

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

ISSN 0104-0553

BT/PMI/166

**Avaliação de Técnicas de
Instrumentação para o Monitoramento
de Deformações nas Escavações
Subterrâneas**

Moustafa Hamze Guilart
Lineu Azuaga Ayres da Silva



São Paulo - 2002

1276432

O presente trabalho é parte da dissertação de mestrado apresentada por Moustafa Hamze Guilart, sob a orientação do Prof. Dr. Lineu Azuaga Ayres da Silva: "Avaliação de Técnicas de Instrumentação para o Monitoramento de Deformações nas Escavações Subterrâneas", defendida em 05/08/02, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição dos interessados com o autor e na Biblioteca do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Guilart, Moustafa Hamze

Avaliação de técnicas de instrumentação para o monitoramento de deformações nas escavações subterrâneas / M.H. Guilart, L.A.A. da Silva. -- São Paulo : EPUSP, 2002.

16 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/166)

1. Mecânica dos solos 2. Mecânica de rochas 3. Escavação subterrânea I. Silva, Lineu Azuaga Ayres da II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas III. Título IV. Série

ISSN 0104-0553

CDU 624.131
624.121
622.261.2

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Avaliação de Técnicas de Instrumentação para o
Monitoramento de Deformações nas Escavações Subterrâneas

Moustafa Hamze Guilart
Lineu Azuaga Ayres da Silva

São Paulo, 2002

ÍNDICE

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	1
4. METODOLOGIA	2
3.1 REVISÃO DA LITERATURA	2
3.2 MEDIÇÕES DE CAMPO	2
3.3 CONVERGÊNCIA E DESLOCAMENTO	3
4. ESTUDO DE CASO NO TÚNEL DO TRECHO 4 DO RODOANEL DE SÃO PAULO	4
4.1 MEDIÇÃO DE DESLOCAMENTO HORIZONTAL E CONVERGÊNCIA	5
4.2 TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO EMPREGADA	7
4.3 PADRONIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES DE DESLOCAMENTO HORIZONTAL E CONVERGÊNCIA POR MÉTODOS TOPOGRÁFICOS	7
4.4 AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DE MEDIÇÕES REALIZADAS	10
4.4.1 CÁLCULO E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA CONVERGÊNCIA	10
4.4.2 CÁLCULO E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS DESLOCAMENTOS VETORIAIS	11
CONCLUSÕES	13
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA E REFERIDA	13

RESUMO

A pesquisa desenvolvida aborda a instrumentação das escavações subterrâneas à luz da Mecânica de Solos e da Mecânica de Rochas, e da relação: maciço – escavação subterrânea – suporte, avaliando as técnicas e métodos instrumentais mais usados no monitoramento destas e a aplicação dos métodos topográficos para a determinação de deformações nos maciços rochosos e solos submetidos às escavações.

Produto deste trabalho em diferentes estados construtivos e técnicas construtivas aplicadas no túnel onde foi desenvolvido o estudo de caso, as medições de deslocamento vetorial e convergência feitas, pode-se considerar quatro casos típicos, fundamentados matematicamente. Estes casos, e o método para determinar deslocamento vertical constituem as bases teóricas que sustentam o desenvolvimento das medições feitas no túnel.

Outro resultado desta pesquisa é a introdução nos túneis brasileiros da tecnologia de medição da centração forçada combinada para as medições de alta precisão.

O conjunto de todas estas técnicas, comprovadas por seus resultados constituiu-se na criação e implantação de uma metodologia de trabalho totalmente definida para o monitoramento dos deslocamentos em escavações subterrâneas por métodos topográficos usando estação total como equipamento básico de medição.

ABSTRACT

The developed research make an approach to the underground excavations instrumentation under the Mechanics of Soils and Mechanics of Rocks knowledge, and to study the relationship: mass - underground excavation - it supports, trying to evaluate the instrumental methods more used during the monitoring of these. Also, in the application of the surveying methods for determination of deformations in the rock mass and soils submitted to the excavations.

Product of this work in different constructive states and different applied constructive techniques in the tunnel where was developed the case study, the measurements of vectorial displacement and convergence done, it can be considered four typical cases, based mathematically. These cases, and the method to determine upright displacement constitutes the theoretical bases that sustain the development of the measurements done in the tunnel.

Another result of this research is the introduction in the Brazilian tunnels of the technology of measurement of the forced combined center for the high precision measurement.

The group of all these techniques, checked by its results was constituted in the creation and implantation of a work methodology totally defined for the displacements monitoring in underground excavations for surveying methods using total station as basic equipment of measurement.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da estabilidade do maciço rochoso e/ou solo onde são executadas escavações subterrâneas atinge cada dia maior importância a realização de medições de diversos parâmetros relacionados com as deformações. Atualmente existem diversas técnicas de instrumentação e equipamentos que permitem medir com precisão distintos parâmetros das deformações em solo ou rocha e seu efeito na estrutura das escavações subterrâneas. Os parâmetros de deformação avaliados no estudo de caso foram o deslocamento vetorial e convergência; estes parâmetros foram determinados por métodos topográficos, utilizando como equipamento básico a estação total.

O trabalho desenvolveu-se num túnel do lote 4 do Rodoanel Metropolitano de São Paulo. O túnel está situado no Bairro Parque Imperial, do município de Barueri da Grande São Paulo, Estado de São Paulo, entre as Rodovias Anhanguera e Pres. Castelo Branco e é composto por duas pistas (Pista Interna e Pista Externa) principalmente para transporte rodoviário pesado.

Nos resultados das medições feitas obteve-se a padronização dos métodos topográficos para medir deslocamento e convergência em quatro casos típicos muito bem diferenciados. Isso foi possível, estabelecendo-se suas expressões matemáticas e sua aplicação específica.

Caracterizou-se então a aplicação do método da centração forçada combinada, como tecnologia de medição para leituras de alta precisão em túneis.

Foi possível ter a confirmação de que nas medições atuais de alta precisão em túneis é predominante o desvio lateral, fundamentalmente produto da precisão angular dos aparelhos de medição.

Além da representação gráfica da convergência, e o deslocamento vertical ou recalque, obteve-se uma representação gráfica dos deslocamentos horizontais, bem como sua representação em três dimensões (3D),

2. OBJETIVOS DE TRABALHO

Esta pesquisa tem seu enfoque á luz da mecânica dos solos e da mecânica de rochas, e da relação: maciço – escavação subterrânea – suporte; por serem elas em seu conjunto, as fontes dos fenômenos produzidos no terreno, e na estrutura das próprias obras subterrâneas. Tem também como objetivos:

- 1) Abordagem dos métodos e técnicas de instrumentação mais usados no monitoramento das deformações nas escavações subterrâneas
- 2) Abordagem dos métodos topográficos como ferramenta indispensável na instrumentação das escavações subterrâneas;
- 3) Aplicação e desenvolvimento do método topográfico, para a determinação de deslocamento vetorial e convergência nas diferentes variantes construtivas e na etapa operacional das obras subterrâneas.
- 4) Estabelecimento de uma metodologia de trabalho para determinar deslocamento vetorial e convergência por métodos topográficos nas escavações subterrâneas.

3. METODOLOGIA DE TRABALHO

Este capítulo é feito para expor a abordagem da pesquisa, antes e durante a execução dos trabalhos de campo

3.1 REVISÃO DA LITERATURA

Uma parte fundamental para o desenvolvimento do trabalho foi a revisão da literatura, que foi dirigida aos aspectos relacionados com:

- estados de tensão dos maciços rochosos e o comportamento das descontinuidades que, em definitivo, são as que governam o comportamento dos maciços submetidos às aberturas subterrâneas, em pequenas profundidades.
- comportamento das aberturas subterrâneas com relação aos sistemas construtivos e ao uso de diferentes sistemas de suporte.
- estudo de diferentes técnicas e métodos de instrumentação com vista à sua avaliação posterior para sua aplicação nas escavações subterrâneas.
- Avaliação dos trabalhos de topografia de minas e geodesia aplicada na engenharia, com vista à sua aplicação nas medições de deslocamentos nas escavações subterrâneas.

3.2 MEDIÇÕES DE CAMPO

As medições de campo foram feitas com um taqueômetro eletrônico, comumente conhecido como estação total. A estação total utilizada foi de marca Nikon modelo 420 com uma precisão de:

- Em distância $\pm (3 + 3\text{ppm} \times D)$ mm
- Angular 4"

Desde o início dos trabalhos as medições estiveram caracterizadas pelos seguintes fatores adversos:

- A estação total não tinha a precisão suficiente para as medições de deslocamento e convergência em túneis.
- Bases nivelantes de diferentes fabricantes incongruentes entre si, e entre a estação total.
- Ausência do suporte ótico com prumo e bolha tubular. Este acessório garante uma ótima centração dos prismas de medição por ter as mesmas características nivelantes que a estação total.
- Tripés de metal, os quais não são os recomendáveis para as medições de alta precisão.
- Trânsito constante de equipamentos pesados de construção que ao passar próximo dos aparelhos de medição originavam vibrações no entorno.

Todos estes fatores dificultavam as medições por centração forçada combinada e diminuía a precisão, e era impossível obter os equipamentos idôneos, devido a uma série de razões que não tem sentido explicar nesta dissertação.

Para minimizar esta situação foram sendo tomadas uma série de medidas:

- Diminuição do comprimento da poligonal de amarração e seus lados de medição, mantendo seu caminhar aproximadamente igual em cada ciclo de medição para diminuir as diferenças das coordenadas em cada ciclo medido, produto da precisão da estação total.

- Foram testadas cinco bases nivelantes incluindo da estação total e dois prismas, em vários ciclos de medição, para sua comparação. Como resultado, selecionaram-se um prisma e três bases nivelantes, para continuar fazendo as medições
- Estacionar os tripés no túnel, o mais próximo possível da parede com um pé orientado na direção paralela ao eixo da via, o mais alongado possível e os outros dois pés perpendiculares ao eixo da via o mais juntos possível. Desta forma os efeitos das vibrações produzidas pelos veículos pesados teriam menor incidência sobre os aparelhos de medição; devido a que o estacionamento fica o mais longe possível da via.

Nos primeiros meses de trabalhos foram realizadas várias mudanças nas condições de medição e isto pode trazer mudanças na zeragem, indesejáveis nos trabalhos de instrumentação.

