

"A INSTRUMENTAÇÃO DE AUSCULTAÇÃO DE MACIÇOS  
ROCHOSOS EM MINAS A CÉU ABERTO"

JOÃO FRANCISCO ALVES SILVEIRA

Dissertação de Mestrado apre-  
sentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo,  
para obtenção do grau de Mes-  
tre em Engenharia

Prof. Orientador: Dr. Wildor Theodoro Hennies  
São Paulo  
1976

Biblioteca da Escola Politécnica  
São Paulo

F-5482

fol. 835

## A G R A D E C I M E N T O S

À Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, na pessoa do Eng<sup>o</sup> Carlos Manoel Nieble, que possibilitou uma viagem de visitas técnicas aos Estados Unidos, em 1974, onde foram visitas as seguintes obras: Morrow Point Dam, Eisenhower Memorial Tunnel, Climax Molybdenum Co. e Mt. Albert Pumped-Storage Powerplant; além das seguintes indústrias de instrumentação: Terrametrics (Golden, Colorado), Soiltest (Evanston, Illinois) e Slope Indicator (Seattle, Washington).

À PROMON Engenharia, nas pessoas da Dra. Evelyn Bloem Souto Silveira, Dr. Milton Assis Kanji, Dr. Nélcio Gaioto e eng. Luiz Paulo Q. T. Eigenheer, pelo apoio e colaboração recebidos.

Ao Prof. Dr. Wildor Theodoro Hennies, orientador desta dissertação, que colaborou com valiosas sugestões, críticas e comentários.

Aos Profs. Drs. Job Shuji Nogami e Milton Assis Kanji, pelos importantes comentários e sugestões.

Aos Srs. Alberto Figueiredo Rosa, Isidoro Hofacker dos Santos e Mário do Carmo Miori, pela enorme colaboração na preparação dos desenhos e gráficos.

Às Srtas. Claudete Maria Russo e Inêz Brancacci, pelo excelente trabalho de datilografia.

À Marlene A. Crepaldi Silveira, minha esposa, pelo apoio e compreensão recebidos.

A essas pessoas e entidades o autor apresenta seus agradecimentos.

## S U M M A R Y

This paper deals with instrumentation in Rock Mechanics and the methods used to monitor the behaviour of rock slopes in open pit mining. The paper analyses the techniques of these methods and includes a classification of monitoring methods on a rational basis according to their main characteristics.

In the first part the criteria for the design of a monitoring system are analysed with emphasis on the following aspects:

- safety
- verification of the design concepts
- economy

Also discussed are the main characteristics of the different types of instruments used in the field of rock mechanics, such as their working principals, the influence of the environmental conditions, etc.

In attempting a broad review of techniques it was found to be impossible to give full details relevant to each item of equipment, or to supplement the text with case histories, therefore, the discussion is limited to their principal characteristics only.

Finally the planning and design of an instrumentation system is provided together with an estimate of the cost involved, subdivided in those parts: purchase, installation, operation and analysis of the results.

## Í N D I C E

- I. INTRODUÇÃO
- II. OBJETIVOS
- III. TIPOS DE RUPTURA E SUAS IMPLICAÇÕES
- IV. A INSTRUMENTAÇÃO DE MECÂNICA DAS ROCHAS E SUAS CARACTERÍSTICAS
  - IV.1 - Sensibilidade
  - IV.2 - Campo de Leitura
  - IV.3 - Reprodutibilidade
  - IV.4 - Robustez
  - IV.5 - Estabilidade
  - IV.6 - Precisão
  - IV.7 - Erros de Leitura
  - IV.8 - Influência das condições ambientais
    - IV.8.1 - Temperatura
    - IV.8.2 - Água e umidade
    - IV.8.3 - Fonte de energia elétrica
    - IV.8.4 - Vibrações e choques
  - IV.9 - Princípios de Funcionamento
    - IV.9.1 - Mecânico
    - IV.9.2 - Hidráulico
    - IV.9.3 - Pneumático
    - IV.9.4 - Resistência Elétrica
    - IV.9.5 - Corda Vibrante
    - IV.9.6 - Fotoelástico
- V. MÉTODOS DE OBSERVAÇÃO DE TALUDES EM MINAS A CÉU ABERTO
  - V.1 - A observação de Deslocamentos Superficiais
    - V.1.1 - Métodos Geodésicos
      - V.1.1.1 - Rede de Triangulação Geodésica
      - V.1.1.2 - Estações de Observação
      - V.1.1.3 - Marcos de Visada
      - V.1.1.4 - Triangulações
      - V.1.1.5 - Nivelamentos
      - V.1.1.6 - A Medição Precisa de Distâncias
      - V.1.1.7 - Distanciômetros Eletro-Óticos
    - V.1.2 - Fotogrametria

- V.1.3 - Extensômetros de Superfície
  - V.1.3.1 - Medidores de Junta
  - V.1.3.2 - Extensômetros de Superfície de Grande Base
- V.1.4 - Indicadores de Movimento
- V.2 - Observação de Deslocamentos em Sub-Superfície
  - V.2.1 - Extensômetros Múltiplos
  - V.2.2 - Inclínômetros
  - V.2.3 - Defletômetros e Cadeias Defletométricas
  - V.2.4 - Fita de Cisalhamento ("Shear Strip")
- V.3 - A Observação de Tensões em Maciços Rochosos
  - V.3.1 - Método de Determinação das Deformações Diametrais em Furos de Sondagem
  - V.3.2 - Métodos de Colagem Direta dos Extensômetros na Rocha
  - V.3.3 - Métodos das Inclusões Rígidas
  - V.3.4 - Métodos Fotoelásticos
- V.4 - A Observação de Pressões Piezométricas
- V.5 - A Observação de Carga em Chumbadores e Tirantes
- V.6 - A Observação de Micro Ruídos
- V.7 - Observações Óticas em Furos de Sondagem
  - V.7.1 - Periscópio ou Estratoscópio
  - V.7.2 - Câmara Fotográfica
  - V.7.3 - Câmara de Televisão

## VI. O PLANEJAMENTO E O PROJETO DE UM SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO

- VI.1 - Tipo, Número e Locação dos Instrumentos
- VI.2 - Instalação dos Instrumentos
- VI.3 - Operação e Frequência de leituras
- VI.4 - Interpretação dos resultados

## VII. CUSTOS ENVOLVIDOS NUM PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO

- VII.1 - Custo do Projeto
- VII.2 - Custo dos Instrumentos
- VII.3 - Custo da Instalação
- VII.4 - Custo da Operação dos Instrumentos e Interpretação dos dados

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- VIII.1 - Instrumentação de Taludes (Geral)
- VIII.2 - Instrumentação Geodésica
- VIII.3 - Extensômetros Múltiplos
- VIII.4 - Inclínômetros
- VIII.5 - Instrumentação para a Observação de Tensões em Maciços Rochosos
- VIII.6 - Instrumentação Piezométrica
- VIII.7 - Células de Carga para Tirante
- VIII.8 - Instrumentação para Observações em Furos de Sondagem
- VIII.9 - Instrumentação para a Auscultação de Micro-Ruídos
- VIII.10 - Outras Bibliografias de Interesse

## "A INSTRUMENTAÇÃO DE AUSCULTAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS EM MINAS A CÉU ABERTO"

"When you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it: but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely, in your thoughts, advanced to the stage of science, whatever the matter may be".

- Lord Kelvin -

### I. - INTRODUÇÃO

A instrumentação de Mecânica das Rochas pode ser classificada segundo os seus propósitos em dois grandes grupos, a saber, a instrumentação para a realização de ensaios -(laboratoriais ou "in situ") e a instrumentação de auscultação. Por auscultação, entende-se a observação do comportamento de uma determinada obra de engenharia visando, essencialmente, a comprovação dos métodos de cálculo utilizados, a verificação da sua segurança e a necessidade de se empregar medidas corretivas eventuais. No presente trabalho abordar-se-á à instrumentação para a auscultação de maciços rochosos, estando fora do escopo do mesmo os instrumentos utilizados na fase de prospecção.

No princípio, a instrumentação de maciços rochosos em taludes e escavações a céu aberto, empregava essencialmente métodos topográficos, para a observação de deslocamentos superficiais, e alguns instrumentos utilizados em Mecânica dos Solos. Somente a partir da década de 60, é que a auscultação de maciços rochosos passou a se fazer sentir de um modo marcante e dispor de uma instrumentação projetada especificamente para os objetivos a que se propunha.

A necessidade da instrumentação de taludes surgiu praticamente da necessidade de se conhecer melhor o seu comportamento e da falta de confiança no projeto e nos métodos de análise e prospecção disponíveis.

Desta forma, se a estabilidade do talude for colocada em dúvida, o custo do programa de instrumentação e das técnicas de estabilização, deverá ser menor que o custo que poderá advir da ruptura do talude; que normalmente é o caso.

Pode-se mesmo afirmar que a falta de confiança no projeto de taludes de grande porte (lavras a céu aberto, por exemplo) sempre existe, sendo uma consequência natural de fatores tais como a impossibilidade em caracterizar perfeitamente as inúmeras superfícies de compartimentação do maciço rochoso, principalmente conhecer dentre as superfícies de baixa resistência quais são condicionantes da estabilidade do talude, caracterizar perfeitamente as propriedades geomecânicas destas superfícies através de ensaios laboratoriais ou "in situ", conhecer em detalhe o comportamento de regiões muito heterogêneas do maciço, onde podem ocorrer rochas com os mais variados graus de alteração e/ou intemperismo, conhecer em detalhes o comportamento hidrogeotécnico do maciço, caracterizar corretamente o estado de tensões naturais do maciço rochoso e estudar analiticamente a qual a implicação dos cortes e das escavações realizadas na estabilidade do talude. Sob certas circunstâncias, não tem mesmo sentido o emprego de processos de cálculo muito sofisticados, face à incerteza dos dados de entrada ("imput") e face à impossibilidade de se considerar nestes cálculos todas as heterogeneidades e complexidades existentes. Nestes casos, a situação real e os parâmetros utilizados devem ser simplificados para um outro modelo que é idealizado, implicando pois numa perda de precisão dos resultados. Estas incertezas são usualmente reconhecidas através da adoção de um fator de segurança mais conservador.

Entra aqui em jogo, então, a importância da instrumentação de auscultação, pois que esta poderá ser utilizada para justificar a adoção de um fator de segurança mais baixo do que seria permissível. Por intermédio de um programa de instrumentação adequado, pode-se detectar zonas potencialmente instáveis, que necessitam de medidas adicionais de segurança. As informações fornecidas pela instrumentação são utilizadas na determinação da extensão e profundidade do método de tratamento do maciço, permitindo ainda o controle da eficiência deste tratamento.



A instrumentação de taludes deve ser encarada sob diferentes prismas, dependendo da obra de engenharia em apreço. Enquanto que numa escavação mineira, por exemplo, a ruptura de pequenos taludes não tem, em regra, maiores consequências, nos cortes rodo-ferroviários, nos taludes de uma barragem ou de um canal de navegação, o efeito de uma ruptura, mesmo que não seja de grandes proporções, pode ser desastroso.

O custo de um programa de instrumentação deve, entretanto, ser comparado com o custo decorrente da utilização de um maior fator de segurança, o qual implicaria em taludes mais abatidos e conseqüentemente num maior volume de escavação.

## II. - OBJETIVOS

A auscultação de maciços rochosos em obras de engenharia objetiva genericamente dois propósitos. Durante a etapa construtiva, ela permite a constatação e a eliminação de falhas, devido à inevitável falta de conhecimento de particularidades do maciço, que escaparam das prospecções realizadas. Durante e após a construção, ela fornece informações concernentes aos efeitos da construção sobre o maciço e o correspondente efeito das alterações do maciço sobre a estrutura (Terzaghi e Peck, 1967).

No que diz respeito às suas funções específicas, a auscultação de taludes de minas a céu aberto, objetiva:

### - Aspecto de Segurança

As informações fornecidas pela instrumentação permitem verificar se a escavação executada no maciço rochoso está se comportando conforme previsto, possibilitando um acompanhamento "pari passu" da mesma, de modo a alertar prontamente sobre a ocorrência de qualquer anomalia que possa comprometer a segurança da obra.

Sob este aspecto, a instrumentação de auscultação permite a delimitação de áreas mais ativas, com perigo potencial de ruptura, aler

tando sobre a necessidade de medidas corretivas ou evitando acidentes de grandes proporções com vidas humanas, e/ou equipamentos.

#### - Aspectos de Projeto (teórico)

A instrumentação fornece informações para uma verificação sistemática das hipóteses de projeto, de modo a possibilitar eventuais modificações que se façam necessárias durante o período construtivo, sejam no projeto, ou nos métodos construtivos empregados.

Dos dois modelos geomecânicos normalmente empregados na análise da estabilidade de taludes, a saber, o método do equilíbrio limite e o método de análise tensões-deformações (Método dos Elementos Finitos) este último é muito mais adequado aos propósitos da instrumentação. Isto porque permite realizar uma confrontação direta dos deslocamentos, deformações e tensões medidas "in situ", diretamente com aquelas obtidas nos processamentos de cálculo, de modo a possibilitar um acompanhamento muito mais lógico e racional das medições realizadas, alertando prontamente sobre eventuais problemas.

#### - Aspectos Econômico

Sob este aspecto, a instrumentação de auscultação poderá justificar a adoção de menores coeficientes de segurança nos cálculos de estabilidade. Esta medida implicará em taludes mais íngremes e, consequentemente, em volumes consideráveis de esteril que não necessitarão ser escavados. Estes taludes mais íngremes poderão ser estáveis por si só ou, então, necessitar de tratamentos de estabilização que serão indicados pela instrumentação.

Hennies (1974) observa ainda que a previsão da ruína de um talude, pelo eficiente controle de suas deformações, tem seus aspectos econômicos, devido à redução de perdas de tempo com a interrupção da lavra, pois desenvolve a habilidade de trabalhar na mesma, apesar da existência de zonas instáveis, e previne acidentes com pessoal e equipamento.

### III. - TIPOS DE RUPTURA E SUAS IMPLICAÇÕES

Os tipos de ruptura de um talude estão condicionados não apenas às características geomecânicas do maciço, mas também a própria dimensão do talude. Nos taludes não excessivamente altos, isto é, com um desnível de até 80 m, a estabilidade está condicionada quase que essencialmente às características estruturais do maciço. (Hennies, 1974). Nestes taludes, o tipo de ruptura está condicionado a fatores tais como a natureza da rocha intacta e as propriedades do material de preenchimento das juntas.

Procurando simplificar os tipos de comportamento observados nos ensaios de cisalhamento direto de uma junta, ilustra-se na figura 1, dois comportamentos perfeitamente distintos, a saber, plástico e frágil. Estes dois tipos de comportamento tem implicações diretas no projeto de auscultação de um talude, como veremos a seguir.

O comportamento frágil é característico de rochas duras, tais como o basalto ou granito, com juntas constituídas por um contato direto rocha-rocha, sem preenchimento. Apresentam, na ruptura, uma acentuada diferença entre as resistências de pico e residual, podendo mesmo a resistência residual ser menor que a metade da resistência de pico (Hoek, 1972). Como consequência direta deste tipo de comportamento, os maciços constituídos por rochas desta natureza estão sujeitos a uma ruptura brusca e violenta, quando sua resistência de pico é ultrapassada.

Já o comportamento plástico, característico de rochas tais como folhelhos ou granitos decompostos, em que praticamente não se observa uma resistência de pico, tendem a romper por deslizamento gradual.

