

CECOPOMIN/DNPM. **Relatórios de viagem de monitoramento da Mina Trevo, Siderópolis (SC)**. São Paulo, v.1 e 2. 1999. 14 p.

CECOPOMIN/DNPM. **Relatórios de viagem de monitoramento da Mina Trevo, Siderópolis (SC)**. São Paulo, v.3 e 4. 2000. 13 p.

COMPANHIA DE RECURSOS E PESQUISA MINERAL. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Carta Geológica, Folha SH.22-X-B – Criciúma**. Brasília: CPRM, 2000, color., 82 cm X 69 cm. Escala 1:250.000.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL **Principais depósitos minerais do Brasil**. v.1. Recursos minerais energéticos – combustíveis fósseis sólidos. Brasília. 1985 p.15-17.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Informativo anual da indústria carbonífera 2000**. Brasília. Jul.2000. ano XV.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Sumário mineral 2001**. Brasília. 2001. v. 21

.

GeoSonics INC. Operation manual SSU – 2000 DK. 1997.

GREHS, S. A. **Geologia ambiental na mineração**. In: II SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA. 1979.

Gravatal (SC). p.679-685.

INDUSTRIA CARBONÍFERA RIO DESERTO LTDA. **Plano de Aproveitamento Econômico.** Siderópolis (SC). 1995. 23 p.

INSTITUTO DE PESQUISA E TECNOLOGIA – IPT. **Controle ambiental em minas a céu aberto – uso de explosivos.** 1991. Apostila do curso interno. São Paulo. 163 p.

MACHADO, J.L.F. (coord.). **Programa nacional de prospecção para carvão, linhito e turfa.** CPRM/DNPM. Porto Alegre (RS).1984.