3.3 CONVERGÊNCIA E DESLOCAMENTO

As deformações de convergência de uma escavação subterrânea integram os efeitos elásticos, os plásticos e os viscosos do comportamento da escavação, bem como as dimensões do túnel, e particularmente a influência do avanço da escavação. À sua vez estas deformações refletem os efeitos das mudanças no transcurso do tempo, das propriedades do terreno devido ao intemperismo, perdas de umidade e presença da água, tendo como consequência, a alteração, a degradação, perda de coesão e diminuição do ângulo de atrito.

O estado de deformação de um corpo (fig. 3.1) pode expressar-se, em função das deformações locais, ϵ, i, j , ou em função do deslocamento δ associado a um a um ponto P.

Para estudar o comportamento de um corpo, precisa-se conhecer as componentes de deformação e as componentes de deslocamento para cada ponto P (x, y, z).

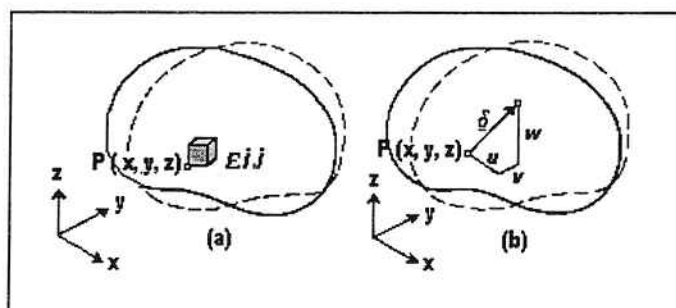


Fig.3.1 Deformações e deslocamento de um ponto (Kovari 1981b)

As medições foram feitas para obter as coordenadas do ponto P(x, y, z) e a convergência entre dois pontos p da seção transversal do túnel

Como resultado da determinação das coordenadas do ponto P poderão ser definidas para o estudo de caso as deformações locais ϵ, i, j e o vetor deslocamento δ para cada ponto. Assim como também serão calculados os comprimentos da corda pela expressão

$$C = [(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2]^{1/2} \quad (3.1)$$

4. ESTUDO DE CASO NO TÚNEL DO TRECHO 4 DO RODOANEL DE SÃO PAULO

O túnel está sendo construído por dois emboques: o Emboque Tamboré, e o Emboque Parque Imperial, (fig. 4.1). O comprimento do túnel pela pista interna é de 648,48 m, e pela pista externa é de 664,00 m. A profundidade ou cobertura máxima é de aproximadamente 60 m e a área total da seção transversal do túnel é de 194 m^2 . A área útil da seção transversal é de 144 m^2 e a largura máxima é de 19,00 m. A altura da invertida ao teto é de 12,40 m e a altura do greide ao teto é 9,50 m.

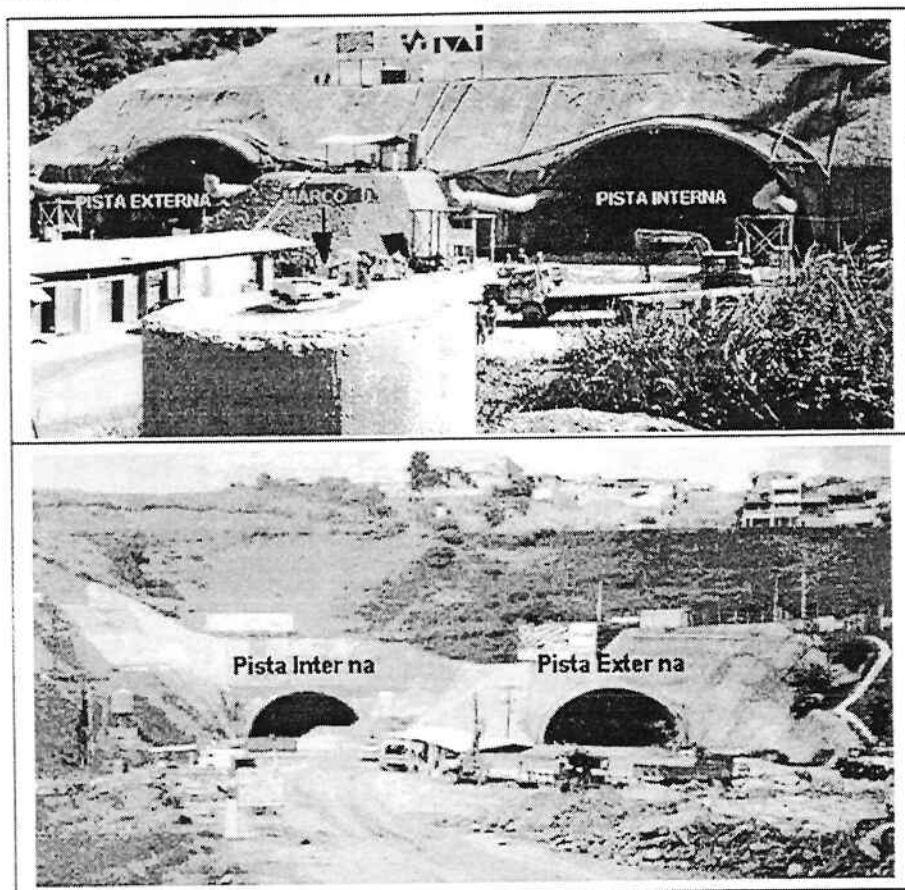


Fig.4.1 A cima Emboque Tamboré em baixo Emboque Parque Imperial

Cada pista foi parcelada para sua escavação em quatro partes (figura 4.2), primeiramente foram escavados túneis laterais (side drifts) a parte central do túnel foi parcelada em três partes que correspondem a abóbada, a rampa, e a invertida..

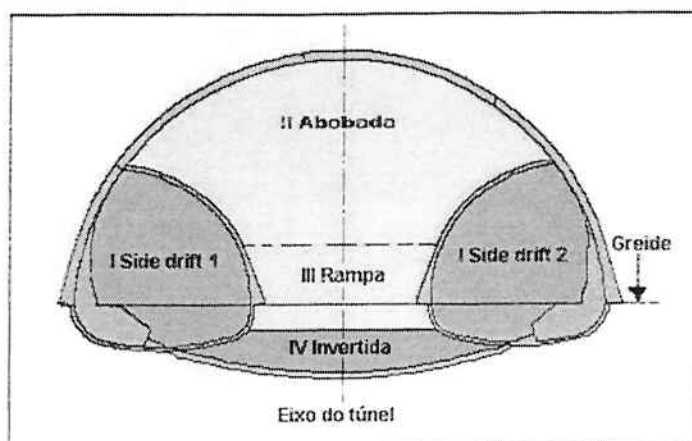


Fig. 4.2 Diferentes etapas de escavação do túnel

O limite entre a rampa e a abobada não está bem definido, por isto no desenho está com linha descontinua, os números romanos correspondem à ordem da construção por etapas.

Na escavação por etapas considera-se a parte II como a abobada, embora a abobada propriamente dita corresponderá à seção total do túnel finalizada a escavação.

4.1 MEDIÇÃO DE DESLOCAMENTO HORIZONTAIS E CONVERGÊNCIA

As medições pelo método topográfico foram realizadas por dois motivos, o primeiro foi porque era a única forma de determinar convergência da corda F (fig. 4.3) produzida pela escavação da abóbada, que se situava a 40 metros da frente de escavação

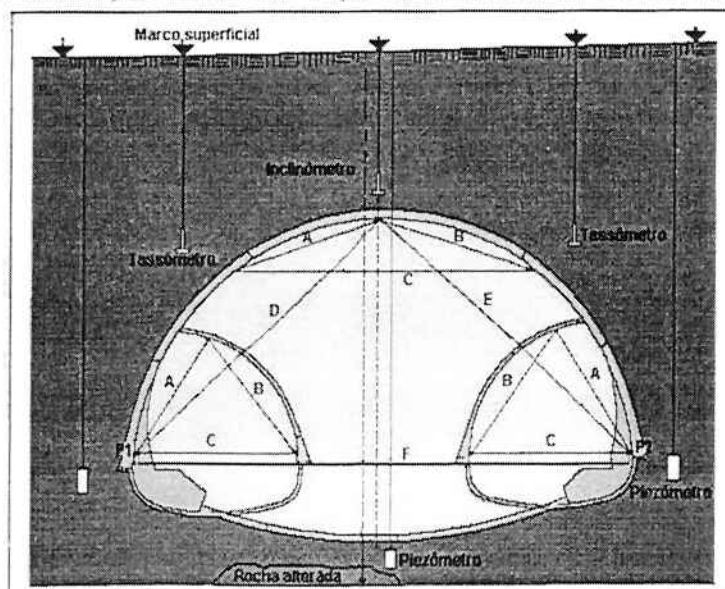


Fig. 4.3 Seção do túnel instrumentada

Em ambas pistas era impossível utilizar-se equipamento convencional devido à presença do maciço e das paredes dos túneis laterais como se mostra na figura 4.4.

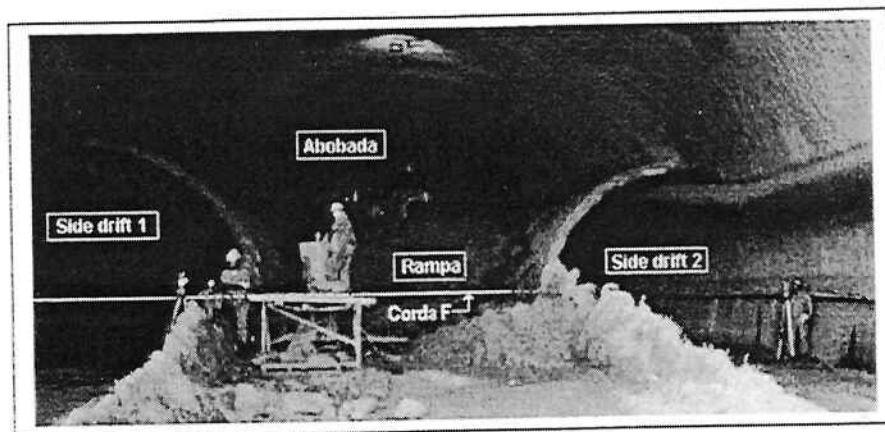


Fig. 4.4 Representação da corda F no túnel

O segundo motivo foi determinar deslocamentos para fins de pesquisa.