Desta forma, os instrumentos a serem empregados na auscultação de um talude, estão diretamente condicionados ao tipo de comportamento do maciço na ruptura. Como consequência direta desta observação, tem-se que taludes constituídos por rochas que exibem na ruptura um comportamento frágil, deverão ser auscultados por instrumentos altamente sensíveis e que detectem não apenas deslocamentos, mas também outras grandezas (por exemplo, micro ruídos). Hoek observa também

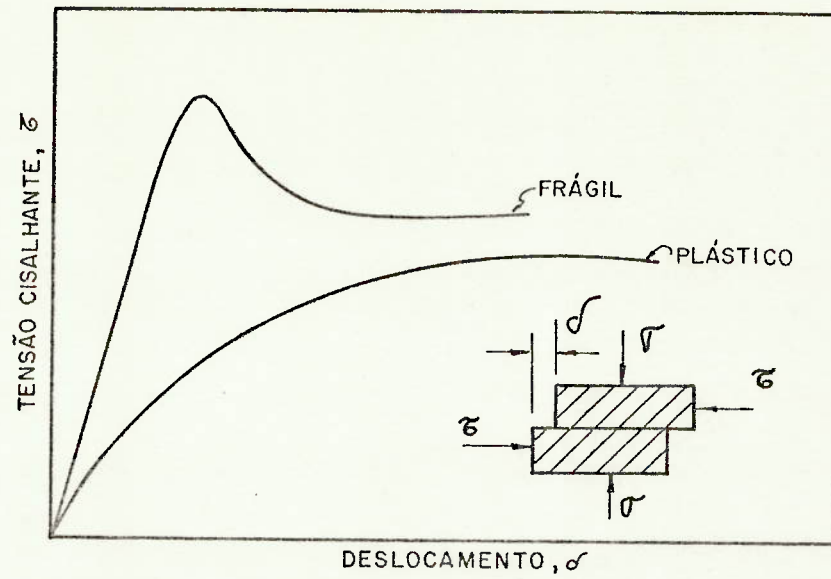


Fig.1 - CURVAS TENSÃO CISALHANTE VERSUS DESLOCAMENTO, TÍPICAS DOS COMPORTAMENTOS FRÁGIL E PLÁSTICO.

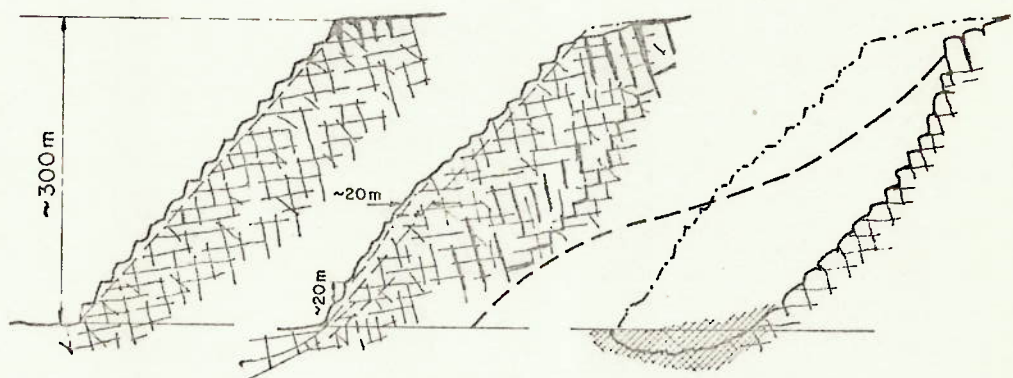


Fig.2 - ESTÁGIOS DA RUPTURA PROGRESSIVA DE TALUDES DE GRANDE DIMENSÕES. (MÜLLER, 1963)

que a diferença entre a resistência de pico e residual não é o único fator que está envolvido na determinação da velocidade e do grau de violência da ruptura de um talude. Por exemplo, a presença de água num talude de topo truncado ("wast tip") em solo, pode resultar num deslizamento que poderia se desenvolver a grande velocidade e conseqüentemente, causar sérios danos.

No caso de taludes muito altos ( $H > 80$  m), Muller (1963) caracteriza a ruptura como um processo evolutivo em que se pode distinguir os três estágios seguintes (vide Fig. 2):

1. Abertura de fendas de tração que surgem atrás da linha de topo do talude. Sua orientação em geral é função da estrutura geológica do maciço rochoso, podendo mesmo mergulhar em sentido oposto à declividade do talude.
2. Após certo tempo, o talude começa a apresentar um inchamento a meia altura. O deslocamento horizontal de bermas pode atingir em alguns casos, até 20 m, sem que a base do talude mostre qualquer indício de instabilidade.
3. Num último estágio, ocorre a ruptura do pé do talude, a qual pode ocorrer após meses ou anos.

Este fenômeno, normalmente conceituado por ruptura progressiva, poderá ser detectado e observado desde os estágios iniciais, através da instalação de detectores de micro-ruídos, extensômetros de superfície e sub-superfície, etc., conforme analisado no item V.

A Figura 2 evidencia também que as regiões mais favoráveis à instalação dos instrumentos localizam-se atrás da linha de topo de talude e à meia altura, onde ocorre o inchamento do talude.

#### IV. - A INSTRUMENTAÇÃO DE MECÂNICA DAS ROCHAS E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Alguns dos métodos, processos e instrumentos utilizados na auscultação de maciços rochosos são basicamente os mesmos utilizados na ob

servação de grandes estruturas em aço, concreto ou terra. Devido, entretanto, ao fato de não ser possível inserir um instrumento sem a perfuração, escavação ou perturbação do maciço, a instalação dos mesmos é mais complicada e implica normalmente, em processos bastante elaborados. Muitos dos instrumentos de observação foram desenvolvidos especificamente para os maciços rochosos, sendo bem grande atualmente, os métodos de observações e os tipos de instrumentos - disponíveis.

A seguir serão conceituados e analisados os principais termos empregados na caracterização da instrumentação de auscultação de maciços rochosos.

#### IV.1 - Sensibilidade

A sensibilidade é definida como sendo o menor incremento da grandeza medida, que pode ser observado na escala de leitura do instrumento, ou seja, é a menor divisão desta escala. Trata-se de uma das características mais importantes a ser considerada na seleção de um determinado tipo de instrumento.

A sensibilidade está diretamente vinculada ao princípio de funcionamento do instrumento. Nos instrumentos elétricos, que são em regra os mais sensíveis, a sensibilidade é da ordem de 0,1 a 0,01% da escala total, enquanto nos instrumentos mecânicos, a sensibilidade é da ordem de 1% da escala total.

#### IV.2 - Campo de Leitura

Na seleção de um instrumento para medir uma determinada grandeza, deve-se ter uma idéia do valor máximo que a mesma poderá atingir. É com base neste valor máximo que poder-se-á selecionar dentre vários tipos de instrumentos, aquele com um campo de leitura adequado. Entende-se por campo de leitura o intervalo compreendido entre as leituras mínima e máxima deste aparelho.

Enquanto muitos instrumentos apresentam um campo de leitura fixo e invariável, outros possibilitam, quando necessário, uma ampliação do

mesmo através de um deslocamento de zero do aparelho.

É de suma importância a seleção de instrumentos com um campo de leitura apropriado porque, uma vez atingida a leitura máxima, o instrumento perde toda a sua finalidade, deixando de registrar leituras.

#### IV.3 - Reprodutibilidade

Devido a problemas de atrito, fadiga de certos elementos, oxidação, etc., um instrumento não apresentará sempre a mesma leitura numa série executada praticamente num mesmo instante. O valor mais provável da grandeza medida será o valor médio destas leituras, que será dado pela soma das medidas individuais, dividida pelo número total de leituras. Quanto maior for o número de leituras realizadas, tanto mais a média se aproximará do "valor real" da medida.

Em regra, os instrumentos quando novos apresentam uma boa reprodutibilidade, ou seja, pequena dispersão nas leituras, passando a apresentar com o decorrer do tempo maior dispersão nos resultados.

Existem instrumentos que se caracterizam por uma baixa reprodutibilidade, exigindo a realização de várias leituras "simultâneas" para a obtenção de um valor mais significativo da grandeza medida.

#### IV.4 - Robustez

Esta é uma das características fundamentais da instrumentação de mecânica das rochas, constituindo um dos pré-requisitos básicos no projeto de qualquer instrumento. Por robustez entende-se as características de um instrumento de suportar choques mecânicos, vibrações, umidade, atmosferas corrosivas, etc., sem que isto implique em avarias ou danos do instrumento. Geralmente os instrumentos mecânicos caracterizam-se por uma elevada robustez.

#### IV.5 - Estabilidade

A estabilidade é a propriedade que caracteriza a durabilidade, ou - melhor dizendo, a vida útil do instrumento. Esta característica es

tá diretamente condicionada ao princípio de operação, projeto e materiais de confecção do instrumento e às condições ambientais do local de instalação.

Deve-se geralmente recorrer a instrumentos que apresentem uma estabilidade coerente com a vida útil da mineração.

#### IV.6 - Precisão

Em topografia e em outros campos da tecnologia que envolvem medições, a precisão é definida em termos de desvio padrão. O erro padrão é calculado quantitativamente da expressão:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}$$

onde  $v_i$  é o erro residual da  $i$ -ésima leitura, isto é, a diferença entre uma medida e o valor médio (mais provável) da grandeza.

Entretanto, a fórmula acima, que tem comumente conduzido a confusões e mal-entendidos, permite apenas determinar a consistência das leituras ou a reprodutibilidade das observações, e não a precisão exata da grandeza medida. A precisão de um determinado instrumento reflete, além da consistência das leituras, a calibração, a influência de condições ambientais, etc., e só poderá ser determinada através de extensas calibrações em laboratório e "in situ".

#### IV.7 - Erros de Leitura

Designando por  $X_0$  o verdadeiro valor de uma grandeza e por  $X_i$  o valor medido,  $(X_0 - X_i)$  é o denominado erro de medida. Existem basicamente três tipos de erros.

a. erro de operador, tais como erros na leitura da escala do aparelho, ou no registro dos dados.

Este tipo de erro é facilmente detectado quando representamos em um gráfico as leituras realizadas em função do tempo, ou através



de uma comparação da última leitura com as anteriores. Tão logo se suspeite de um erro desta natureza, a leitura deverá ser imediatamente refeita

- b. erros sistemáticos, causados por fatores tais como um dano físico, perda de calibração, perda de carga das baterias, etc.. Os erros sistemáticos são consistentemente positivos ou negativos, com relação ao valor verdadeiro da grandeza medida, e só podem ser avaliados através de calibração sobre uma unidade padrão.
- c. erros acidentais, causados por diversos fatores, tais como falta de perfeito ajustamento do aparelho, interpolação na leitura da escala, variações de temperatura e de outras condições ambientais que afetam a medida. Não apresentam, ao contrário dos erros sistemáticos, qualquer regularidade.

Estatisticamente, caso não ocorra erros de operador, as leituras  $X_i$  podem ser consideradas como variáveis aleatórias de média  $\mu$  e, variância  $\sigma^2$ .

O erro sistemático é dado por  $(\mu - X_0)$  e pode ser corrigido através de aferições constantes do aparelho com o auxílio de um gabarito - ( $X_0$  é o verdadeiro valor da grandeza).

O erro acidental é dado por  $(X_i - \mu)$  e sendo a soma dos efeitos de diversos fatores, pelo teorema estatístico do limite central, deve ter uma distribuição de média zero e variância  $\sigma^2$ . A variância caracteriza a precisão do instrumento, pois representa a magnitude dos erros acidentais.

No caso da grandeza ser medida indiretamente, como por exemplo a tensão de um tirante, obtida pelo quociente entre a carga do tirante, e a área dos cabos de aço, a precisão dos valores calculados é obtida a partir das seguintes propriedades estatísticas:

1. Se  $y = f(x)$ , a variância de  $x$  e  $y$  obedece a seguinte relação:

$$\sigma^2(y) \cong \left\{ f'(x) \right\}^2 \cdot \sigma^2(x) \quad (I)$$

onde

$f' \left( \mu(x) \right)$  é a derivada 1ª de  $f(x)$ , para  $x = \mu(x)$

2. Se  $y = f \left( u(x_1), u(x_2), \dots, u(x_n) \right)$ , onde  $x_1, x_2, \dots, x_n$  são variáveis independentes, podemos generalizar o teorema anterior obtendo:

$$\sigma^2(y) \cong \left[ \frac{\partial f}{\partial \mu x_1} \right]^2 \cdot \sigma^2(x_1) + \left[ \frac{\partial f}{\partial \mu x_2} \right]^2 \cdot \sigma^2(x_2) + \left[ \frac{\partial f}{\partial \mu x_n} \right]^2 \cdot \sigma^2(x_n)$$

No exemplo da observação da carga de um tirante, se se desejar calcular qual a variância da tensão do tirante, a partir das variâncias da carga e da seção dos cabos, tem-se que:

$$T = \frac{C}{S} \quad , \quad \text{onde:} \quad \begin{array}{l} T = \text{tensão total nos cabos do tirante} \\ C = \text{carga do tirante} \\ S = \text{área total dos cabos} \end{array}$$

$$T = f(C, S)$$

$$\therefore \sigma_T^2 = \left[ \frac{\partial T}{\partial \mu C} \right]^2 \cdot \sigma_C^2 + \left[ \frac{\partial T}{\partial \mu S} \right]^2 \cdot \sigma_S^2$$

$$\text{onde,} \quad \frac{\partial T}{\partial C} = \frac{1}{S} \quad \therefore \frac{\partial T}{\partial \mu C} = \frac{1}{\mu S}$$

$$\text{e} \quad \frac{\partial T}{\partial S} = -\frac{1}{S^2} \quad \therefore \frac{\partial T}{\partial \mu S} = -\frac{\mu C}{\mu S^2}$$

$$\therefore \sigma_T^2 = \left( \frac{1}{\mu S} \right)^2 \cdot \sigma_C^2 + \left( \frac{\mu C}{\mu S^2} \right)^2 \cdot \sigma_S^2$$

#### IV.8 - Influência das Condições Ambientais

Enquanto a maioria dos equipamentos de laboratório é projetada para operar sem precauções especiais, num ambiente normal de laboratório, aqueles utilizados na instrumentação de maciços rochosos são, quase sempre, submetidos a severas condições ambientais, que podem incluir fatores tais como um vasto campo de variação de temperaturas,

intensa umidade, poeira, atmosferas corrosivas, excesso de vibrações e de choques mecânicos, etc.

Passar-se-á, a seguir, a uma abordagem mais detalhada destes fatores:

#### IV.8.1 - Temperatura

A temperatura da rocha próxima à superfície dos maciços rochosos sofre a influência das variações diárias de temperatura, até a profundidade da ordem de 0,5 m e das variações anuais de temperatura, até profundidade da ordem de 8,0 m. A partir desta profundidade, a temperatura é praticamente igual a temperatura média anual do local, aumentando com a profundidade em função do grau geotérmico. Em nossas condições ambientais, as temperaturas variam na superfície de 0° a 40°C.

De um modo geral pode-se, pois, afirmar que os instrumentos instalados no interior dos maciços rochosos estarão sujeitos apenas a pequenas variações de temperatura, enquanto que aqueles instalados à superfície e expostos à atmosfera, experimentarão sensíveis alterações de temperatura.

Os instrumentos elétricos (de resistência) e os fotoelásticos, devem ser compensados ou corrigidos em função das variações de temperatura. Extensômetros e outros aparelhos para medir deformações, devem ser confeccionados com aço invar ou, então, ser corrigidos em função das variações de temperatura. Instrumentos elétricos, que operam em ambientes de elevada temperatura, devem ser providos de dissipadores de calor.

#### IV.8.2 - Água e Umidade

Em superfície ou sub-superfície, a água e a umidade podem ter implicações muito sérias, principalmente em nossas condições ambientais, em que predomina o clima tropical e os solos apresentam em geral elevada acidez. Estes fatores, associados ao elevado teor em ácido húmico proveniente de materiais orgânicos em decomposição, provocam -

uma elevada acidez nas águas de percolação, implicando em sérios problemas para a proteção dos equipamentos metálicos.

Outras regiões, que devem merecer especial atenção, são aquelas situadas próximas ao litoral, pois apresentam atmosferas altamente corrosivas.