Quando falamos de deslocamento vetorial, referimo-nos, ao deslocamento horizontal, definido pelas coordenadas XY e o deslocamento vertical Z. No trabalho foram obtidos ambos com medições simultâneas, embora, constituíssem sistemas de medições independentes, e é por isto que foram tratados cada um deles de forma individual.

Para a medição de deslocamentos horizontais precisa-se de uma base de medição de dois pontos fixos no mínimo, entretanto, para estabelecer uma base tecnicamente aceitável precisa-se de três pontos. Isto se faz para conhecer possíveis deslocamentos ou recalques, destes pontos no período das leituras.

A figura 4.6 mostra a base de medição constituída pelos pilares 01, 02, e 03

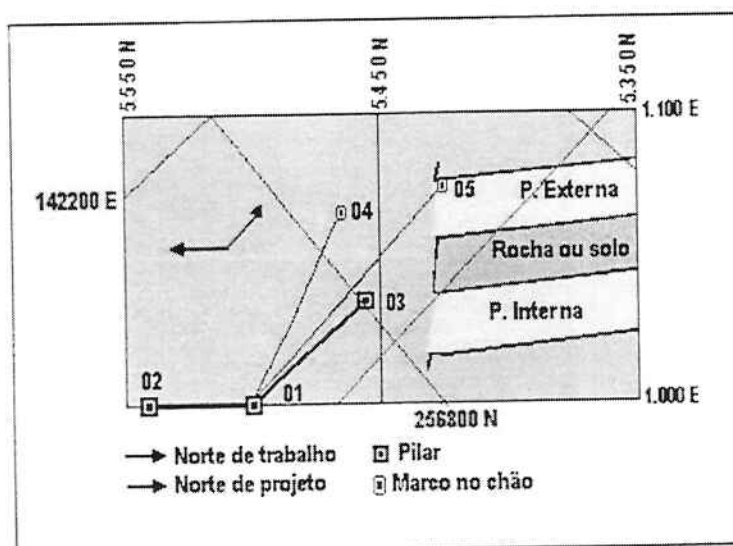


Fig. 4.6 Base de medição

4.2 TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO EMPREGADA

As leituras com estação total foram feitas mediante orientação azimutal e medição de coordenadas no terreno de forma instantânea.

As medições foram feitas pelo sistema de centração forçada combinada. Este sistema foi empregado em todas as variantes de medição (fig.4.7) onde foi preciso fazer mais de um estacionamento e foi feito em três modalidades:

Centração forçada em pilares de medição.

Centração forçada em pontos perdidos

Centração forçada em marcos materializados no chão utilizando prumo ótico.

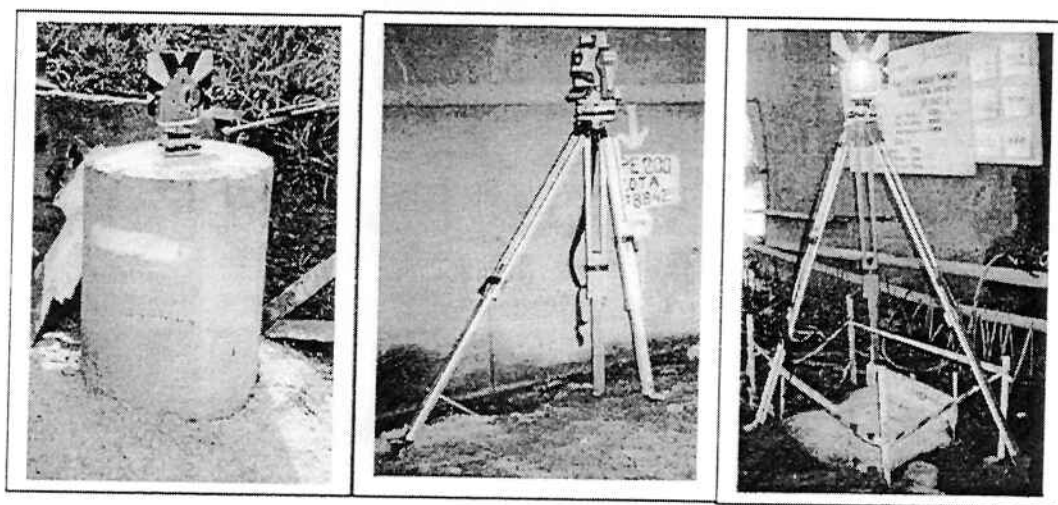


Fig.4.7 Centração forçada combinada

4.3 PADRONIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES DE DESLOCAMENTO HORIZONTAL E CONVERGÊNCIA POR MÉTODOS TOPOGRÁFICOS

Considerando diferentes estados construtivos e diferentes técnicas construtivas aplicadas no túnel, as medições de deslocamento e convergência feitas com estação total, pode-se considerar quatro casos típicos.

A continuação apresenta-se a representação gráfica de cada caso típico e suas equações matemáticas resultantes.

CASO TÍPICO 1

Neste caso (fig.4.8) só pode determinar-se o valor da corda, não sendo possível o deslocamento.

$$\text{Corda} = [(D_1 - \cos \alpha D_2)^2 + (\text{sen } \alpha D_2)^2]^{1/2} \quad (4.1)$$

A expressão matemática da corda depende do ângulo α e das distâncias D_1 D_2 .

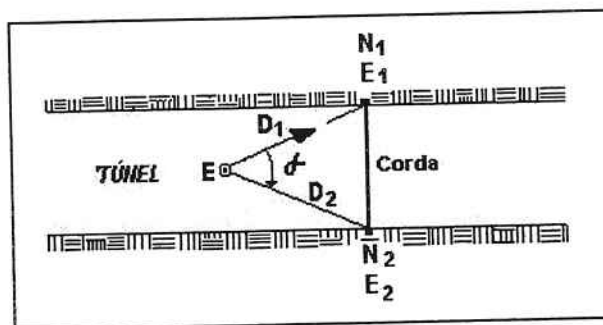


Fig. 4.8 Caso típico 1

CASO TÍPICO 2

Este caso (fig.4.9) determina deslocamento horizontal e a corda. A corda depende de α_1 D_3 D_4 e o deslocamento de β_1 β_2 β_3 β_4 e de D_1 D_2 D_3 D_4

$$N_1 = -\cos \beta_1 D_1 + \cos \beta_2 D_2 + \cos \beta_3 D_3 \quad (4.2)$$

$$E_1 = \sin \beta_1 D_1 + \sin \beta_2 D_2 + \sin \beta_3 D_3 \quad (4.3)$$

$$N_2 = -\cos \beta_1 D_1 + \cos \beta_2 D_2 + \cos \beta_4 D_4 \quad (4.4)$$

$$E_2 = \sin \beta_1 D_1 + \sin \beta_2 D_2 + \sin \beta_4 D_4 \quad (4.5)$$

$$\text{Corda} = [(D_3 - \cos \alpha_1 D_4)^2 + (\sin \alpha_1 D_4)^2]^{1/2} \quad (4.6)$$

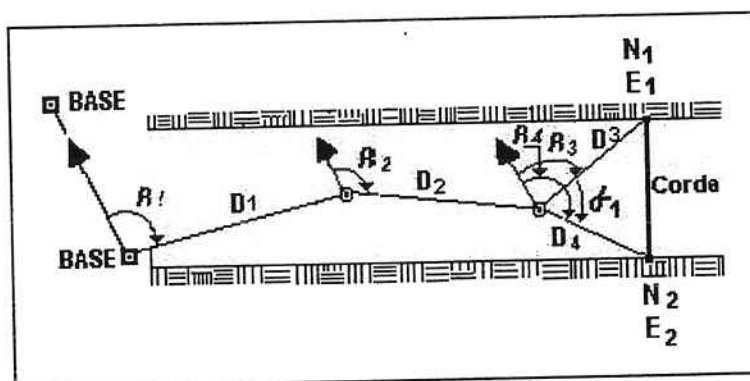


Fig.4.9 Caso típico 2

Para o cálculo da corda, os pontos anteriores não têm influência e pode-se considerar como o caso típico 1

CASO TÍPICO 3

Este caso (fig.4.10) determina deslocamento horizontal e a corda

$$N_1 = \cos \beta^*_1 D^*_1 + \cos \beta^*_2 D^*_2 + \cos \beta^*_3 D^*_3 \quad (4.7)$$

$$E_1 = \sin \beta^*_1 D^*_1 + \sin \beta^*_2 D^*_2 + \sin \beta^*_3 D^*_3 \quad (4.8)$$

$$N_2 = \cos \beta^{**}_1 D^{**}_1 + \cos \beta^{**}_2 D^{**}_2 + \cos \beta^{**}_3 D^{**}_3 \quad (4.9)$$

$$E_2 = \sin \beta^{**}_1 D^{**}_1 + \sin \beta^{**}_2 D^{**}_2 + \sin \beta^{**}_3 D^{**}_3 \quad (4.10)$$

$$\text{Corda} = [(\cos \beta^*_1 D^*_1 + \cos \beta^*_2 D^*_2 + \cos \beta^*_3 D^*_3 - \cos \beta^{**}_1 D^{**}_1 - \cos \beta^{**}_2 D^{**}_2 - \cos \beta^{**}_3 D^{**}_3)^2 + (\sin \beta^*_1 D^*_1 + \sin \beta^*_2 D^*_2 + \sin \beta^*_3 D^*_3 - \sin \beta^{**}_1 D^{**}_1 - \sin \beta^{**}_2 D^{**}_2 - \sin \beta^{**}_3 D^{**}_3)^2]^{1/2} \quad (4.11)$$

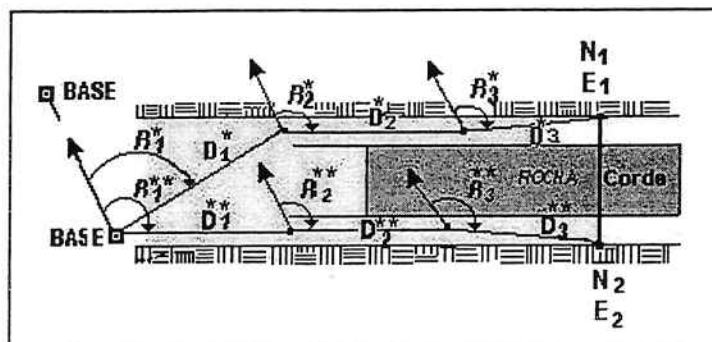


Fig. 4.10 Caso típico 3

A corda como o deslocamento horizontal dependem do total das distância e todos os azimutes medidos; estes resultados de ambos parâmetros, dependem da precisão obtida no conjunto das medições.