Como principais recomendações, para a proteção dos instrumentos contra problemas de corrosão causados pela água, umidade e atmosferas corrosivas, indica-se que estes sejam totalmente vedados externamente através de anéis de borracha, que sejam confeccionados com material inoxidável ou de elevada resistência à oxidação, ou possuam seus mecanismos permanentemente imersos num banho de óleo. Em se tratando de equipamentos elétricos, os cabos elétricos devem ser à prova d'água e com múltiplas camadas de borracha ou outro material isolante.

#### IV.8.3 - Fonte de Energia Elétrica

Antes de se optar pela utilização de instrumentos elétricos em uma mineração, precisa-se conhecer a voltagem, a frequência e a capacidade da fonte de energia disponível no local. Em se considerando, - que em regra estas fontes apresentam grandes oscilações de voltagem e que estas oscilações afetam os equipamentos eletrônicos, tais como, amplificadores, voltímetros, osciloscópios, etc., deve-se sempre empregar reguladores de voltagem.

Se a demanda de energia for pequena, que é geralmente o caso, deve-se dar preferência ao emprego de equipamentos operados à bateria.

#### IV.8.4 - Vibrações e Choques

Principalmente no caso de instrumentos instalados próximos das frentes de escavação, estes são submetidos a violentas vibrações que se propagam através do ar, ou pelo interior do maciço rochoso. Muitas vezes os instrumentos instalados à superfície são atingidos por fragmentos de rocha, lançados durante os fogos de desmonte. Este fato implica no emprego de instrumentos bastante robustos, que não

sejam facilmente afetados por vibrações, ou choques mecânicos.

Também o transporte e o manuseio dos equipamentos de leitura, em minas a céu aberto, usualmente os submetem a fortes impactos e vibrações, que devem ser resistidos através de capas e/ou caixas de proteção apropriadas e pelo próprio instrumento, que não deve ser muito sensível a esses choques.

#### IV.9 - Princípios de Funcionamento

Dentre os princípios físicos de funcionamento da instrumentação de mecânica das rochas, destacam-se:

##### IV.9.1 - Mecânico

Os instrumentos mecânicos são aqueles que se baseiam geralmente no comportamento elástico linear do aço, empregando dispositivos simples, tais como a deformação de uma mola, a flexão de uma lâmina, a compressão diametral de um anel de aço, etc. Poderão empregar também outros dispositivos mecânicos, por exemplo, engrenagens, fios tensionados, pêndulos, roldanas, etc.

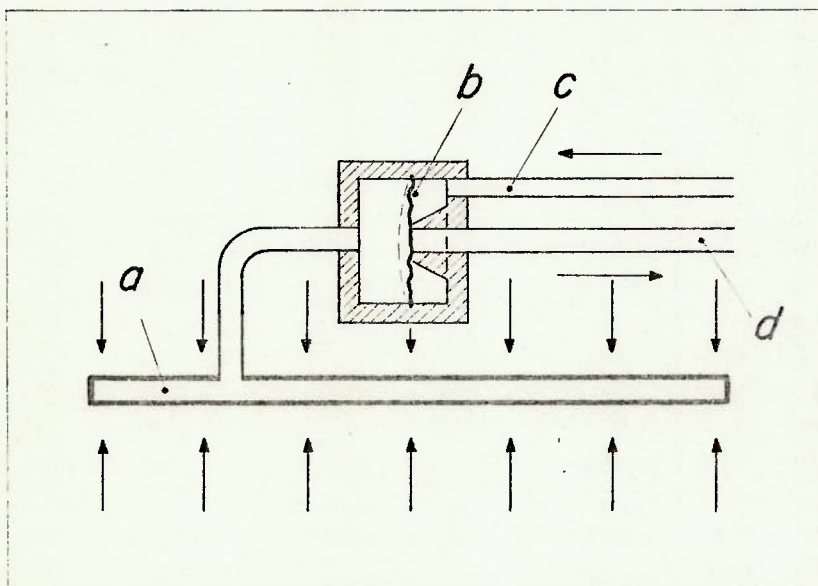
A medição com tais dispositivos é, geralmente, econômica, simples e segura. A precisão é, em regra, adequada aos fins a que se propõe, mas somente se prestam para a realização de medidas estáticas e em pontos acessíveis ao observador.

Pode-se afirmar que a instrumentação mecânica é aquela que tem conduzido aos melhores resultados práticos, devido à sua elevada robustez, facilidade de operação e baixo custo. Particularmente em nosso país, onde a mão de obra é ainda pouco onerosa, a instrumentação mecânica está fadada a grande sucesso, no campo da mecânica das rochas.

##### IV.9.2 - Hidráulico

Os instrumentos hidráulicos são aqueles que utilizam fluídos hidráulicos (água, óleo, etc.) em seus sistemas de medidas. As células de

carga ou células de pressão tipo Gloetzl e os piezômetros tipo Gloetzl, USBR e Geonor, são os instrumentos que tem utilizado, com maior sucesso, este princípio de funcionamento. Nas células de pressão tipo Gloetzl, por exemplo, a pressão aplicada sobre a célula transmite-se a uma válvula, fechando-a. Quando a pressão aplicada - pelo operador através da tubulação de entrada, iguala aquela pressão, a válvula se abre, permitindo assim a determinação da pressão neutra (Fig.3).



- (a) Almofada de pressão
- (b) Válvula
- (c) Linha de pressão
- (d) Linha de retorno

Fig.3 ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DAS CÉLULAS DE PRESSÃO TOTAL TIPO GLOETZL

Os instrumentos que operam segundo este princípio caracterizam - se geralmente pela sua robustez e baixo custo.

Os problemas mais frequentes a este tipo de instrumentação são: dificuldade de deaeração, daqueles que utilizam a água como fluido, e a ocorrência de um precipitado pastoso, talvez produto de reações com o material empregado nas tubulações, naqueles que utilizam como fluido hidráulico, misturas de óleo com querosene.

#### IV.9.3 - Pneumático

Nos instrumentos assim operados, o princípio de funcionamento é em tudo idêntico aos hidráulicos, apenas que o fluido agora é um gás. Os primeiros instrumentos que surgiram utilizavam o ar, devidamente isento de umidade. Os mais recentes, estão empregando o nitrogênio.

Este princípio de funcionamento está sendo utilizado quase que exclusivamente nos piezômetros, e a tendência atual tem sido a substituição dos piezômetros operados hidraulicamente pelos pneumáticos. Esta substituição é fruto de vantagens tais como a eliminação de perdas de carga ao longo das tubulações, a eliminação de complicadas técnicas de deaeração e a não necessidade da cabine de leitura dos instrumentos ficar abaixo da cota de instalação dos mesmos.

#### IV.9.4 - Resistência Elétrica

Enquadram-se neste grupo, todos os instrumentos dotados de transdutores de deformação que utilizam extensômetros elétricos de resistência. Estes extensômetros representam, talvez, a mais notável contribuição ao desenvolvimento da observação de deformações, pois apresentam pequena seção transversal, grande precisão, possibilidade de leitura à distância (vinculada porém ao comprimento máximo dos cabos) e podem ser aplicados, tanto para medidas estáticas, quanto dinâmicas.

A restrição mais importante aos extensômetros elétricos de resistência (colados à peça cuja deformação se pretende medir) está no fato de apresentarem inconvenientes nas observações de longa duração. Mesmo ao cabo de alguns dias podem aparecer tais inconvenientes, em razão de sua falta de estabilidade causada pela sensibilidade à umidade, ou por fenômenos de deformação lenta da cola e dos materiais plásticos que o constituem. Há um tipo especial de extensômetro de resistência, o "foil-gauge", que resiste bem à umidade e que se adapta às observações de longa duração.

Os extensômetros elétricos de resistência são também sensíveis às variações de temperatura. A correção pode ser feita aplicando outro

extensômetro a um elemento do mesmo material do transdutor, mantido nas mesmas condições de temperatura deste e colocado na ponte de "Wheatstone", em oposição ao ativo.

A precisão obtida com tais extensômetros atinge  $10 \times 10^{-6}$  e mesmo  $5 \times 10^{-6}$ . Os tipos correntes são sensíveis às deformações transversais, com exceção do extensômetro TEPIC, da Huggenberger

Destaque todo especial, entretanto, merecem os instrumentos tipo "Carlson", nos quais foram resolvidos, a contento, os problemas com umidade, variações de temperatura e estabilidade. Nestes instrumentos, o transdutor de deformação é constituído por duas resistências (Fig. 4-a), de tal forma que ao ocorrer uma sollicitação externa, uma das resistências sofre um alongamento e a outra um encurtamento. Isto permite que estes instrumentos meçam também temperaturas, bastando, para tal, um outro esquema de ligação destas resistências na ponte de "Wheatstone".

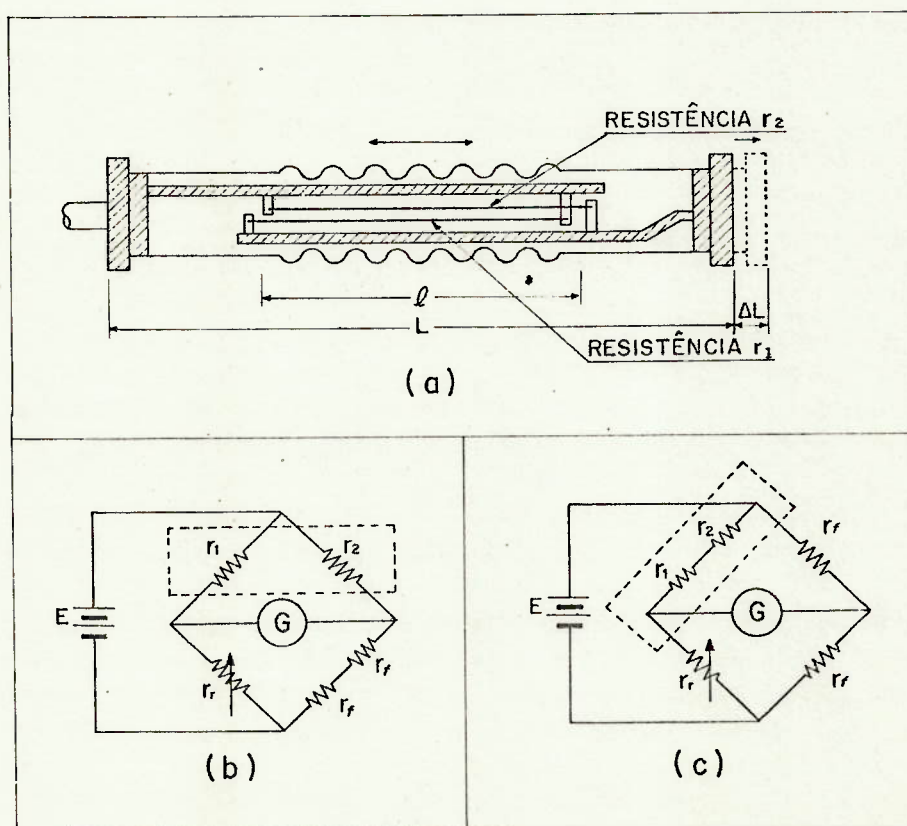


Fig. 4- (a) ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM EXTENSÔMETRO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA; (b) ESQUEMA DE LIGAÇÃO NA PONTE DE WHITSTONE PARA MEDIDA DE DEFORMAÇÕES; (c) ESQUEMA DE LIGAÇÃO PARA A MEDIDA DE TEMPERATURAS.



A figura 4b mostra um circuito completo da ponte de "Wheatstone", onde as resistências  $r_1$  e  $r_2$  são conectadas a uma metade da configuração da ponte. Este esquema de ligação é utilizado para medir as variações da relação de resistência ( $r_1/r_2$ ), função das deformações - externas. Na figura 4-c, as resistências  $r_1$  e  $r_2$  são ligadas em série, em um mesmo ramo do circuito, permitindo assim a medição de temperaturas.

A estabilidade das leituras deste instrumento é garantida por um banho de óleo, que protege permanentemente as resistências.

#### IV.9.5 - Corda Vibrante

Idealizado por Schäfer, em 1919, o transdutor de corda vibrante (ou acústico) foi desenvolvido na década de 30, sendo hoje largamente empregado na observação de estruturas de concreto ou terra. Baseia-se na variação de frequência das cordas vibrantes, em função da tensão a elas aplicadas, isto é

$$f = \frac{c}{l} \sqrt{\sigma}$$

onde:  $f$ : frequência de vibração

$c$ : constante que depende das características do fio

$l$ : comprimento do fio

$\sigma$ : tensão atuante sobre o fio

Assim, a partir da medida da frequência, obtém-se  $\sigma$  e daí

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

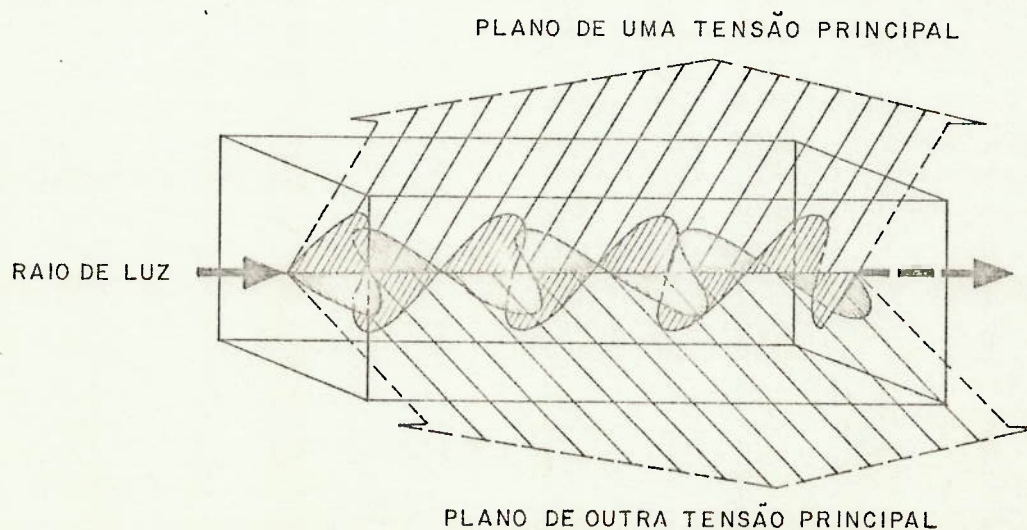
A medida das frequências consiste essencialmente em comparar as frequências do transdutor, com as de uma corda vibrante padrão, es tirada com uma tensão conhecida. Essa comparação pode ser feita acusticamente (eliminando os batimentos provocados pela diferença de frequência entre o transdutor ativo e o padrão) ou opticamente (sincronizando as duas vibrações no quadro de um osciloscópio de raios catódicos). No primeiro caso, enquadram-se os instrumentos - Galileo e Telemac, no segundo, os instrumentos Maihak.

Uma das grandes vantagens, dos instrumentos de corda vibrante, é que a grandeza diretamente medida é uma frequência, não sendo então influenciada pelo comprimento e demais características dos cabos de ligação à estação de leitura.

Como principal restrição à aplicação destes instrumentos no campo, surge o problema das constantes danificações provocadas por descargas atmosféricas. Este é um problema particularmente sério para as nossas condições climáticas, e que não está ainda totalmente solucionado (apesar dos dispositivos que têm sido aperfeiçoados, para proteger estes instrumentos das sobre-tensões).

#### IV.9.6 - Fotoelástico

O princípio fotoelástico fundamenta-se em uma propriedade única de alguns materiais transparentes, em particular de certos plásticos. Quando um material fotoelástico é submetido a um estado de tensão, e um raio luminoso entra ao longo de um dos eixos principais de tensão, ocorre que o raio se divide em duas ondas componentes, cada uma com seu plano de vibração (plano de polarização), paralelo a um dos planos principais. Além disso, a luz percorre os caminhos com velocidades diferentes, que dependem das magnitudes das tensões principais no material



A figura anterior ilustra este fenômeno. A luz incidente se decom põe em duas componentes, que tem seus planos de vibração paralelos às direções das tensões principais  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$ . Como estas ondas atravessam o corpo a diferentes velocidades, as ondas saem com uma nova relação de fase ou atraso relativo, pois a frequência de uma onda de luz monocromática é constante, independente do material que atravessa.

Estas duas ondas são levadas juntas ao polariscópio fotoelástico e ocorre que elas entram em interferência ótica. Se o atraso relativo (N) é 0, 1, 2, 3, ....., ciclos, as ondas se reforçam entre si e o efeito combinado é uma maior intensidade luminosa. Se a diferença de fase (N) é  $1/2$ ,  $3/2$ ,  $5/2$ ,  $7/2$ , ... ciclos, a amplitude das ondas que se interferem é igual e oposta; a interferência anula, pois, a resul tante e a intensidade diminui até zero (extinção). Obtém-se intensi dades intermediárias para valores intermediários de (N). Deste mo do, se obtém uma configuração fotoelástica formada por faixas cla ras e escuras, ou seja, o lugar geométrico dos pontos que  $N = 0, 1, 2$  ....., etc. forma uma faixa brilhante, o lugar geométrico em que  $N = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}$  ....., etc. forma uma faixa escura. Na nomenclatura re lativa à interferência ótica, estas faixas recebem a denominação de franjas ou isocromáticas e a ordem da franja é definida pelo valor de N, na faixa em questão.

No campo da instrumentação, o princípio fotoelástico tem sido apli cado exclusivamente em células de carga. Estes instrumentos utili zam um transdutor fotoelástico constituído por um cilindro, ou anel de aço, no interior do qual se aloja um disco de material foto elástico. Quando este disco é comprimido diametralmente pela aplica ção de carga na célula, as franjas isocromáticas são visíveis no disco, quando o mesmo é iluminado com luz monocromática polarizada e observado através de um analisador.

A precisão das medidas de carga com transdutores fotoelásticos é geralmente de  $\pm 0,05$  de franja, ou seja, para uma célula de carga de 20 toneladas-força de capacidade, com um trns dutor de 5 franjas (portanto, 4 tf/franja), a precisão será de 0,20 tf/ou 200 kgf.

## V. - MÉTODOS DE OBSERVAÇÃO DE TALUDES EM MINAS A CÉU ABERTO

Neste ítem serão abordados os vários métodos de instrumentação utilizados na auscultação de maciços rochosos em escavações a céu aberto. Apesar de se dar ênfase particularmente para a instrumentação - em lavras a céu aberto, estes mesmos métodos aplicam-se à instrumentação de cortes e escavações em obras de engenharia civil, já que, em última instância, o objetivo é a observação do comportamento dos taludes rochosos durante as suas escavações.

Dentre outras coisas, procurar-se-á analisar os vários tipos de instrumentos utilizados, suas principais características, os procedimentos de instalação e as vantagens e desvantagens de cada método.

### V.1 - A Observação de Deslocamentos Superficiais

A ruptura de taludes em rocha é em regra precedida por pequenos movimentos da ordem de milímetros ou de até vários metros, antes que toda a massa instabilizada comece a se acelerar encosta abaixo. Desta forma, o objetivo primeiro da instrumentação é a auscultação destes pequenos movimentos desde o início, para que, uma vez detectados e analisados, seja possível a aplicação de medidas adicionais de segurança, para evitar ou controlar os movimentos subsequentes - ou, em última instância, preparar a área para a ruptura.

Os métodos de instrumentação de taludes poderiam ser agrupados quanto ao tipo de grandeza a ser medida em:

- a. Métodos diretos, ou seja, métodos que medem os deslocamentos e as deformações do talude, fornecendo uma indicação direta de suas condições de estabilidade.
- b. Métodos indiretos, isto é, são métodos que detectam as causas da instabilidade, ou então condições adversas que refletem situações de instabilidade, por exemplo, pressões intersticiais excessivas, tensões elevadas nos tirantes, cargas excessivas nas estruturas de contenção, etc.

A observação de deslocamentos fornece um método direto de verificação da estabilidade de um talude. Os instrumentos de auscultação devem ser suficientemente sensíveis para detectar movimentos de magnitude consideravelmente pequena em relação aqueles associados à fase final da ruptura, já que os métodos de contenção somente são efetivos, se providenciados nos primeiros estágios da instabilidade.

A auscultação superficial detecta mudanças na topografia do talude, enquanto a auscultação em furos de sondagem detecta movimentos diferenciais no interior do maciço rochoso. Estes dois processos devem sempre ser utilizados em conjunto, complementando-se entre si, para fornecer um quadro geral da movimentação do talude.

#### V.1.1 - Métodos Geodésicos

A principal característica dos métodos geodésicos é a extensão da área em observação, que inclui não apenas a escavação propriamente dita, mas também toda a área circunjacente, permitindo detectar as áreas de instabilidade e fornecendo um panorama geral da direção, sentido e intensidade dos deslocamentos em superfície.

A execução das medidas topográficas exige uma equipe de técnicos especializados, devido à elevada precisão, minúcia e complexidade das técnicas envolvidas. No Boletim nº 23 da ICOLD (1972) comenta-se que a duração das operações pode variar entre algumas horas até três semanas, sendo governada pelo número de estações de observação. Um elevado número de estações favorece a precisão do processo, mas por outro lado, prolonga a duração das operações. Outro fator, que pode exigir muito tempo, é a análise e interpretação dos dados. Atualmente, o uso generalizado de computadores eletrônicos veio aliviar sobremaneira o tempo exigido para a resolução dos métodos numéricos de cálculo.

O método consiste basicamente no estabelecimento de uma rede de estações de observação, a partir da qual, determinam-se os deslocamentos diferenciais  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$ , de marcos de visada, situados sobre a crista do talude ou nas bermas, entre os tempos  $t_1$  e  $t_2$  de

leitura. A instrumentação utilizada compreende basicamente os teodolitos, níveis de precisão e distanciômetros eletro-óticos.

#### V.1.1.1 - Redes de Triangulação Geodésica

A locação e a densidade das estações de observação topográficas estão condicionadas diretamente às características e necessidades de cada obra. Como regra geral, procura-se estabelecer uma série de estações de observação ao longo do perímetro da escavação que, por sua vez, devem estar conectadas a estações fixas de observação, situadas fora da zona de possíveis movimentos. Burland e Moore (1973) mostram que para o caso de escavações em maciços constituídos de argila (argila de Londres), faz-se necessário o estabelecimento destas estações fixas de observação a distâncias de pelo menos três vezes a profundidade da escavação, além da sua periferia. Em se tratando de maciços rochosos, estas distâncias estariam condicionadas basicamente às características geológicas e estruturais do maciço e à zona de influência do rebaixamento do lençol freático.

Watt (1971) recomenda pelo menos quatro estações fixas de observação, distribuídas simetricamente em torno da escavação. Em locais onde não é possível o estabelecimento das estações fixas nas vizinhanças imediatas da escavação, deve-se recorrer ao estabelecimento de uma rede de referência suficientemente afastada da escavação, e amarrada à rede de triangulação primária (na circunvizinhança da escavação) através de uma rede de conexão (Fig.5).

Uma vez detectada uma zona potencial de ruptura, pode-se partir para o esquema proposto por Kennedy (1971), através do estabelecimento de estações de observação na crista do talude (segundo linhas normais a direção de mergulho do talude), de estações de observação ao longo das bermas e/ou de uma rede de marcos estabelecidos ao acaso (Fig.6). Os métodos topográficos mais adequados, a cada um dos esquemas propostos por Kennedy, são discutidos com muita minúcia em seu trabalho.

Tice e Sams (1974), recomendam para o caso de grandes cortes e aterros, em obras rodoviárias ou ferroviárias, o estabelecimento de uma

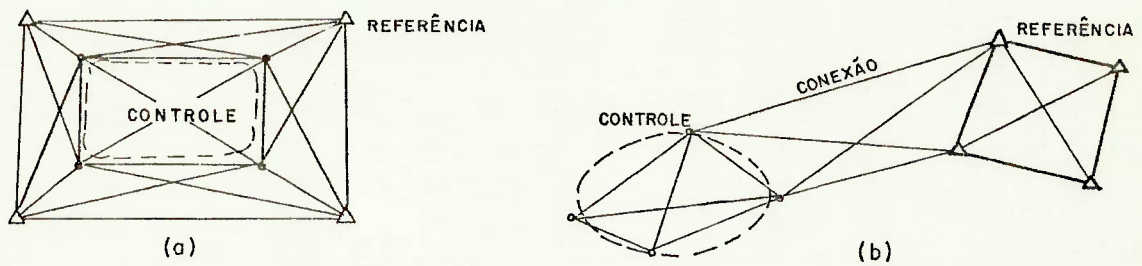


Fig. 5 - ESQUEMAS PROPOSTOS POR WATT (1971), PARA O ESTABELECIMENTO DAS ESTAÇÕES GEODÉSICAS DE REFERÊNCIA.

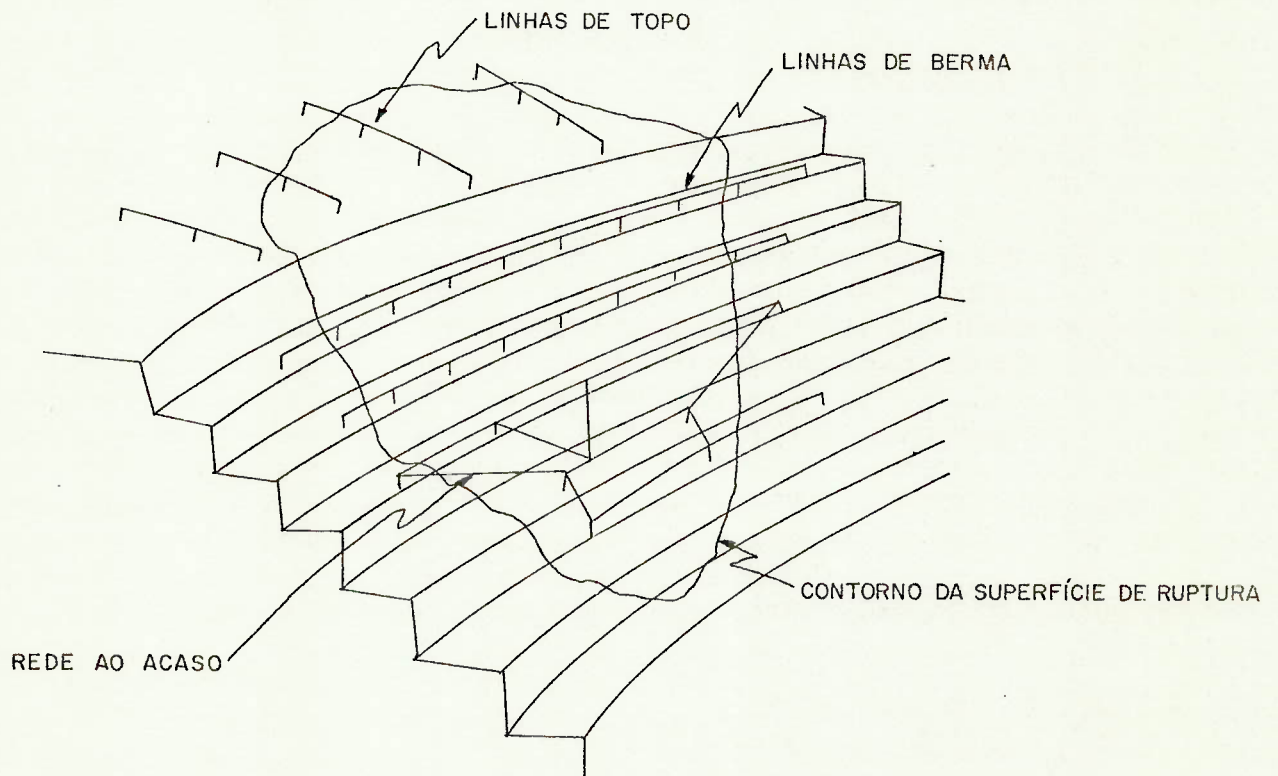


Fig. 6 - SISTEMAS GEODÉSICOS PARA A AUSCULTAÇÃO DE TALUDES (KENNEDY, 1971)

rede de marcos topográficos, com um afastamento máximo entre nós de aproximadamente 30 m, e com pelo menos três linhas sobre a área de escorregamento. Observa ainda que as linhas da rede devem ser perpendiculares entre si, para facilitar as operações topográficas e que o sistema é geralmente orientado com uma das linhas paralelas à direção provável do escorregamento.

A rede topográfica deve sempre ser estabelecida de modo a se poder determinar o deslocamento dos marcos superficiais em duas direções horizontais (triangulação) e uma terceira vertical (nivelamento).

#### V.1.1.2 - Estações de Observação

As estações de observação são constituídas, preferencialmente, por pilares de concreto armado localizados sobre afloramentos rochosos ou, então, suficientemente profundos, para serem considerados soldários ao maciço. Na Fig.7 é apresentado um esquema para a instalação destas estações, que devem permitir a livre movimentação do observador em sua volta, sem implicar em eventuais riscos de perturbação ao instrumento. É recomendável pintar estas estações de branco, para reduzir o aquecimento assimétrico pelos raios solares ou, enão, usar uma proteção contra insolação direta.

Sobre o pilar, é fixado um prato de aço inoxidável ou o próprio prato de fixação do instrumento. Este prato deve ser tal que, de uma operação para outra, permita praticamente o mesmo posicionamento do instrumento, seja ele um teodolito, um nível ou um distanciômetro eletro-ótico. Estes pratos são, em regra, fornecidos pelo próprio fabricante do aparelho. Particularmente conveniente, é o sistema de auto-centralização fabricado pela Kern, que permite uma precisão de 0,03 mm na centralização do instrumento.

Apesar de se procurar estabelecer as estações fixas de visada sobre regiões do maciço, as mais estáveis possíveis, pode acontecer que uma ou mais destas estações apresentem algum deslocamento entre duas operações sucessivas. As causas podem ser:

- acidental (acidentes locais, lançamento de fragmentos de rocha



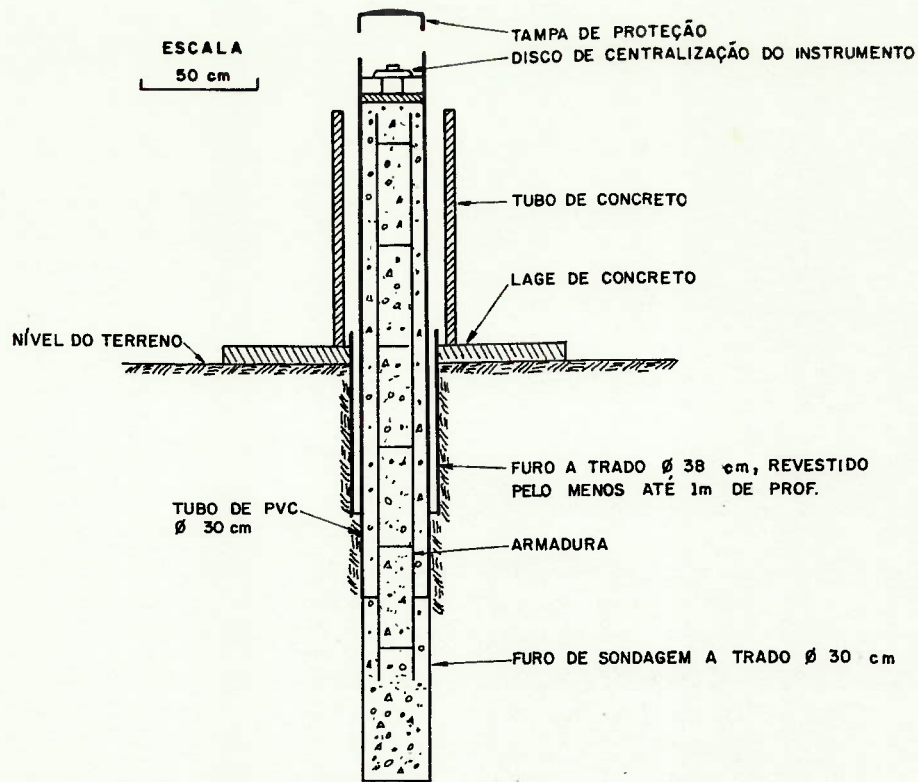


Fig.7 - ESQUEMA DE INSTALAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE OBSERVAÇÃO (BURLAND e MOORE, 1973)



Fig. 8 - DETALHE DE UM MARCO DE VISADA FIXADO DIRETAMENTE A FACE DE UM TALUDE.