CASO TÍPICO 4

Este caso (fig.4.11) só permite determinar convergência e os pontos iniciais mudam de posição em cada ciclo.

$$\text{Corda} = [(\cos \beta^*_1 D^*_1 + \cos \beta^*_2 D^*_2 - \cos \beta^{**}_1 D^{**}_1 - \cos \beta^{**}_2 D^{**}_2)^2 + (\sin \beta^*_1 D^*_1 + \sin \beta^*_2 D^*_2 - \sin \beta^{**}_1 D^{**}_1 - \sin \beta^{**}_2 D^{**}_2)^2]^{1/2} \quad (4.12)$$

A corda depende dos azimute $\beta^*_1 \beta^*_2 \beta^{**}_1 \beta^{**}_2$ e das distâncias $D_0 D^*_1 D^*_2 D^{**}_1 D^{**}_2$

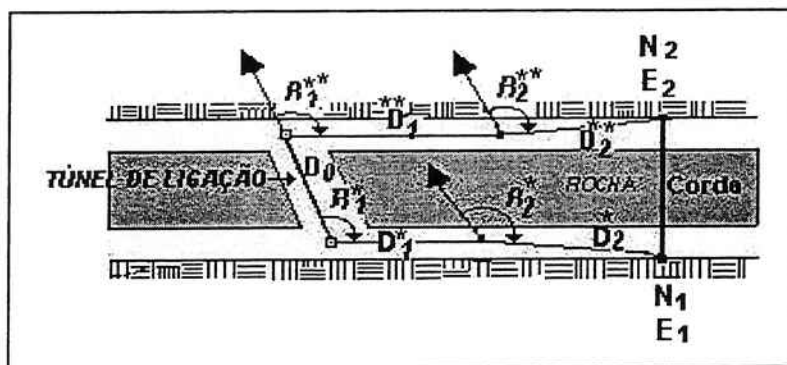


Fig.4.11 Caso típico 4

A formulação matemática dos casos foram feitas para o plano horizontal, e é por isso que as expressões matemáticas da corda são expressas por sua **projeção horizontal**, por não incluir o valor de coordenadas do plano vertical correspondente aos valores de cota dos pontos.

4.4 AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DE MEDIÇÕES REALIZADAS

A avaliação e interpretação das medições serão feitas para leituras de convergência e deslocamento vetorial. As medições foram feitas para todos os casos típicos. Nesta avaliação é selecionada para a publicação deste boletim uma seção da pista interna (seção 3)

Na pista interna foram lidas 19 seções, com uma média de 45 ciclos de leituras, na pista externa foram lidas 22 seções com uma média de 36 ciclos de leituras

A escolha do critério de seleção aplicado se baseia na representatividade do ponto de vista das quantidades de medições feitas, assim como dos resultados das deformações obtidas.

A seção selecionada foi medida aplicando o caso típico 3 fundamentalmente, o qual permite avaliar deslocamentos e convergência. Foram utilizadas algumas leituras do caso típico 1, como complementação para determinar a convergência e o deslocamentos verticais.

Na seção 3 foram feitas leituras praticamente no dia a dia. Para esta análise, serão selecionadas leituras feitas em intervalos de 10 a 15 dias aproximadamente.

O critério de seleção do tempo dos ciclos de medições foi em função dos valores da variação das medições feitas.

4.4.1 CÁLCULO E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA CONVERGÊNCIA

Os valores de convergência foram calculados, utilizando a equação abaixo:

$$\Delta F_n = [(X_{1n} - X_{2n})^2 + (Y_{1n} - Y_{2n})^2 + (Z_{1n} - Z_{2n})^2]^{1/2} - [(X_{1-0} - X_{2-0})^2 + (Y_{1-0} - Y_{2-0})^2 + (Z_{1-0} - Z_{2-0})^2]^{1/2} \quad (4.13)$$

O segundo termo da equação é o valor da corda F na zeragem.

Na figura 4.12 mostra-se o comportamento da convergência na pista interna da seção 3. Os últimos dois valores foram obtidos aplicando o caso típico 1, os valores precedentes foram obtidos aplicando o caso típico 3.

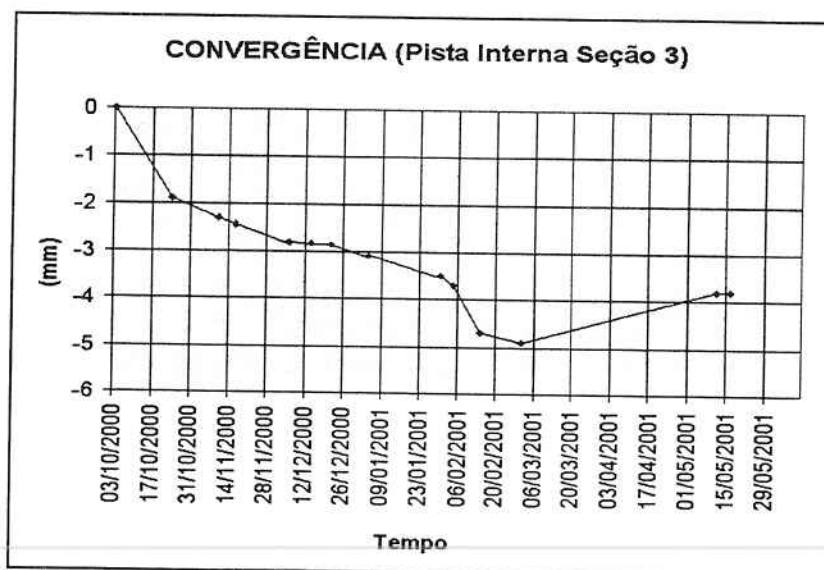


Fig. 4.12 Convergência tempo

Entre as duas últimas leituras e a leitura precedente observa-se um período onde as mesmas não foram feitas; isto foi resultado do estado construtivo da obra impossibilitando fazer medições neste período.

A figura 4.12 confirma que na corda F se desenvolveram deformações por convergência no período em que foram feitas as medições.

Pode-se observar a tendência dos valores decrescente de deformação, ou seja, não originando divergência. Isto significa que a corda F por estar situada nas paredes do túnel, encurtamentou-se pelo efeito das tensões atuantes no maciço

4.4.2 CÁLCULO E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS DESLOCAMENTOS VETORIAIS

Os deslocamentos vetoriais são determinados independentemente para cada pino nos extremos da corda F, e são representados a seguir, em três variantes:

1. Deslocamentos verticais
2. Deslocamentos horizontais
3. Representação tridimensional (3D)

Os deslocamentos horizontais e verticais são considerados como coordenadas de deformações locais ϵ , i , j , segundo o item (3.5).

O vetor deslocamento δ é considerado para este estudo, um vetor tridimensional na representação 3D, limitado pelos valores das coordenadas de deformação da zeragem e do último ciclo de leituras feitos nos pinos avaliados

$$\epsilon_n = X_0 - X_n \quad (4.14)$$

$$i_n = Y_0 - Y_n \quad (4.15)$$

$$j_n = Z_0 - Z_n \quad (4.16)$$

O pino avaliado será, o pino 1 situado na parede no túnel lateral 1 (fig.4.3)

DESLOCAMENTO VERTICAL OU RECALQUE

A figura 4.13 mostra o deslocamento vertical na pista interna da seção 3 no pino 1. Confirma-se que neste pino se desenvolveram deslocamentos verticais no período quando foram feitas as leituras.

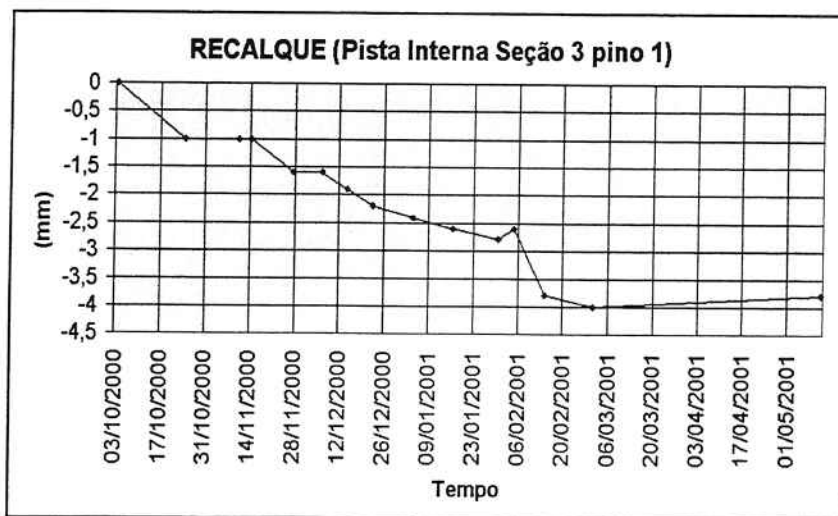


Fig. 4.13 Deslocamento vertical

DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS

A figura 4.14 mostra o deslocamento horizontal na pista interna da seção 3, no pino 1. Nesta figura mostra-se também uma tabela com as datas das leituras feitas, e as coordenadas de deformações locais no plano horizontal, assim como o número da sequência dos valores correspondentes à parte gráfica. Os valores de deslocamento na tabela são expressos em mm.