Fig.9 - MARCO DE VISADA DA KERN PARA DISTÂNCIAS DE 20 a 1.000 m.

durante os desmontes, etc)

- sistemática (como por exemplo aquelas que são causadas por variações do nível do lençol freático)
- devido a escorregamentos ou movimentações lentas ("creep") na superfície do talude, ou em regiões de maciço de baixa qualidade.

Desta forma, é essencial que, em cada operação e para cada estação, seja efetuada uma verificação de sua estabilidade, para possibilitar eventuais correções nos cálculos dos deslocamentos. Sugere-se, para tal, que de cada uma das estações sejam efetuadas visadas a miras suficientemente afastadas da área da escavação, fixadas diretamente sobre o maciço rochoso.

#### V.1.1.3 - Marcos de Visada

Os marcos de visada poderão ser constituídos por miras especiais, localizadas sobre bases de concreto, em tudo semelhantes às estações de observação, ou miras fixadas diretamente na rocha, sobre a face do talude (vide Fig. 8).

Na Figura 9 pode-se observar uma mira da Kern, que permite visadas desde 20 m até 1 km de distância. A excentricidade do eixo vertical de simetria em relação ao "plug" cilíndrico de autocentralização é de  $\pm 0,3$  a  $0,4$  mm.

Para observações noturnas, particularmente adequadas para nossas condições climáticas, em que as temperaturas durante o dia são excessivamente elevadas, pode-se dispor de miras de visada com iluminação elétrica.

Para o estabelecimento de pontos de visada na superfície da rocha, deve-se dispor de referência com 3 a 4 cm. de diâmetro para distâncias de 200 a 300 m. Miras para visadas à distância de 1 km ou mais, devem ter diâmetros de 80 cm.

#### V.1.1.4 - Triangulações

O método geodésico tradicional opera basicamente por triangulações. Baseia-se na utilização de instrumentos precisos de topografia, especialmente teodolitos, que instalados sobre estações de observação (algumas das quais consideradas fixas em primeira aproximação) permitem a determinação das coordenadas dos marcos de visadas, em relação a um sistema fixo de coordenadas.

A determinação em cada operação das coordenadas X, Y e Z, a partir dos quais são determinados os deslocamentos relativos  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ , envolve, em regra, extensos e laboriosos cálculos que podem e devem ser tratados através de computadores eletrônicos.

Na Tabela I, são apresentadas as principais características de alguns teodolitos utilizados em instrumentações geodésicas. Destacam-se, como máis precisos, os teodolitos Kern DKM 3 e Wild T 3.

A precisão habitualmente encontrada na determinação de deslocamentos é da ordem de  $\pm 1$  mm.

Deve-se procurar, ao locar as estações de observação, ter em mente que, quanto mais elevado o número de interseções (preferivelmente curtas), mais elevada será a precisão obtida. Visadas longas devem sempre ser evitadas.

#### V.1.1.5 - Nivelamentos

Enquanto as componentes  $\Delta X$  e  $\Delta Y$  dos deslocamentos são determinadas através do processo de triangulação, a componente  $\Delta Z$ , o é através de nivelamentos.

Os nivelamentos podem ser classificados em indiretos e diretos. Os primeiros utilizam por instrumento de leitura o teodolito (pivotado em relação a um eixo horizontal) e são bem menos precisos que os nivelamentos diretos, principalmente porque os ângulos verticais medidos com um teodolito apresentam a metade da precisão dos ângulos horizontais.

Os nivelamentos diretos são realizados com os níveis, ao longo de extensões horizontais. Para nivelamentos de precisão utilizam-se os níveis de precisão e miras de nivelamento de Invar, com um erro médio da ordem de  $\pm 1$  mm para distâncias de aproximadamente 1 km.

#### V.1.1.6 - A Medição Precisa de Distâncias

O método das poligonais e os nivelamentos envolvem tanto a medição de ângulos, quanto a de distâncias. Numa operação de nivelamento, - por exemplo, determina-se a distância zenital Z, que a linha de visada forma com a horizontal, e o comprimento da linha de visada, para que, através da expressão:

$$h = l \cdot \text{tg } Z$$

seja determinada a variação de nível h, entre o eixo de rotação do teodolito e o ponto de visada.

A determinação precisa de distâncias é realizada utilizando-se ou fio, ou trena de aço Invar, mantidos tensionados por um peso padrão durante a realização das leituras. Na Figura 10 pode-se observar um dos dispositivos utilizados para o tensionamento do fio Invar, sobre uma estação de observação. O diâmetro do fio é em regra de 1 mm e o peso de 10 kg (distâncias até 50 m) a 20 kg (distâncias até 100 m). Para distâncias até 100 m e com tempo calmo (ausência de vento, etc.) as leituras são bastante precisas, apresentando um erro médio  $\pm 0,1$  mm.

A utilização de trenas faz-se preferida para trabalhos não sujeitos à radiação solar, vento e chuva, pelo fato de serem de manuseio mais fácil que os fios e de possuírem graduações gravadas diretamente sobre a trena.

#### V.1.1.7 - Distanciômetros Eletro-Óticos

Nos últimos anos, o método convencional de triangulação, usando teodolitos, tem sido de certa forma substituído pelo método de trilateção com os distanciômetros eletro-óuticos. Esta afirmativa é parti

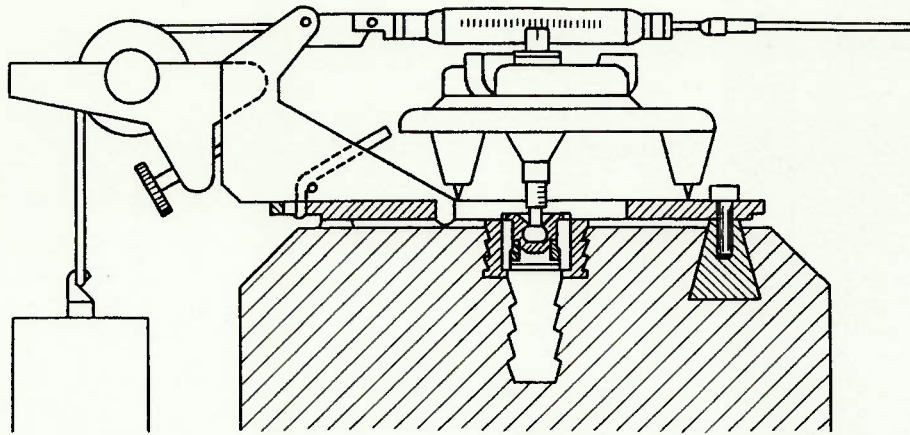


Fig. 10 - DISPOSITIVO UTILIZADO PARA O TENSIONAMENTO DO FIO INVAR EM MEDIÇÕES PRECISAS DE DISTÂNCIAS

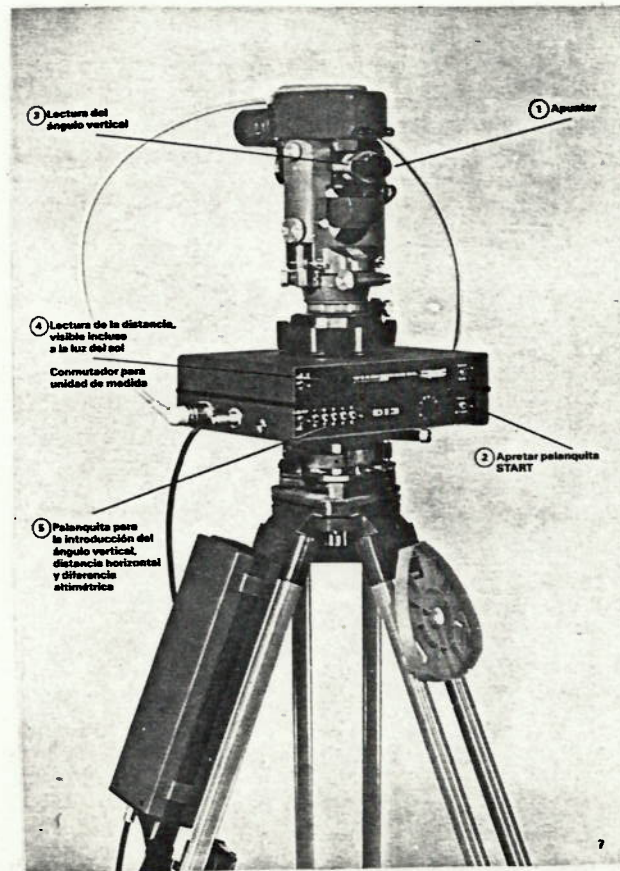


Fig 11- DISTANCIÔMETRO ELETRO-ÓTICO "WILD D13"

cularmente válida para a observação de obras de grande vulto, como as minas a céu aberto, por exemplo.

Estes dispositivos (Fig.11) utilizam geralmente um feixe de luz infra-vermelho, projetado sobre uma mira refletora fixada à superfície da rocha. A determinação da distância é processada por um computador incorporado ao aparelho que calcula a distância horizontal e a diferença de nível, depois de introduzido o ângulo vertical.

As miras, constituídas por refletores óticos de prismas, são de preferência fixadas permanentemente ao maciço rochoso e podem representar um item oneroso do processo.

Os distanciômetros eletro-óticos fornecem um meio confiável e econômico para a medição precisa de grandes distâncias (vide Tabela II).

Watt (1971) enfatiza o real significado da qualidade das medições com os distanciômetros, ao mesmo tempo que fornece um meio para se julgar sobre as características de outros tipos de instrumentos geodésicos. Watt comenta também que os distanciômetros Tellurometer Modlite MA 100 e Mekometer Mk III, têm sido os únicos instrumentos adequados para a medição precisa de distâncias em lavras a céu aberto. A precisão obtida tem sido de + 1,5 a 2 mm sobre distâncias de 100 a 2.000 metros. Esta é, entretanto, limitada pelas condições atmosféricas, exigindo correções devido às variações de pressão e temperatura, particularmente para grandes distâncias de observação.

Em virtude da precisão dos distanciômetros eletro-óticos depender basicamente das condições atmosféricas, um dos grandes incovenientes, que se opõem à utilização deste tipo de instrumentação, é que durante épocas muito chuvosas, durante as quais faz-se particularmente importante a observação "pari passu" das condições de estabilidade do talude, a sua utilização fica seriamente prejudicada. Por outro lado, trata-se de um instrumental de inestimáveis qualidades, principalmente sobre observações a grandes distâncias, que é o caso corrente em lavras a céu aberto. Desta forma, o que se recomenda é a associação deste método de instrumentação com outros que não sofram muita interferência das condições ambientais.

Antes do encerramento deste ítem, sobre os métodos de instrumentação geodésica, observa-se que existem ainda outros processos e técnicas que poderiam ser aqui incluídos. Foram, entretanto, mantidos fora do escopo deste trabalho, em virtude de se tratar de métodos de uso pouco frequente, ou de aplicação restrita a problemas muito específicos.

#### V.1.2 - Fotogrametria

A fotogrametria, utilizada também para o mapeamento estrutural da superfície de taludes e no controle do planejamento de lavras, tem sido utilizada com sucesso cada vez maior na observação do deslocamento de pontos superficiais de taludes. Apesar de constituir um método de observação menos preciso que os levantamentos geodésicos e que a medição eletrônica de distância, apresenta a grande vantagem de cobrir, numa única visada, uma superfície muito mais extensa que aquela abrangida por um marco superficial de visada.

A fotogrametria constitui um método particularmente valioso para taludes praticamente inacessíveis, porque não exige instrumentos instalados na superfície ou em furos de sondagem, além de não interferir com os processos construtivos.

O método consiste em - utilizando-se, por exemplo, um fototeodolito (Fig.13), equipamento que consiste simplesmente em um teodolito dotado de uma câmara fotográfica entre os círculos superiores e inferiores - tirar uma sequência de fotos da face do talude, de tal modo que duas fotos consecutivas apresentem certa sobreposição (em geral de 60%), conforme ilustra a Fig. 12. Duas fotos (consecutivas) assim tiradas, com a câmara localizada sempre sobre as mesmas estações de observação, permitem a determinação das coordenadas de pontos à superfície do talude, quando examinadas através de estero-comparadores.

Para observações à curta distância, pode-se recorrer às câmaras estereoscópicas Wild C-40 e Wild C-120 (Fig.14), para distâncias entre 1 e 10 m e entre 5 e 30 m, respectivamente.

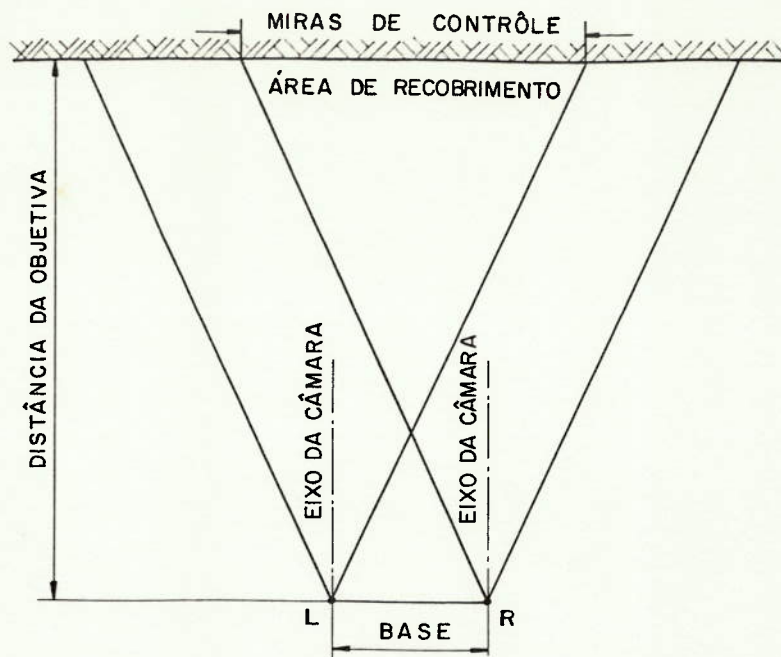


Fig. 12 - ILUSTRAÇÃO DO ESQUEMA UTILIZADO NO CAMPO PARA E  
OBTENÇÃO DE PARES ESTEREOSCÓPICOS DE FOTOS.  
(HOEK, 1974)

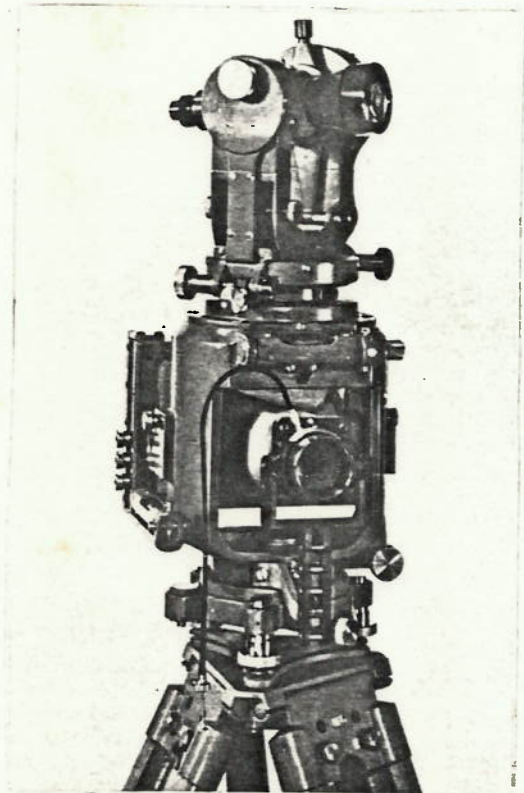


Fig. 13 - FOTOTEODOLITO  
"WILD P30"



Fig. 14- CÂMARA ESTEREOSCÓPICA "WILD  
C120" PARA DISTANCIAS ENTRE  
5 e 30 m.



Quanto à precisão do processo, Hoek e Bray (1974) comentam que a determinação das coordenadas X, Y e Z dos pontos de observação pode ser feita com uma precisão de 1 parte em 5.000 da distância média da objetiva. Isto significa que um ponto fotografado de uma distância de 100 metros poderá ser determinado com uma precisão de  $\pm 2$  cm. Franklin e Denton (1973) citam que para distâncias de 100 m, a precisão pode ser de 2 cm no plano de fotografia e menos que 3 cm na direção perpendicular.

As medições fotogramétricas usualmente requerem um controle topográfico para estabelecer as coordenadas de certo número de pontos localizados sobre a superfície a ser fotografada. Entretanto se interessar apenas os deslocamentos relativos e não as posições absolutas, este controle poderá ser dispensado.

#### V.1.3 - Extensômetros de Superfície

Engloba-se, neste ítem, uma vasta gama de dispositivos utilizados na observação de deslocamentos superficiais em taludes. Estes dispositivos são normalmente instalados sobre o topo do talude ou sobre as bermas, quando já se possui alguma informação sobre as regiões instáveis do talude. A determinação destas regiões é processada por métodos que permitem a observação da movimentação do talude sobre extensas áreas, tais como aqueles abordados nos ítems V.1.1 e V.1.2.

Após a delimitação das zonas potencialmente instáveis, o passo seguinte seria a auscultação das várias diaclases e juntas do maciço rochoso, próximas à periferia destas zonas. Para tal, um dos processos mais práticos e expeditos é o método das lâminas de vidro ("Glass Plate Method"). Consiste primeiramente na limpeza superficial e pintura de todas as juntas localizadas na faixa em estudo, após o que lâminas de vidro são coladas através de cada uma destas juntas, usando-se por exemplo, resina epoxi.

A inspeção diária ou a intervalos frequentes, registrando-se todas as lâminas quebradas, a extensão da trinca e o aparecimento de novas fissuras no maciço, possibilita a delimitação exata da região instável do maciço e a constatação das juntas ao longo das quais es

tão ocorrendo os maiores movimentos. São estas pois, as juntas que servirão de base para a observação das condições de estabilidade do talude e sobre as quais deverão ser instalados os dispositivos abordados a seguir, com o objetivo de detectar a intensidade e a direção dos deslocamentos do maciço rochoso.

#### V.1.3.1 - Medidores de Junta

Serão estudados neste ítem os extensômetros e demais dispositivos utilizados para observar os deslocamentos ao longo de uma única junta. São instrumentos que possuem, em regra, base de leitura de alguns decímetros, até 3 metros (vide Tabela III).

Poderiam ser agrupados em dois sub-ítem, a saber, os fixos e os portáteis. Os primeiros são dispositivos que ficam instalados, permanentemente sobre a superfície do talude, exigindo proteção contra eventuais danos. Os portáteis são instalados apenas por ocasião das leituras, apresentando a vantagem de permitir leituras sobre inúmeras bases, o que geralmente reduz bastante o custo da instrumentação.

Um dos dispositivos mais simples e fáceis de serem instalados e operados, é constituído por duas estacas metálicas, geralmente feitas de barras de armadura ( $\phi$  1") fixadas ao maciço, uma de cada lado da junta. São geralmente espaçadas de 50 cm ou mais, ficando salientes apenas alguns centímetros da superfície do maciço. A leitura da distância entre as estacas pode ser realizada com uma trena metálica ou com um paquímetro especial, como o ilustrado na Figura 15.

A Interfels desenvolveu para a observação superficial de juntas, o fissurômetro (Fig. 16). É constituído por uma haste metálica com uma das extremidades fixada a uma estaca metálica (solidária a um dos blocos) e cuja outra extremidade transmite o movimento ao dispositivo de leitura, que é fixado na segunda estaca (solidária ao outro bloco). A leitura é realizada com um relógio comparador com sensibilidade de 0,01 mm e campo de leitura de 100 mm. O fissurômetro pode ser ligado a uma sistema de alarme, de tal forma que, tão logo o deslocamento medido ultrapasse um valor pré-estabelecido, o alarme

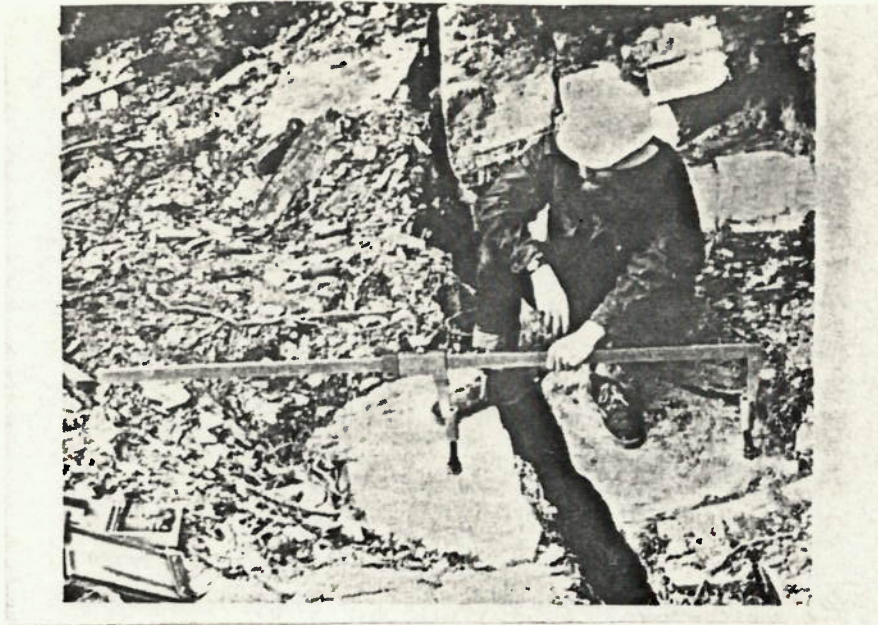


Fig.15 - PAQUÍMETRO DE GRANDES DIMENSÕES UTILIZADO NA OBSERVAÇÃO DE MOVIMENTAÇÃO DE JUNTAS EM MACIÇO ROCHOSOS. (HOEK e BRAY, 1974)

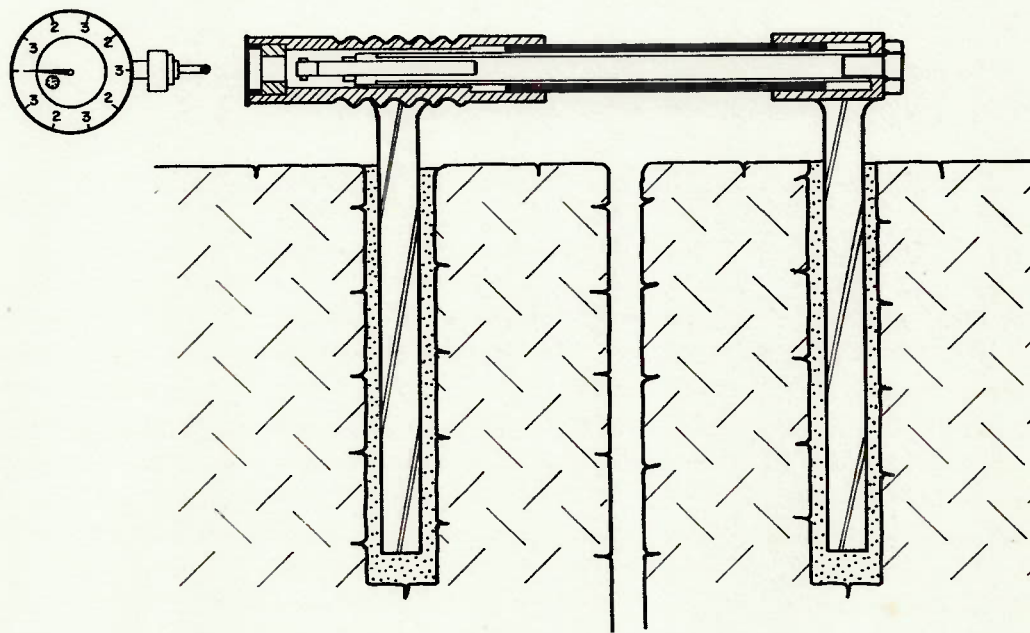


Fig.16 - ILUSTRAÇÃO DO FISSURÔMETRO TIPO INTERFELS

é acionado automaticamente (Fig. 17) ou pode ser associado em série ao longo da superfície de um talude, conforme ilustrado na Fig. 18, constituindo o que se denomina por cadeia extensométrica.

Outro dispositivo utilizado na observação do movimento de juntas, é o alongâmetro (Fig. 19). Foi desenvolvido inicialmente, para a observação de deslocamentos ao longo das juntas de construção de barragens de concreto, mas serve perfeitamente para a observação de juntas em maciços rochosos. É constituído basicamente por um extensômetro mecânico que não dispõe de ligação à estrutura cuja deformação se pretende medir. Esta ligação é efetuada pelo operador quando executa a leitura, quando então o alongâmetro se apoia sobre bases metálicas especiais, chumbadas ao maciço.

As disposições das bases, em relação à junta, podem ser as indicadas na Figura 21, que nos dão quer o deslocamento de abertura ou fechamento da junta, quer o deslocamento cisalhamento. A disposição I é, entretanto, preferível. Em qualquer das disposições se constata que a observação dos movimentos da junta é realizada através das variações de comprimento dos lados de um triângulo equilátero cujos vértices são materializados pelas bases do alongâmetro.

Designando-se por  $\Delta X$  e  $\Delta Y$ , respectivamente a abertura e o deslizamento da junta entre duas épocas e por  $(\Delta \bar{1}, \Delta \bar{2}$  e  $\Delta \bar{3})$  as variações de comprimento dos lados  $(\bar{1}, \bar{2}$  e  $\bar{3})$  do triângulo, medidas entre as mesmas épocas, teremos as seguintes expressões para o cálculo dos deslocamentos da junta:

$$\text{Disposição I} \left\{ \begin{array}{l} \Delta X = \Delta \bar{3} \\ \Delta Y = \frac{2}{\sqrt{3}} \left( \frac{\Delta \bar{3}}{2} - \Delta \bar{1} \right) \end{array} \right.$$

$$\text{Disposição II} \left\{ \begin{array}{l} \Delta X = \frac{1}{\sqrt{3}} (\Delta \bar{1} + \Delta \bar{2}) \\ \Delta Y = \Delta \bar{1} - \Delta \bar{2} \end{array} \right.$$

Por se tratar de instrumentos extremamente sensíveis e de limitado campo de leitura (5 mm), os alongâmetros são mais indicados para a

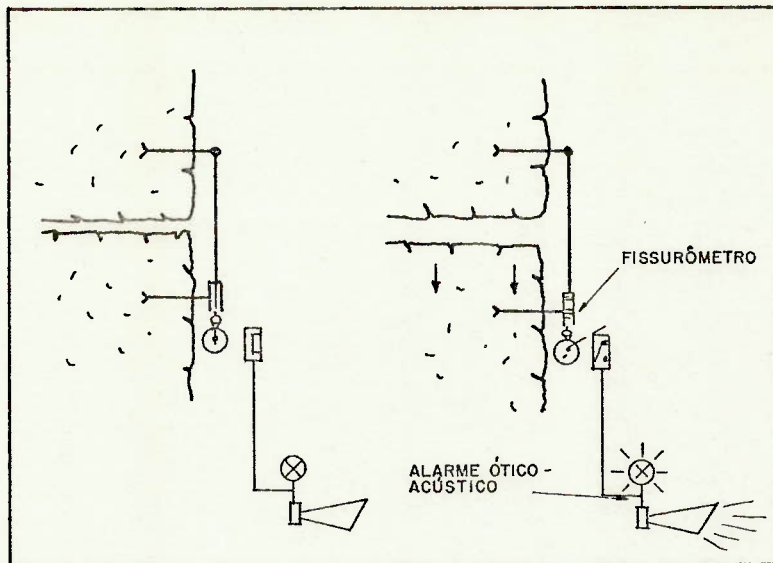


Fig.17 - ESQUEMA ILUSTRANDO E ASSOCIAÇÃO DE UM FISSURÔMETRO A UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALARME.

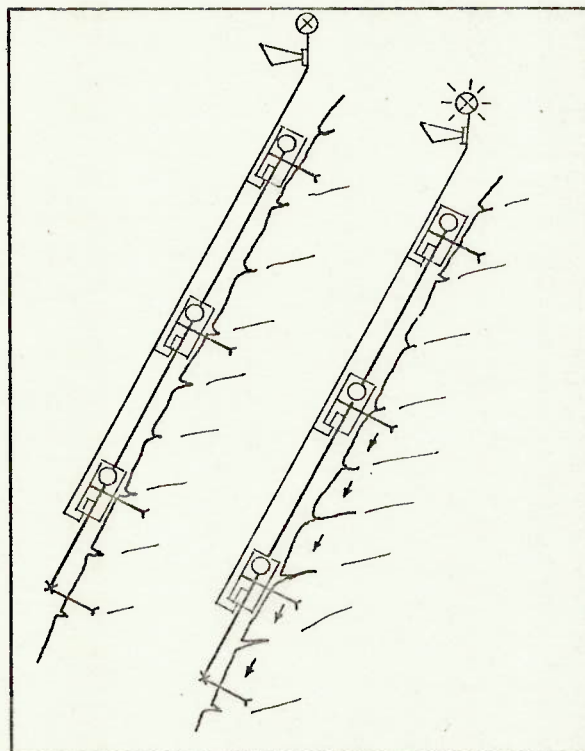


Fig.18 - ESQUEMA ILUSTRANDO E ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE DE VÁRIOS FISSURÔMETROS AO LONGO DA SUPERFÍCIE DE UM TALUDE.