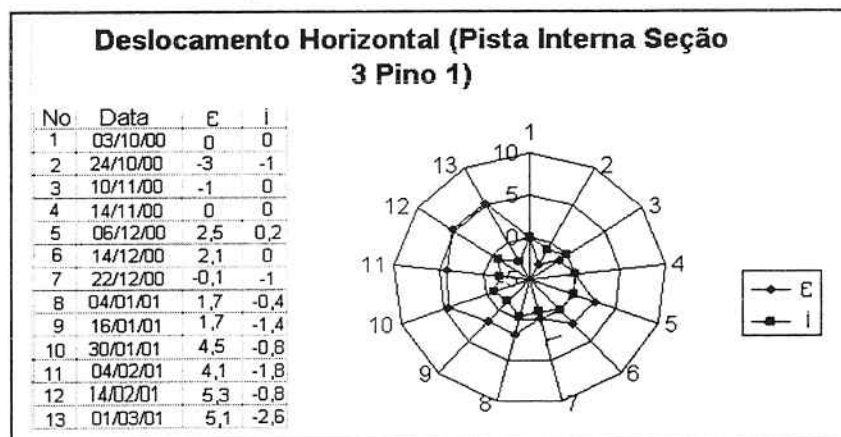


Fig. 4.14 Deslocamento horizontal

REPRESENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL DOS DESLOCAMENTOS

A figura 4.14 mostra a representação tridimensional dos deslocamentos ou superfície de deformação e contém uma tabela com as datas das medições e coordenadas de deformações locais, assim como também os parâmetros do vetor deslocamento δ .

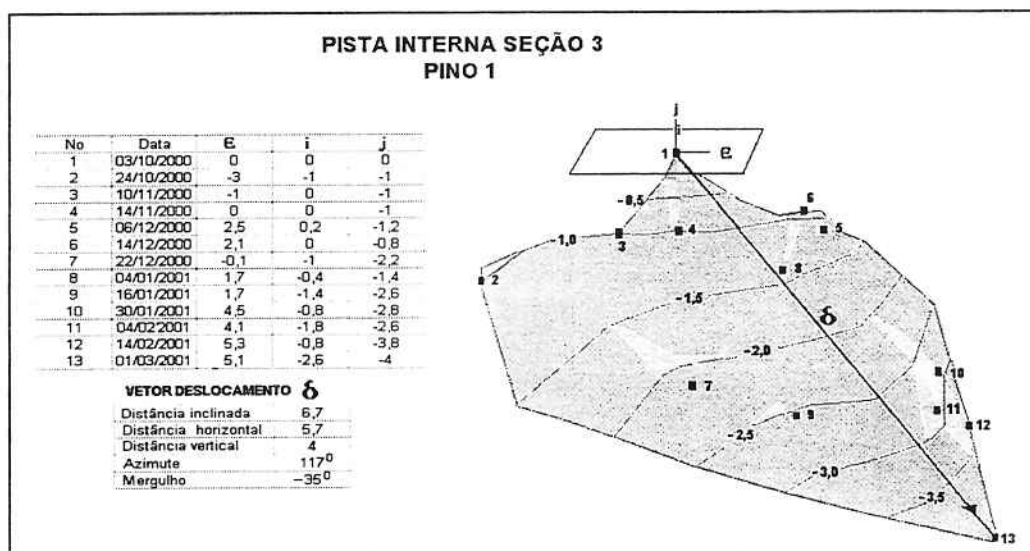


Fig. 4.14 Superfície de deformação

Na parte gráfica além da superfície de deformação mostra o vetor deslocamento δ compreendido entre os valores de coordenadas de deformações locais na zeragem (1) e o valor resultante do último ciclo de leitura feito (13),

também mostra a trajetória de deslocamento do ponto avaliado, compreendido na sequência 1-13. Os valores de deslocamento na tabela são expressos em mm

CONCLUSÕES

1. Na determinação de deslocamento e convergência por métodos topográficos com estação total, podem ser padronizados quatro casos típicos em correspondência com o método construtivo e o estado construtivo das escavações subterrâneas.
2. A padronização das medições de deslocamento e convergência, permitem no futuro a aplicação de cada caso típico rigorosamente argumentado. É uma ferramenta valiosa para discriminar os resultados obtidos nas medições feitas. É também uma ferramenta teórica disponível nas etapas de projeção e construção da obra subterrânea para prever resultados e definir sua aplicação.
3. O modo de centração forçada por pontos perdidos garante uma maior precisão e rapidez nas leituras do que a centração em ponto no chão.
4. A centração forçada combinada é a tecnologia de medição que garante uma alta precisão na determinação de deslocamento vetorial e de convergência por métodos topográficos. Ela é também a mais adequada para se adaptar às características das escavações subterrâneas, e às condições extremas as quais está submetida.
5. Para as medições de centração forçada combinada é indispensável que exista compatibilidade da estação total com os acessórios de medição. É necessário também que exista uma compatibilidade destes acessórios entre eles mesmos, como também que a estação total garanta a precisão necessária.
6. A avaliação e interpretação dos dados de medições, confirmam o desenvolvimento das deformações nos parâmetros pesquisados no túnel.
7. Considerando, as bases teóricas do método, a tecnologia de medição utilizada, a aplicação de cada caso típico, a quantidade de medições feitas. Os cálculos, a representação gráfica e os resultados dos parâmetros pesquisados, o conjunto destes trabalhos constitui uma metodologia válida para a determinação de deslocamento e convergência nas escavações subterrâneas por métodos topográficos utilizando-se estação total como equipamento básico.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA E REFERIDA

- AFANASI, B. L.; MURALVIV, A. B. **Geodésia e topografia de minas para a construção de obras do transporte**. Moscú: Hedra, 1987. Não paginado /Texto original traduzido/
- ATTEWELL, P. B.; YEATES, J.; SELBY, A. **Soil movements induced by tunnelling and their effects on pipelines and structures**. 5. ed. New York: Blackie and Son, 1986.
- AYRES DA SILVA, L. A. **Mecânica de rochas aplicada à mineração II**. São Paulo: PMI/EPUSP, 1993. /Notas de aula/.
- AYRES DA SILVA, L. A.; BORN, H. The definition of intact rock its application to the determination of the smallest spacing between discontinuities in rock masses. In **INTERNATIONAL WORKSHOP ON SCALE EFFECTS IN ROCK MASSES**, 2., Lisboa, 1993. **Proceedings**. Rotterdam: Balkema, 1993. p. 211-216.
- AYRES DA SILVA, L. A.; HAMZE, M. La mecánica de rocas como herramienta indispensable en los proyectos mineros. In: **SIMPOSIO INTERNACIONAL**

- Bahia de La Habana. In: ENCuentro de OBRAS SUBTERRÁNEAS, 2., Ciudad de La Habana, 1988. **Resumen.** Ciudad de La Habana: UNAICC, 1988. p. 30.
- HAMZE, M.; PERDOMO, M. Trabajos geodésicos para las relaciones espaciales del metro de La Habana. In: JORNADA CIENTIFICO TÉCNICA DE GEODESIA, CARTOGRAFIA Y TELEDETECCIÓN, 3., Ciudad de La Habana, 1989. **Resumen.** Ciudad de La Habana: ICGC, 1989. p. 92.
- HAMZE, M.; RIZO, A. Determinación de la desviación del eje del pozo principal de la mina Júcaro. In: JORNADA DE GEODESIA Y CARTOGRAFIA, 2., Ciudad de La Habana, 1984. **Resumen.** Ciudad de La Habana: ICGC, 1984. p. 72.
- HARTMANN, B. E. **Rock mechanics instrumentation for tunnel construction.** Golden, [s.n.], 1966.
- HENNIES, W. **Mecânica de rochas aplicada a mineração.** São Paulo: PMI/EPUSP, 1970. /Notas de aula/.
- HUDSON, J. A. [Ed.] **Comprehensive rock engineering: principles, practice & projects.** 5. ed. Oxford: Pergamon Press, 1993. v. 3.
- INTERFELS GmbH. **Surveying marks for convergence measurements in tunneling.** Bad Bentheim, [1994]. (Product 114. Code 9050).
- JBLEBNIKOV, A. **Topografia de minas.** Santiago de Cuba: Facultad de Tecnología, 1971.
- JORDAN, W. **Tratado general de topografía.** 2. ed. Barcelona: Gustavo Gil, 1957.
- KOVARI, K. Mediciones de campo en túneles y toma de decisiones: Zurich 1981. In: SIMPÓSIO DE INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIONES EN TÚNELES, Oaxtepec, 1981. **Anais.** Morazán: SMMS, 1981a. p. 1-9.
- KOVARI, K. Utilización de líneas de medición para determinar el comportamiento deformacional en excavaciones subterráneas: Zurich 1981. In: SIMPÓSIO DE INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIONES EN TÚNELES, Oaxtepec, 1981. **Anais.** Morazán, SMMS, 1981b. p. 94-105.
- KRUMPHNIZL, V.; MICHALCAK, O. **Engenharia geodésica II.** Praga: Kartografie, 1975. Não paginado. /Texto original traduzido/.
- MARANHÃO, N.; FIASCO NETO, J.; CARVALHO, O. S. Alguns comentários sobre medições de convergência em túneis da Rodovia dos Imigrantes e da estrada de ferro central do Paraná. In: SIMPÓSIO SOBRE INSTRUMENTAÇÃO DE CAMPO EM ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES, Rio de Janeiro, 1975. **Anais.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1975. v. 1, p. 190-206.
- MASSAD, F. **Interpretação de ensaios "in situ" e instrumentação em obra.** São Paulo: FDTE/EPUSP/IPT, 1980. /Notas de aula/.
- MERCONCHINI VEGA, H. A. **Problemas relacionados a tensões naturais na lavra de rochas ornamentais.** 1999. 212 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- NETTO, N. P. **Aplicações da teoria dos erros na topografia.** São Paulo: PTR/EPUSP, 1995. /Notas de aula/.
- OTAÑO NOGUEL, J. A. **Elementos de física de las rocas.** La Habana: Pueblo y Educación, 1981.
- ROCHA, R. **Ensaio "in situ" e instrumentação em obras.** São Paulo: FDTE/EPUSP/IPT, 1992. /Notas de aula/.
- SCHANKA, J.; VONDRAK, M. **Organización geométrica del túnel del metro de Praga por determinación fotogramétrica.** Praga: Empresa de Inversiones del