Precision set-extensometer for construction and civil engineering

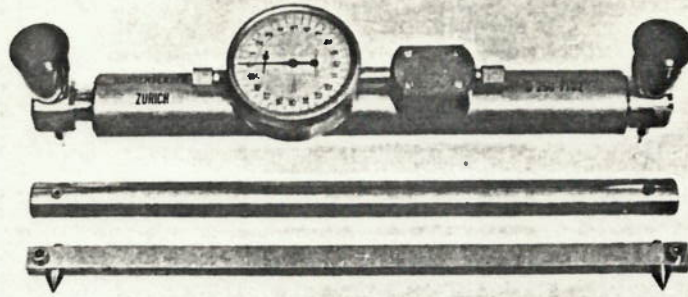


Fig. 1 Deformeter, invar test bar and punch bar

Fig.19 - ALONGÂMETRO TIPO HUGGENBERGER

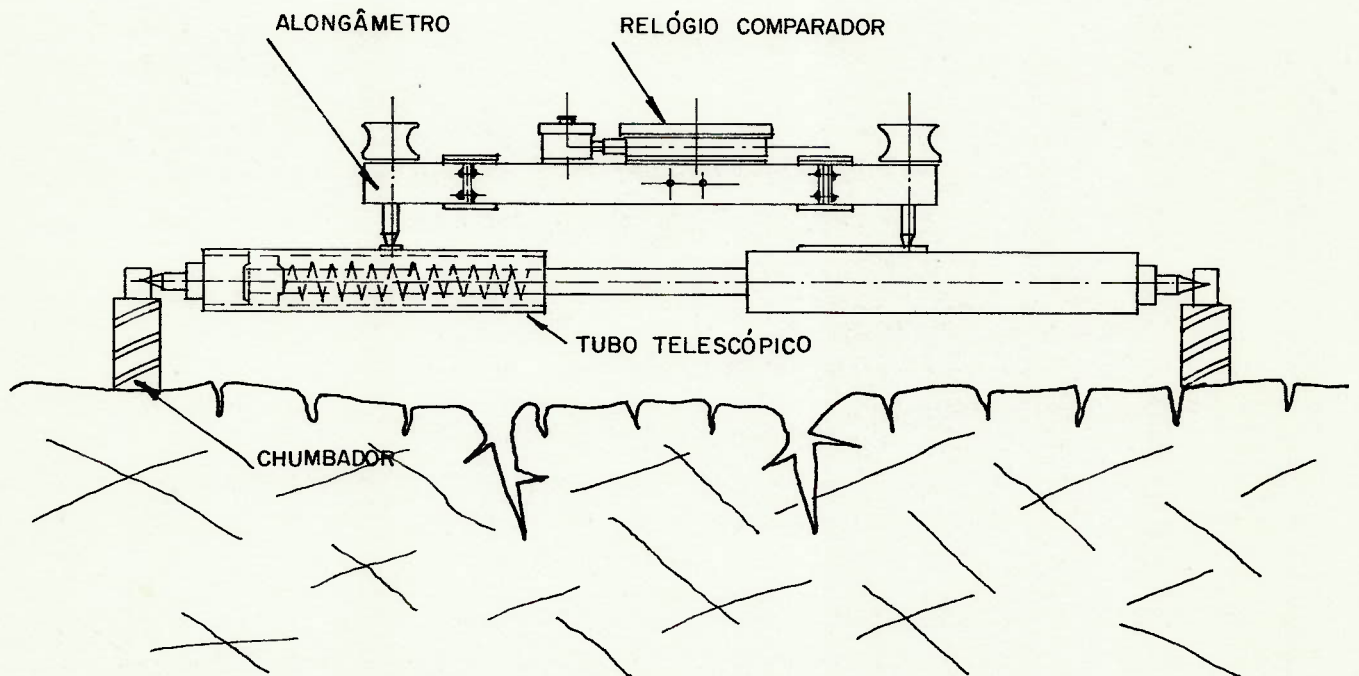
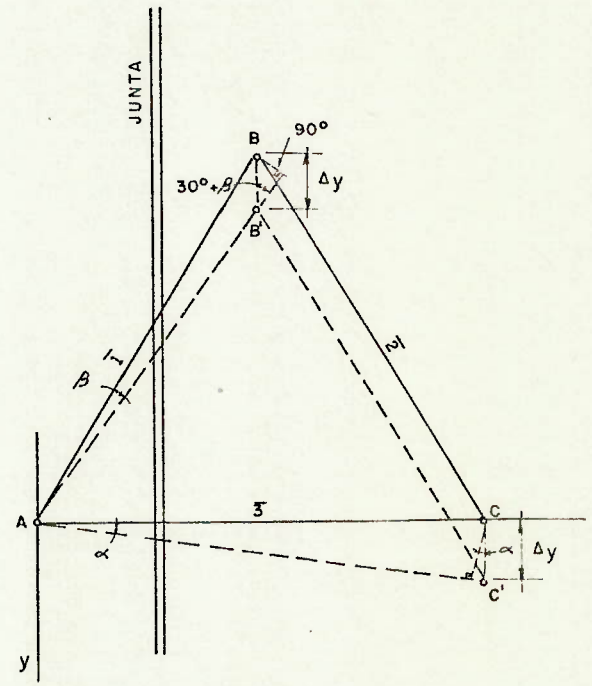
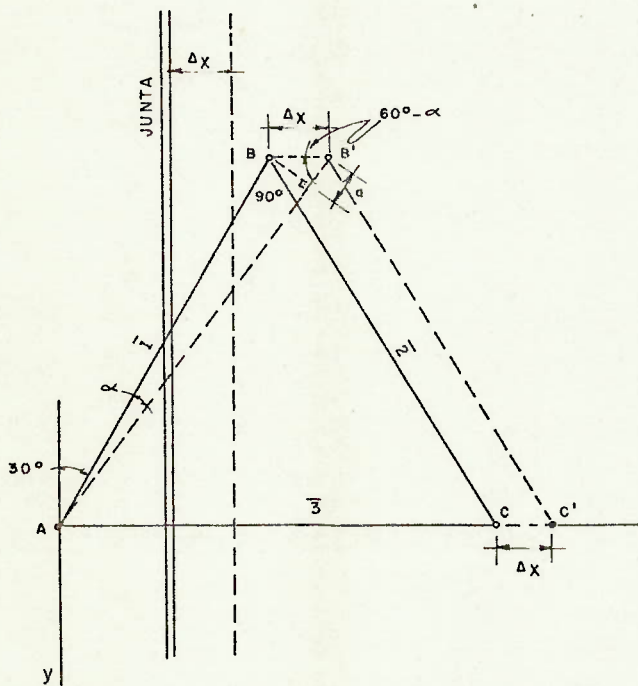
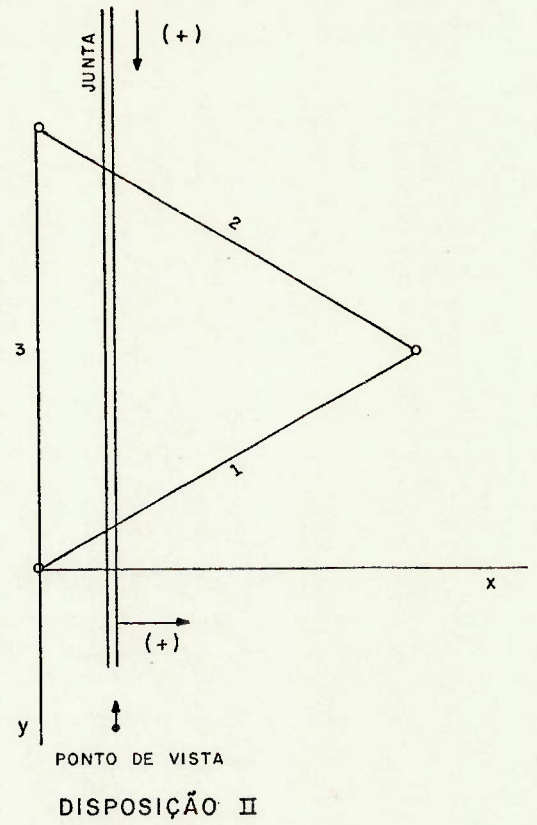
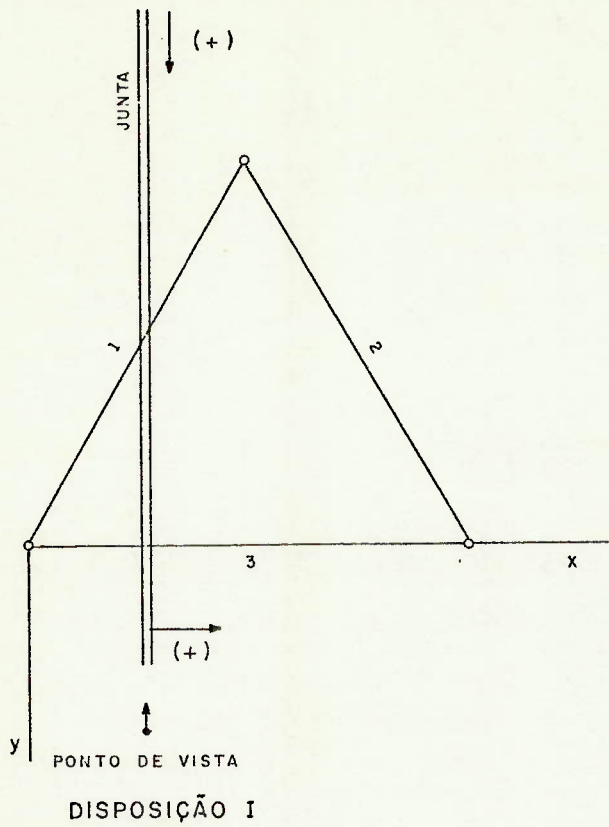


Fig.20 - ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DO MEDIDOR TELESCÓPICO DE JUNTAS TIPO INTERFELS. ("TELESCOPE DEFORMETER")



DISPOSIÇÃO I: REPERCUSSÃO DE UMA ABERTURA E DE UM DESLIZAMENTO POSITIVO NA VARIAÇÃO DE COMPRIMENTO DOS LADOS.

Fig. 21 - DISPOSIÇÕES USUAIS DE INSTALAÇÃO DAS BASES DE ALONGÂMETRO COM VISTA A DETERMINAÇÃO DO MOVIMENTO DE JUNTAS.

observação de juntas na fase inicial da movimentação do talude, quando os deslocamentos são ainda de pequena intensidade.

A base de leitura dos alongômetros varia geralmente entre 200 e 500 mm de comprimento. É possível, entretanto, a utilização do alongômetro sobre bases de até 1200 mm, através da associação deste com um sistema de tubos telescópicos. Na Figura 20 ilustra-se esquematicamente o "Telescope Deformeter" da Interfels, que apresenta um campo de leitura de 100 mm (podendo ser ampliado para 180 mm) e precisão de 0,05 mm.

Nas Figuras 22 e 23 são apresentados dois outros tipos de medidores de junta. São constituídos basicamente por duas peças metálicas, fixadas uma de cada lado da junta e com geometria apropriada, de tal modo, a possibilitar a medição dos deslocamentos da junta em duas ou três direções. A leitura é efetuada com um relógio comparador ou paquímetro. Este último dispositivo (Fig. 23), conhecido por Medidor Triortogonal, foi desenvolvido pela Seção de Minas e Geologia Aplicada do IPT, permitindo medir além dos movimentos de abertura ou fechamento da junta, os deslocamentos cisalhantes segundo duas direções ortogonais entre si. A precisão das leituras é da ordem de 0,01 mm e o campo de leitura, utilizando-se paquímetro, é condicionado às dimensões do aparelho.

#### V.1.3.2 - Extensômetros de Superfícies de Grande Base

Enquanto os medidores de junta são dispositivos que observam especificamente o comportamento de uma única junta, os extensômetros de superfície de grande base, medem os deslocamentos superficiais do talude sobre extensões de vários metros, ou mesmo de algumas dezenas de metros. São constituídos geralmente por um fio ou uma trena de aço Invar, mantidos tensionados por um sistema de peso ou mola, durante a realização das leituras. São dispositivos de certa forma semelhantes aqueles já abordados no ítem V.1.1.6, apresentando entretanto, algumas simplificações em virtude de não se necessitar de tanta precisão, como nos processos geodésicos.

Na Figura 24, ilustra-se um dos tipos de extensômetros de grande ba



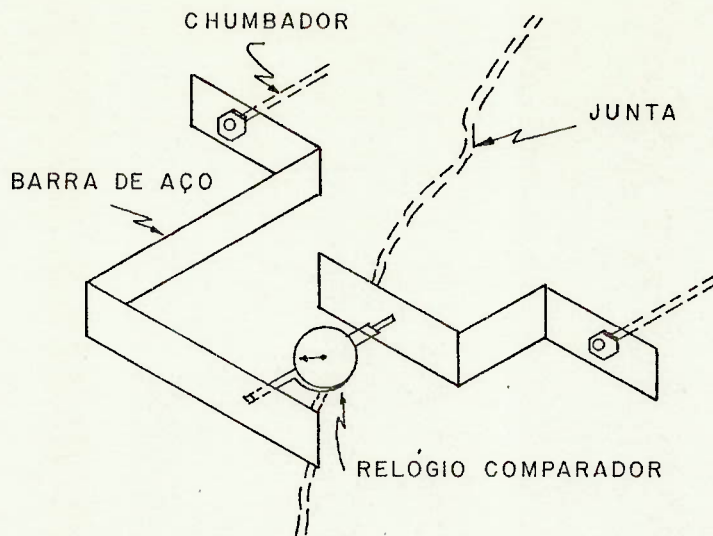


Fig. 22 - MEDIDOR DE JUNTA UTILIZADO NA MINA DE CHUQUICAMATA, CHILE (KENNEDY, 1.971)

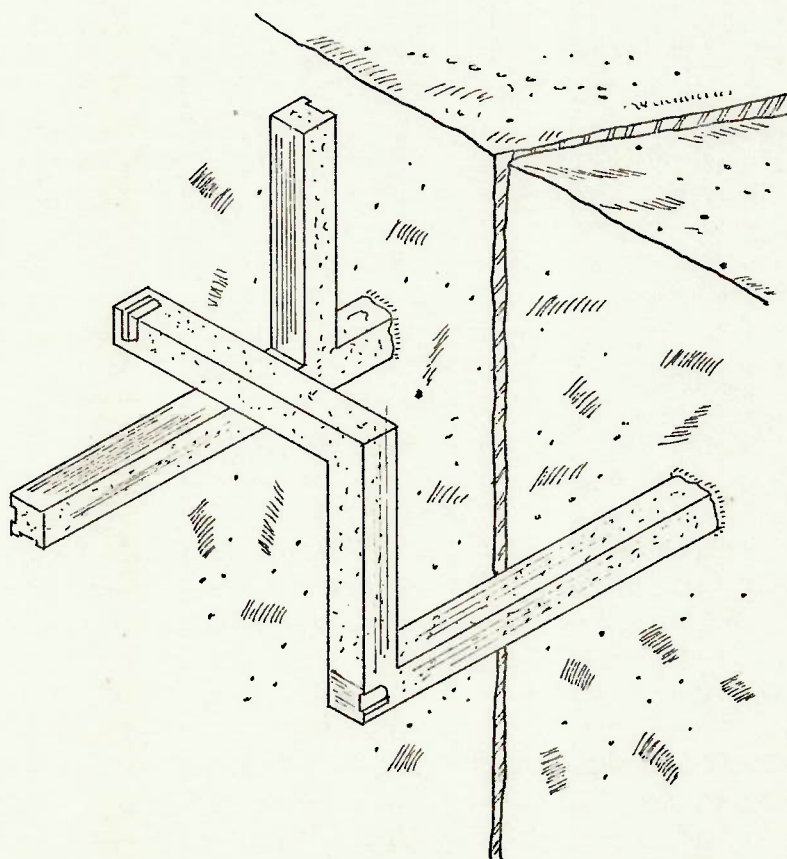


Fig. 23 - MEDIDOR TRIORTOGONAL DE JUNTAS, DESENVOLVIDO PELA DIVISÃO DE MINAS E GEOLOGIA APLICADA DO I.P.T.

se, desenvolvido pela Interfels, no qual o tensionamento do fio é feito através de um dispositivo de peso e roldana, fixado na face lateral do talude. Pode ser instalado em extensões de até 100 m, sobre a superfície do talude, mas eventualmente, podem ser instalados vários pontos de leitura, entre os pontos de fixação e de tensionamento do fio. Apresenta sensibilidade de 0,1 a 1 mm (depende do comprimento do fio) e campo de leitura praticamente ilimitado.