- SOBRE "LA GEODESIA Y LA GEOMECHANICA APLICADAS A LA CONSTRUCCIÓN", 1., Ciudad de La Habana, 2000. **Memoria**. Ciudad de La Habana, [s.n.], 2000. v. 1, p. 121-129.
- BARTON, N. **Design of underground works in jointed rock**. São Paulo: PEF/EPUSP, 1998. /Notas de aula/.
- BASSET, R. H., KIMMANCE, J. P.; RASMUSSEN, C. Automated electrolevel deformation monitoring system for tunnels. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Geotechnical Engineering**, London, v. 137, n. 3, p. 117-125, July 1999.
- BASSETT, R. H. **Deformation monitoring in association with tunnel work**. [S.l.: s.n.], 1995.
- BIANCONCINI, F. F. **Instrumentação de talude: métodos de medição direto de movimento**. 1997. 43p. Monografia (Trabalho de Formatura) - Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BICKEL, J. O.; KUESEL, T. R. **Tunnel engineering handbook**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982.
- BLANCO TORENS, R. **Elementos de la mecánica de los macizos rocosos**. La Habana: Felix Varela, 1998.
- BLITZKOW, D. **Posicionamento geodésico por satélite (GPS)**. São Paulo: PTR/EPUSP, 1998. /Notas de aula/.
- BOLKOBA, B. L. **Túneles y metropolitanos**. Moscú: Transporte, 1975. Não paginado /Texto original traduzido/
- CAPUTO, H. **Mecânica dos solos e suas aplicações** 3 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1993.
- CIRBUS, J. **Topografia de minas**. Kosice: [s. n.], 1981.
- DUNNICLIFF, J. **Geotechnical instrumentation for monitoring field performance**. 2. ed. New York: John Wiley, 1993.
- DVORSTAK, J. **Curso de topografia de minas**. La Habana: [s.n.], 1967.
- FUJIMURA, F.; AYRES DA SILVA, L. A. **Mecânica de rochas aplicada a mineração**. São Paulo: PMI/EPUSP, [1991]. /Notas de aula/.
- FUJIMURA, F.; HAKAMADA, A.; MELLO, P. Comportamento geomecânico de uma escavação subterrânea: interligação Jaguari-Cachoeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 7., Olinda, 1982. **Anais**. Recife: Abms, 1982. p. 172-191.
- HACHICH, W. C. et al. **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Pini, 1996.
- HAMZE, M. **Informe de adiestramiento del metro de Praga**. Ciudad de La Habana: Grupo Ejecutivo del Metro, 1985. (Relatório Interno).
- HAMZE, M. **Instrumentação de barragens de rejeitos**. São Paulo, 1998. /Apresentado ao Seminário de Pós-Graduação, na disciplina Barragens de Contenção de Rejeitos - Metodologia de Implantação e Manutenção. Xerocopiado/.
- HAMZE, M. **Trabajos topográficos para la construcción del pozo y la instalación de ascenso en la mina Júcaro**. 1979. (Trabalho de Formatura) - Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa, Holguín.
- HAMZE, M.; CORTIZO, M. **Compilacion y elaboracion de los resultados de mediciones sistemáticas para determinar asentamientos en la superficie producidos en un tramo de túnel del metro en construcción**. Ciudad de La Habana: Secretaria Ejecutiva del Metro, 1991. (Estudo Técnico)
- HAMZE, M.; GONZÁLEZ COMESAÑA, A. Resultado de un conjunto de mediciones sistemáticas para la determinación de asentamientos en el túnel de la

- Transporte Urbano de Praga, 1985. (Relatório Interno). Não paginado /Texto original traduzido/
- SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods, and applications**. Berlin: Walter de Gruyter, 1993.
- SILVA, I.; ERWES, H. **Curso de atualização em topografia e GPS**. São Carlos: Leica, 1996.
- SILVEIRA, J. **Glossário de instrumentação: com a correspondente terminologia em inglês e francês**. São Paulo: ABGE, 1979. 25 p. (Glossário de termos técnicos de geologia de engenharia).
- STEPHEN, D. P. **Discontinuity analysis for rock engineering**. 5. ed. London: Chapman & Hall, 1993.
- TAJDUS, A.; CALA, M. Influence of chosen factors on stability of mine shafts. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS, Hradec, 1993.
- Geomechanics 93: proceedings**. Rotterdam: Balkema, 1994. p.131-137.
- TERZAGHI, K.; PECK, R. B. **Mecánica de suelos en la ingeniería práctica**. 2. ed. Barcelona: El Ateneo, 1975.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PMI/001 - Características Geométricas da Escavação Mecânica em Mineração: Exemplo de Escavadora de Caçamba de Arraste - ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/002 - Prospeção Geoquímica Experimental na Ocorrência de Ouro Tapera Grande - PAULO BELJAVSKIS, HELMUT BORN
- BT/PMI/003 - Estudo de Processo de Dupla Flotação visando o Beneficiamento do Minério Carbonático de Fosfato de Jacupiranga - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/004 - Desenvolvimento de um Equipamento Não-Convencional em Beneficiamento Mineral: A Célula Serrana de Flotação Pneumática - RICARDO NEVES DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/005 - Ajuste de Modelos Empíricos de Operação de Ciclones - HOMERO DELBONI JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/006 - Contribuição ao Estudo dos Explosivos Permissíveis - AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/007 - Contribuição ao Dimensionamento de Pilares em Minas Subterrâneas de Manganês - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/008 - Exploração Mineral: Conceitos e Papel do Estado - LUIZ AUGUSTO MILANI MARTINS, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/009 - Otimização do Projeto de Pátios de Homogeneização através do Método da Simulação Condicional - FLAVIO MOREIRA FERREIRA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/010 - Considerações Gerais sobre Desmonte de Rocha: Análise de Custo - Índice de Produtividade e Otimização da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/011 - Aglomeração de Rejeitos de Fabricação de Brita para sua Reciclagem - ARTHUR PINTO CHAVES, BRADDLEY PAUL
- BT/PMI/012 - Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios - FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/013 - Processo de Beneficiamento para Obtenção de uma Carga Mineral Nobre a partir do Fosfogesso - WALTER VALERY JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/014 - Estudo da Carboxi-Metil-Celulose como Aglomerante para Pelotização - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/015 - A Influência do Amido de Milho na Eficiência de Separação Apatita/Minerais de Ganga Via Processo Serrana - LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/016 - Beneficiamento de Crolita Natural - Estado da Arte - HENRIQUE KAHN, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/017 - Estudo da Variação do Índice Energético Específico - W_i , segundo a Granulometria do Ensaio, Obtida através de um Moinho de Bolas Padrão, em Circuito Fechado - MARIO SHIRO YAMAMOTO, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/018 - Fluorita - FERNANDO FUJIMURA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/019 - O Aproveitamento de Recursos Minerais: Uma Proposta de Abordagem a Nível Nacional - CELSO PINTO FERRAZ, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/020 - Comparação de duas Metodologias - A de Bieniawski e a de Panek, para Dimensionamento de Tirantes em Galerias Subterrâneas de Seção Retangular em Camadas Estratificadas - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/021 - Caracterização de Maciços Rochosos através de Envolvimentos de Resistência por Tratamento Estatístico utilizando Dados de Laboratório do IPT Simulando Condições Geotécnicas do Maciço - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/022 - Avaliação de Impactos Ambientais na Mineração de Combustíveis Fósseis Sólidos - GILDA CARNEIRO FERREIRA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/023 - O Lado Nocivo do Elemento Quartzo no Desgaste Abrasivo de Mandíbula de Britadores - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/024 - Conceitos Básicos de Iluminação de Minas Subterrâneas - SÉRGIO MEDICI DE ESTON, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/025 - Sistema Computadorizado para Ajuste de Balanço de Massas e Metalúrgico - ANTONIO CARLOS NUNES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/026 - Caracterização Mineralógica/Tecnológica das Apatitas de alguns Depósitos Brasileiros de Fosfato - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN
- BT/PMI/027 - Classificação de Maciços quanto à Escarificabilidade - GUILHERME DE REZENDE TAMMERIK, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, LINDOLFO SOARES

- BT/PMI/028 - Análise Comparativa de Métodos de Amostragem de Depósitos Auríferos - FÁBIO AUGUSTO DA SILVA SALVADOR, HELMUT BORN
- BT/PMI/029 - Avaliação da Qualidade de Corpos Moedores para o Minério Fosfático de Tapira - MG - GERALDO DA SILVA MAIA, JOSÉ RENATO B. DE LIMA
- BT/PMI/030 - Contribuição ao Estudo da Cominação Inicial à Partir da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/031 - Análises Químicas na Engenharia Mineral - GIULIANA RATTI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/032 - Usos Industriais da Atapulga de Guadalupe (PI) - SALVADOR LUIZ MATOS DE ALMEIDA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/033 - Minerais Associados às Apatitas: Análise de sua Influência na Produção de Ácido Fosfórico e Fertilizantes Fosfatados - ROBERTO MATTIOLI SILVA, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/034 - Beneficiamento dos Caulins do Rio Capim e do Jari - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/035 - Dimensionamento de Suportes em Vias Subterrâneas - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/036 - Estudos da Modelagem Matemática da Moagem com Seixos para Talco de Diversas Procedências - MARIO VALENTE POSSA, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/037 - Mecânica de Rochas Aplicada ao Dimensionamento do Sistema de Atirantamento em Minas Subterrâneas - LEONCIO TEÓFILO CARNERO CARNERO
- BT/PMI/038 - Geometria de Minas a Céu Aberto: Fator Crítico de Sucesso da Indústria Mineral - FÁBIO JOSÉ PRATI, ANTÔNIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/039 - Substituição do Aço por Polímero e Compósitos na Indústria Automobilística do Brasil: Determinantes e Consequências para o Mercado de Minério de Ferro - WILSON TRIGUEIRO DE SOUSA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, ANTONIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/040 - Aplicação de uma Metodologia que Simule em Moinho de Laboratório Operações Contínuas de Moagem com Seixos para Talco - REGINA COELI CASSERES CARRISSO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/041 - A Indústria Extrativa de Rochas Ornamentais no Ceará - FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/042 - A Produção de Fosfato no Brasil: Uma Apreciação Histórica das Condicionantes Envolvidas - GILDO DE A. DE SÁ C. DE ALBUQUERQUE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/043 - Flotação em Coluna - Estado de Arte - JULIO CESAR GUEDES CORREIA, LAURINDO SALIES LEAL FILHO
- BT/PMI/044 - Purificação de Talco do Paraná por Flotação e Alvejamento Químico - IVAN FALCÃO PONTES, LAURINDO SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/045 - Pequena Empresa - A Base para o Desenvolvimento da Mineração - GILSON EZEQUIEL FERREIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/046 - Máquinas de Flotação - ROGÉRIO CONTATO GUIMARÃES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/047 - Aspectos Tecnológicos do Beneficiamento do Carvão de Candiota (RS) - ANTONIO RODRIGUES DE CAMPOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/048 - Efeito das Dimensões de Provetas no Dimensionamento de Espessadores - ELDON AZEVEDO MASINI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/049 - Água no Processamento Mineral - RODICA MARIA TEODORESCU SCARLAT, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/050 - Drenagens Ácidas do Estéril Píritoso da Mina de Urânio de Poços de Caldas: Interpretação e Implicações Ambientais - VICENTE PAULO DE SOUZA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/051 - "Caracterização Tecnológica de Minérios Auríferos. Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Jazida de Salamangone, AP." - MARIA MANUELA MAIA LÉ TASSINARI, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/052 - Ensino de Engenharia de Minas - WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/053 - Redistribuição de Tensões e Desenvolvimento da Zona Clástica em Túneis Circulares - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/054 - Projeto de Barragem para Reservação de Mistos de Minerais Pesados Rejeitados pelo Beneficiamento de Cassiterita na Mina do Pitinga - MARCELO PIMENTEL DE CARVALHO, EDER DE SILVIO, LINDOLFO DE SILVIO
- BT/PMI/055 - A Segurança e a Organização do Trabalho em uma Mineração Subterrânea de Carvão da Região de Criciúma - Santa Catarina - DORIVAL BARREIROS, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/056 - Diagnóstico de Lixiviação para Minérios de Ouro - VANESSA DE MACEDO TORRES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/057 - O Estado da Arte em Tratamento de Minérios de Ouro - RONALDO DE MOREIRA HORTA, ARTHUR PINTO CHAVES

- BT/PMI/058 - Vias Subterrâneas em Rocha - Escavação por Explosivos - WILDOR THEODORO HENNIES, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/059 - Aumento da Seletividade na Separação da Fluorita/Calcita/Barita/Apatita por Flotação. Jazida de Mato Preto - PR - MONICA SPECK CASSOLA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMC/060 - Desenvolvimento de Processo para Extração de Gálio do Licor de Bayer por Resinas de Troca-Iônica de Poli (Acrilamidoxima) - WALDEMARA VRITSCHER, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/061 - Estudo de Aspectos Geomecânicos Aplicados ao Projeto de Minas Subterrâneas - EDUARDO CÉSAR SANSONE, LINEU A. AYRES DA SILVA
- BT/PMI/062 - Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo - OMAR YAZBEK BITAR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/063 - Avaliação Técnica dos Processos de Cianetação/Adsorção da Mina de Fazenda Brasileiro - ÁUREA MARIA DIAS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/064 - A Nova Configuração da Indústria de Fertilizantes Fosfatados no Brasil - YARA KULAIF, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/065 - Estudos de Flotação em Coluna com Finos de Fosfato da Ultrafertil em Escala Piloto - JOSÉ PEDRO DO NASCIMENTO, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/066 - Flotação da Apatita da Jazida de Tapira - MG - LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO - LUIZ A. F. BARROS, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/067 - Minerais Industriais: Conceituação, Importância e Inserção na Economia - FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/068 - Atividades Micro-Sísmicas e a Ruptura de Rochas - FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/069 - Metodologia para Caracterização Tecnológica de Matérias Primas Minerais - LÍLIA MASCARENHAS SANT'AGOSTINO, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/070 - Aplicação de Modelos Numéricos ao Projeto de Escavação por Explosivos de Túneis e Galerias - LUIZ CARLOS RUSILO, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/071 - O Estado da Arte da Cianetação de Minérios Auríferos - ROBERTO GOULART MADEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/072 - Revisão da Indústria Mineral de Titânio - ANTÔNIO HELENO DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/073 - Sistematização de Casos de Instabilidades em Encostas Rochosas no Município de Santos, Através de Nova Metodologia de Avaliação de Estabilidade - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/074 - A Minero-Metalurgia e suas Ligações com a Geologia e suas Engenharias de Minas, Metalúrgica e Química - RICARDO ALVARES DE CAMPOS CORDEIRO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/075 - A Redução da Umidade de Minérios de Ferro com o Emprego de Microondas - FERNANDO LEOPOLDO VON KRÜGER, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/076 - Estimativa de Parâmetros do Modelo Cinético de Moagem - CLÁUDIO FERNANDES, ANTÔNIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMC/077 - A Bauxita e a Indústria do Alumínio - JOSÉ CRUZ DO CARMO FLÔRES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMC/078 - Técnicas de Tratamento de Minérios para Reciclagem de Vidro - CLEUSA CRISTINA BUENO MARTHA DE SOUZA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/079 - Comparação entre Cylpebs e Bolas na Moagem Secundária da Samarco Mineração - JOAQUIM DONIZETTI DONDA, ANTONIO EDUARDO CLARK PERES
- BT/PMI/080 - Calcários Dolomíticos da Região de Ouro Preto para usos na Metalurgia e como Rochas Ornamentais - MARCÍLIO DIAS DE CARVALHO, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/081 - Estudo de Reoxidação e Redução de Ferro Contido em Caulins - ADÃO BENVINDO DA LUZ, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/082 - Recuperação do Gálio Existente no Licor de Bayer de Poços de Caldas por Flotação Iônica: Estudo dos Coletores - ANA MARGARIDA MALHEIRO SANSÃO, LAURINDO DE SALLES LEAL
- BT/PMI/083 - Contribuição ao Conhecimento de Argilas de Cuba - GUILLERMO RUPERTO MARTÍN CORTÉS, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/084 - Determinação da Rugosidade da Superfície de Descontinuidades Rochosas - JOSÉ MARGARIDA DA SILVA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/085 - Serragens de Granitos para Fins Ornamentais - ANTONIO STELLIN JR
- BT/PMI/086 - Evolução Magmática e Modelo Metalogenético dos Granitos Mineralizados da Região de Pitinga, Amazonas, Brasil - SARA LAIS RAHAL LENHARO, HELMUT BORN

- BT/PMI/087 – Considerações sobre o Dimensionamento de Equipamentos de Carga e Transporte em Mineração a Céu Aberto – IESO DO COUTO COUTINHO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO, GIORGIO FRANCESCO CESARE DE TOMI
- BT/PMI/088 – Tratamento do Minério de Transição de Cobre e Ouro de Igarapé Bahia, Carajás, PA – DACILDO RODRIGUES DE SOUZA, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/089 – Variáveis que Interferem nos Problemas Ambientais Gerados Durante os Desmontes de Rochas – VALDIR COSTA E SILVA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/090 – Caracterização Mineralógica do Minério de Cobre e Ouro Secundário de Igarapé Bahia – LUIS RODRIGUES ARMÔA GARCIA, PAULO ROBERTO GOMES BRANDÃO
- BT/PMI/091 – O Topázio na Região de Ouro Preto: Minas do Vermelho e Capão do Lana – JAIR MAZON JÚNIOR, HELMUT BORN
- BT/PMI/092 – A Mineralização Aurífera de Fazenda Brasileiro – BA Aspectos Geológicos e Planejamento de Lavra – MARCO ANTONIO DE MORAES SILVA, HELMUT BORN
- BT/PMI/093 – Estudo dos Mecanismos de Adsorção em Meio Ácido dos Metais Chumbo e Zinco em uma Turfa de Jaconé – RJ – MARIA DIONÍSIA COSTA DOS SANTOS, LAURINDO DE SALLES LEAL
- BT/PMI/094 – Cartografia de Riscos Geológicos Associados a Escorregamentos no Município de Embu – RMSP – CÉLIA MARIA GARIBLADI, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/095 – Revisão da Teoria para Projeto de Taludes Heterogêneos em Minas a Céu Aberto – FLÁVIO MOREIRA FERREIRA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/096 – Estratégias para Remediação de um Sítio Contaminada por Metais Pesados: Estudo de Caso – JOSÉ ÂNGELO SEBASTIÃO ARAUJO DOS ANJOS, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/097 – Estudo dos Elementos Abrasivos de Fios Diamantados para a Lavra de Granitos do Ceará – FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ANTONIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/098 – Caracterização Mineralógica do Depósito de Terras no Complexo Alcalino – Carbonatítico de Barra do Itaipapuá (SP/PR) – Área de Detalhe I – Maria de Lourdes Lorenzi, Henrique Kahn
- BT/PMI/099 – Considerações sobre a Seleção de Equipamentos para o Transporte de Minérios – ALEXANDRE DE SANT'ANNA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/100 – Desgaste Abrasivo em Britadores de Mandíbulas – NILSON MAR BARTALINI, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/101 – Viabilidade do Emprego de Finos de Basalto em Concreto Compactado a Rolo – KLEBER DA SILVA MENDES, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/102 – Sistema Especialista para o Processamento de Minérios de Ouro – VANESSA DE MACEDO TORRES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/103 – Desenvolvimento de Eletrodos de Pasta de Carbono Modificados com a Resina Poliamidoxima (ES-346) para a Determinação Potenciométrica de Gálio – MARCO ROGÉRIO BARRIOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/104 – Desenvolvimento de Processo para o Aproveitamento do Feldspato Contido em Finos de Pedreira de Nefelina Sienito – PAULO FERNANDO ALMEIDA BRAGA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/105 – Os Recursos Minerais e a Economia Internacional: Uma Reavaliação das Teorias – FRANCISCO REGO CHEVES FERNANDES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/106 – Importância dos Aspectos Geológico-Geotécnicos em Obras Implantadas na Serra do Mar – Uma Metodologia de Manutenção Preventiva – ORIOVALDO CUNHA MARTINEZ, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/107 – Lixiviação e Adsorção em Fazenda Brasileiro – CVRD: Uma Questão de Produtividade – ÁUREA MARIA DIAS GOMES, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/108 – Análise Quantitativas por Difração de Raios-X em Engenharia Mineral – Aplicação dos Métodos de Rietveld e do Padrão Interno – GABRIELA CAMPOS FRONZAGLIA, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/109 – Avaliação das Principais Causas de Acidentes em Barragens de Contenção de Rejeitos Devido a Fatores Geológicos e Geotécnicos – FERNANDO IVAN VÁSQUEZ ARNEZ, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/110 – Problemas Relacionados a Tensões Naturais Durante a Lavra de Rochas Ornamentais – HUGO ANTONIO MERCONCHINI VEGA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/111 – Sistemas de Classificação na Análise da Estabilidade de Taludes em Maciços Brandos – ANDREA CRISTINA Y. DE MATTOS, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/112 – Metodologia para Amostragem de Material Particulado em Suspensão (MPS) – IVO TORRES DE ALMEIDA, SERGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/113 – Viabilização da Recuperação de Ouro de Minério Primário por Lixiviação em Pilha Mediante o uso de Britadores não Convencionais: Um Estudo de Caso: O Minério Primário da Mina de Almas-Paiol, TO – SALOMÃO SOLINO EVELIN, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/114 – Aplicação de Aditivos Químicos à Filtragem de Polpas de Minerais – LUIZ GUSTAVO ESTEVES PEREIRA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/115 – Proposta de Gerenciamento Ambiental de uma Área Degradada nos Municípios de Mauá e Ribeirão Pires – Região Metropolitana de São Paulo – ÁLVARO GUTIERREZ LOPEZ, LUIZ ENRIQUE SÁNCHEZ

- BT/PMI/116 – Experiência de Gerenciamento da Reforma e Adequação de um Moinho de Bolas de 4000 HP para nova Aplicação – AROLDO DUTRA GARCIA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/117 – Efeitos da Viscosidade no Processo de Deslamagem com Microciclones em Polpa Não-Newtoniana de Rocha Fosfática – MARIO VALENTE POSSA, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/118 – Caracterização Tecnológica de Depósitos de Cromita da Província de Camagüey, República de Cuba – JULIÁN ANDRÉS MÉNDEZ GARCÉS, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/119 – Garimpo de Ouro no Brasil: Desafios da Legalização – MARIA LAURA TAVEIRA DA MOTA GERALDES DE CARVALHO BARRETO, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/120 – Contribuição ao Projeto de Reatores de Ácido Fosfórico para Processamento de Concentrados Apatíticos Brasileiros – ROBERTO MATTIOLI SILVA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/121 – Lixiviação em Pilhas de Minérios Oxidados de Cobre – GEYSA SANTOS DE PONTES PEREIRA, ELTON AZEVEDO MASINI
- BT/PMI/122 – Produção de Agregado como Alternativa para Produtores de Corretivo de Solo da Grande Curitiba – PLÍNIO CRISTIANO CAMBOIM DE OLIVEIRA, ANTÔNIO JOSÉ NAGLE
- BT/PMI/123 – A Competitividade da Mineração Nacional com Ênfase no Minério de Ferro – GILSON EZEQUIEL FERREIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/124 – Aplicação de Turfa na Recuperação de Solos de Degradados pela Mineração de Areia – JOSÉ GUILHERME FRANCHI, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/125 – Aproveitamento de Materiais Fosfáticos Marginais para a Produção de Fertilizantes Organo-Fosfatados – CARLOS ALBERTO IKEDA OBA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/126 – Abordagem Participativa na Gestão de Recursos Minerais – CARLOS C. PEITER, ROBERTO C. VILLAS BÔAS
- BT/PMI/127 – A Importância dos Condicionantes Geológicos-Geotécnicos na Recuperação de Áreas Degradadas por Lavra de Minas a Céu Aberto – RICARDO DEGUTI DE BARROS SILVA, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/128 – Determinação de Indicadores de Impactos Ambientais Cumulativos Decorrentes da Mineração de Areia no Vale do Paraíba Através de Geoprocessamento – EDER LUIZ SANTO, LUIS HENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/129 – Tecnologia de Corte de Rocha Ornamental com Fio Helicoidal – FERNANDO FUJIMURA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/130 – Diagnóstico da Degradação do Meio Físico e Proposição de Medidas de Recuperação em Áreas de Mineração Abandonadas na Bacia do Guarapiranga, Região Metropolitana de São Paulo – MARIA MARTA TEIXEIRA VASCONCELOS, LUIS ENRIQUE SANCHEZ
- BT/PMI/131 – A Integração Competitiva do Setor Mineral Brasileiro no Cenário Internacional Estudo de Caso: O Setor de Aços Especiais Inoxidáveis – MANOEL RODRIGUES NEVES, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/132 – Contribuição à Implantação de um Novo Pólo de Fertilizantes no Nordeste do Brasil – GILDO DE ARAÚJO SÁ C. DE ALBUQUERQUE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/133 – Metodologia Construtiva do Poço de Produção da Mina Fazenda Brasileiro – LEONCIO TEÓFILO CARNERO CARNERO, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/134 – Aproveitamento de Finos Gerados nas Ferragens de Mármore e Granitos – IVAN FALCÃO PONTES, ANTÔNIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/135 – Aspectos Hidrodinâmicos na Flotação de Partículas Grossas – WENDEL JOHNSON RODRIGUES, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/136 – Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras de Santo Antônio de Pádua – RJ para Produção de Brita e Areia – SALVADOR LUIZ DE MATOS DE ALMEIDA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/137 – Análise Crítica do Desenvolvimento de Processos de Cianetação em Tanques Agitados – RINALDO PEDRO NARDI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/138 – A Utilização de Finos de Pedreira em Solo-Cimento Ensacado – EDILSON PISSATO, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/139 – Dessulfuração de Finos de Carvão de Santa Catarina por Concentradores Centrífugos – ANTÔNIO RODRIGUES DE CAMPOS, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/140 – Estereoquímica de Polissacarídeos e sua Influência na Seletividade da Separação Apatita/Calcita por Flotação Aniônica Direta – JULIO CESAR GUEDES CORREIA, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO
- BT/PMI/141 – Avaliação do Desempenho Ambiental – Proposta Metodológica e Diretrizes para Aplicação em Empreendimentos Cíveis e de Mineração – FRANCISCO NOGUEIRA DE JORGE, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/142 – Formação de Barreira Geoquímica para o Abatimento de Drenagens Ácidas de Estéril Piritoso – VICENTE PAULO DE SOUZA, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/143 – Técnicas de Preparação de Areia para uso na Construção Civil – WILLIAM WHITAKER, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/144 – Inovação Tecnológica e Setores da Indústria: O Contexto da Indústria Extrativa e de Transformação Mineral – MARIA HELENA MACHADO ROCHA LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO

- BT/PMI/145 – Determinação e Análise Estatística dos Índices Físicos de Pedras Ornamentais Brasileiras – ANTONIO STELLIN JUNIOR, EDUARDO CESAR SANSONE, MARIA RENATA MACHADO STELLIN
- BT/PMI/146 – Avaliação de Impacto Ambiental de Projetos de Mineração n Estado de São Paulo: A Etapa de Acompanhamento – ELVIRA GABRIELA C. S. DIAS, LUIS E. SÁNCHEZ
- BT/PMI/147 – Contribuição ao Estudo do Corte de Rochas por Jato D'Água Abrasivo – CARLOS TADEU LAUAND, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/148 – Competitividade na Exploração Mineral – Um Modelo de Avaliação – JOSÉ GUEDES DE ANDRADE, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/149 – Caracterização Tecnológica do Depósito de Terras Raras de Catalão I, GO. Áreas: Córrego do Garimpo e Lagoa Seca – MARIA MANUELA MAIA LÉ TASSINARI, HENRIQUE KAHN
- BT/PMI/150 – Contribuição ao Método de Determinação do Índice de Abrasividade de Bond (A. i.) à Luz de Outros Materiais Metálicos – JOSÉ BRUNO NETO, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/151 – Fabricação de Termofosfato Utilizando Fosfogesso – REYNALDO ARBUE PINI, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/152 – Desenvolvimento de Tecnologia Eletrohidráulica Aplicada a Desmonte de Rochas em Áreas Urbanas – CARLOS MAGNO MUNIZ E SILVA, ANTONIO STELLIN JÚNIOR
- BT/PMI/153 – Novo Método de Caracterização Tecnológica para Cominuição de Minérios – ANA CAROLINA CHIEREGATI, HOMERO DELBONI JUNIOR
- BT/PMI/154 – Desenvolvimento de Processo do Projeto Rocha Sã em Pitinga, AM – EDER DE SILVIO, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/155 – Aplicação dos Finos Gerados pela Produção de Pedras Britadas Graníticas no Concreto Pré-Misturado em Substituição às Areias Naturais – LIGIA NEVES, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/156 – Técnica de Simulação Numérica de Escavação Subterrânea por Computador - MÁRCIO DELCHIARO NIEBLE, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/157 - Jato de Água Abrasivo para Corte e Gravação de Materiais Friáveis – WILDOR THEODORO HENNIES, CARLOS TADEU LAUAND, GUILLERMO RUPERTO MARTÍN CORTÉS
- BT/PMI/158 – Desativação de Empreendimentos Mineiros: Estratégias para Diminuir o Passivo Ambiental – JOSÉ BAPTISTA DE OLIVEIRA JÚNIOR, LUIS ENRIQUE SÁNCHEZ
- BT/PMI/159 – Previsão de Desempenho do Circuito de Moagem SAG da MSF a Partir do Índice de Quebra – FERNANDO KARAM DELBIM, HOMERO DELBONI JUNIOR
- BT/PMI/160 – A Poluição das Águas em Mineração de Calcário – MARCIA ADRIANI JORGE SIQUEIRA, SERGIO MÉDICI DE ESTON
- BT/PMI/161 – Aplicação de Métodos Computacionais no Planejamento para Extração de Rocha Ornamental em Maciços Rochosos – MARCELO FILIPOV, FERNANDO FUJIMURA
- BT/PMI/162 – Proposições para Investigação de Parâmetros Controladores da Contaminação do Subsolo e das Águas Subterrâneas – MARILDA TRESSOLDI, LINDOLFO SOARES
- BT/PMI/163 – Fundamentos Teóricos para a Análise dos Mercados de Matérias-Primas Minerais – YARA KULAIF, JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA
- BT/PMI/164 – Análise Comparativa do Desempenho de Ciclones com base em Simulações Prévias e Ensaio em Escala Industrial – FLÁVIO AUGUSTO PESCE STOROLLI, HOMERO DELBONI JR.
- BT/PMI/165 – Flotação de Gálio a Partir do Licor de Bayer – LUIZ PAULO BARBOSA RIBEIRO, LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO