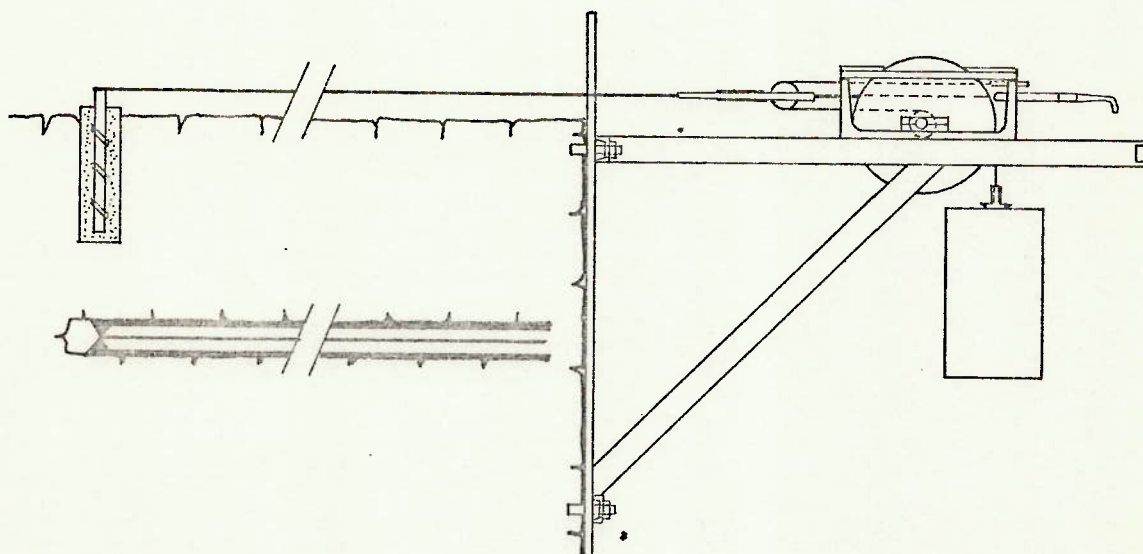


Fig. 24 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM EXTENSÔMETRO DE SUPERFÍCIE (CATÁLOGO INTERFELS)

Outro tipo de extensômetro de grande base é ilustrado na Figura 25. É conhecido por Medidor de Convergência, pois foi inicialmente concebido para a medição de convergência em túneis. É constituído por um fio, ou uma trena de aço Invar, que durante a realização das leituras é fixado, pelas extremidades, à bases de leitura (solidárias ao maciço) e mantido tensionado, por uma tensão constante, através de um dinamômetro. Na Figura 26 apresenta-se o esquema da insta

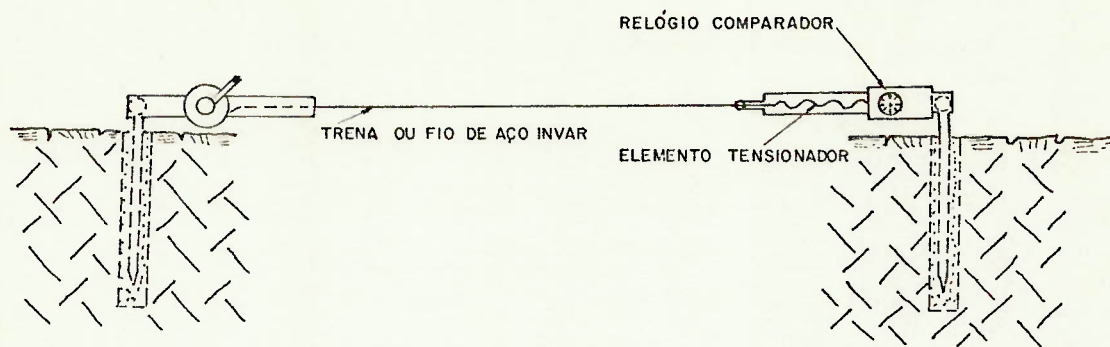


Fig. 25 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM MEDIDOR DE CONVERGÊNCIA

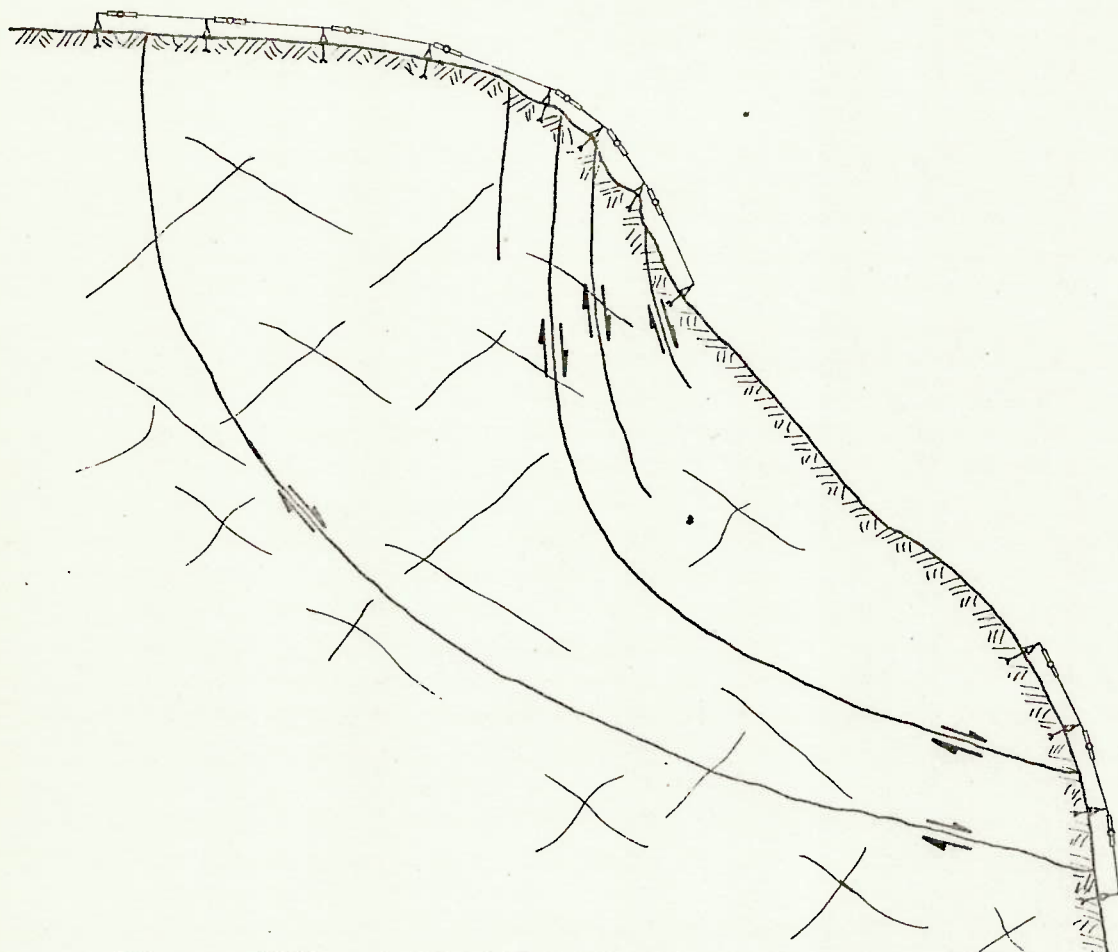


Fig. 26 - ESQUEMA DE INSTALAÇÃO DE MEDIDORES DE CONVERGÊNCIA AO LONGO DA SUPERFÍCIE DE UM TALUDE.

lação destes medidores sobre a superfície de um talude, onde a distância entre as bases de leitura pode ser de até 30 metros. A sensibilidade das leituras é função do comprimento de medida, sendo  $1 \times 10^{-5}$ . L, isto é, para um comprimento de 10 m entre as bases de leitura, a sensibilidade é de 0,1 mm.

Apesar de não se tratar de um extensômetro, mas apenas um dispositivo de alarme, ilustra-se na Figura 27 o sistema utilizado pelo Departamento de Geofísica da Anaconda Co., na mina de Chuquicamata, Chile. O dispositivo é constituído basicamente por dois fios em paralelo, tensionados por molas e dotados de um sistema de resistência elétrica, de tal modo que, tão logo o movimento entre os pontos de leitura ultrapasse um valor pré-estabelecido, o circuito elétrico é fechado, fazendo soar um alarme. (Kennedy, 1971).

Quando a superfície do talude é curva, os extensômetros de grande base são instalados com um sistema de roldanas, tal como ilustrado na Figura 28.

Na Tabela IV apresenta-se uma relação das características técnicas dos principais extensômetros de superfície de grande base.

#### V.1.4 - Indicadores de Movimento (de blocos superficiais)

São dispositivos instalados à superfície do talude para alertar sobre a movimentação excessiva, ou provável queda de blocos superficiais. Na Figura 29, está ilustrado um indicador de movimento, em que a movimentação excessiva do bloco de rocha provoca a queda de um peso. Trata-se de um dispositivo extremamente simples, robusto, de baixo custo, e que dispensa operações de leitura, sendo por isso particularmente recomendado para locais perigosos e de difícil acesso.

Os indicadores de movimento podem também ser operados eletricamente. Neste caso são geralmente associados a um sistema de alarme ótico - acústico, tal como o ilustrado na Figura 30.

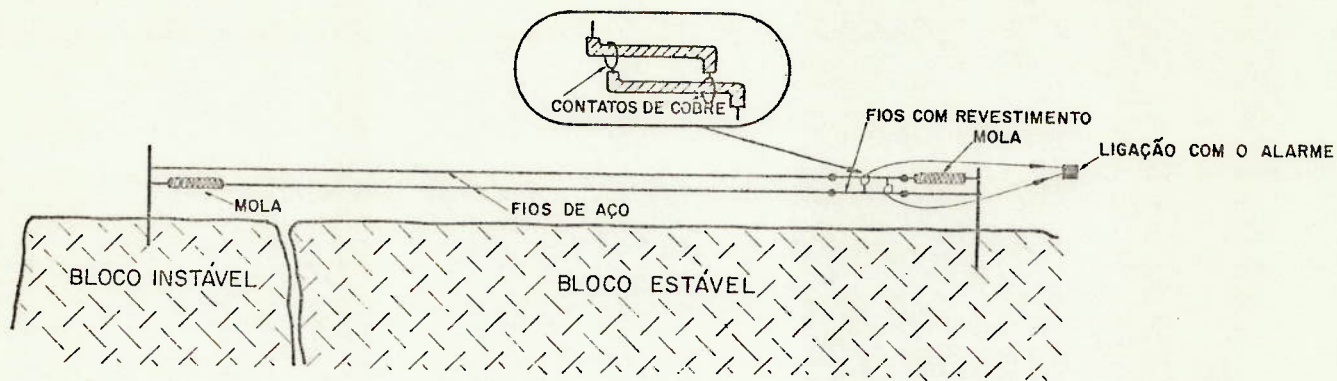


Fig.27- SISTEMA DE FIOS DESLIZANTES UTILIZADO NA MINA DE CHUQUICAMATA (KENNEDY, 1971)

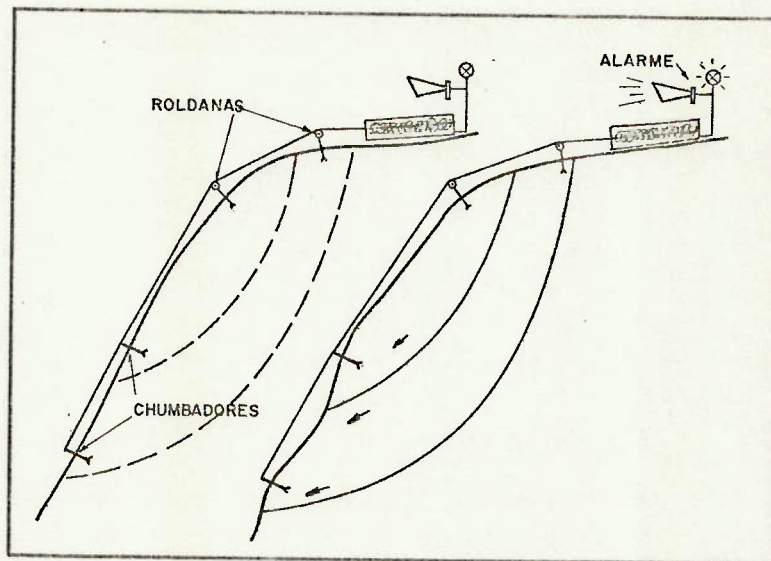


Fig.28 - ESQUEMA DE INSTALAÇÃO DE UM EXTENSÔMETRO DE SUPERFÍCIE EM TALUDE COM SUPERFÍCIE CURVA. (INTERFELS)

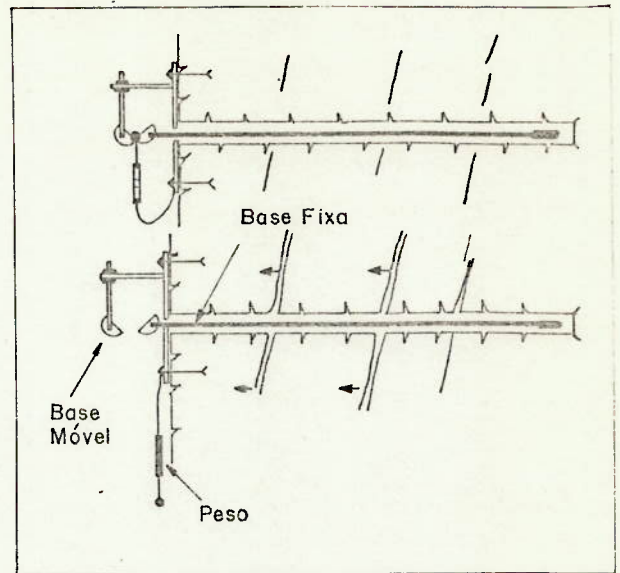
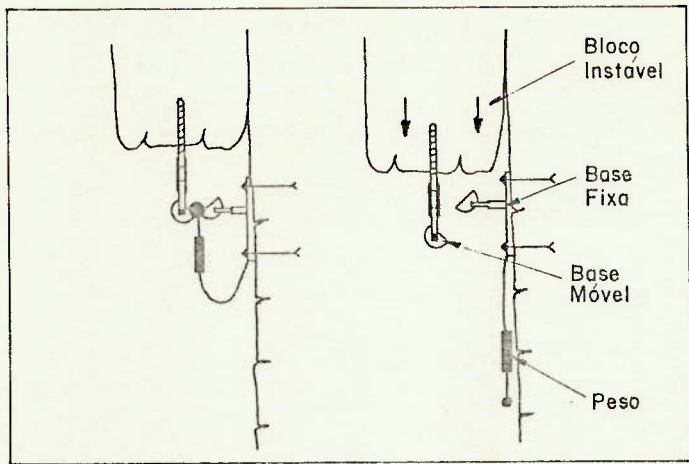


Fig.29 ESQUEMAS ILUSTRANDO O FUNCIONAMENTO DO INDICADOR DE MOVIMENTO TIPO INTERFELS

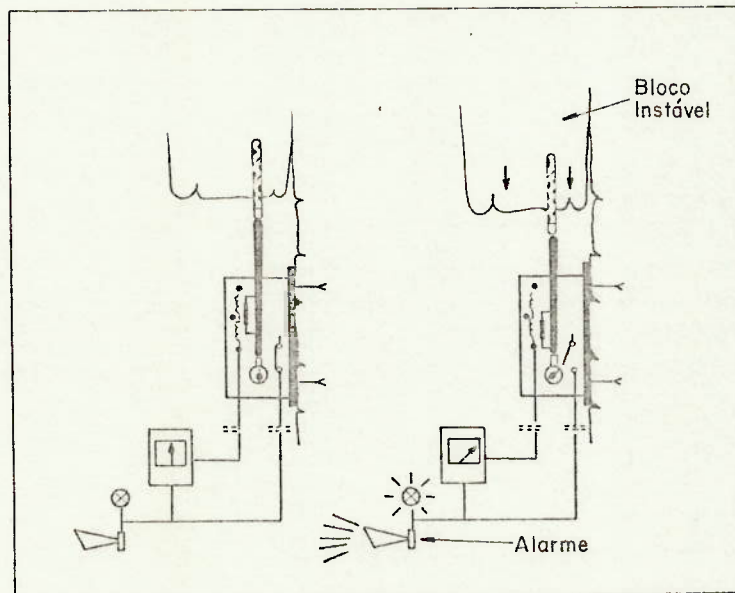


Fig.30 INDICADOR DE MOVIMENTO ASSOCIADO A UM SISTEMA DE ALARME (INTERFELS)

## V.2 - A Observação de Deslocamentos em Sub-Superfície

A observação dos deslocamentos de um talude em sub-superfície tem por objetivos fundamentais localizar as juntas ao longo das quais estão ocorrendo os deslocamentos cisalhante, localizar as regiões que estão sendo comprimidas ou tracionadas e verificar a profundidade da porção instável do maciço. Desta forma ter-se-á elementos para delimitar racionalmente a profundidade do sistema de contenção, tais como atirantamentos, e avaliar qual o volume de rocha envolvida numa provável ruptura.

Os instrumentos utilizados, na observação dos deslocamentos ou de formações do maciço em sub-superfície, são instalados em furos de sondagem rotativa, podendo eventualmente ser instalados a partir de poços ou galerias de prospecção e/ou drenagem do maciço rochoso. A instalação destes instrumentos em taludes que já estão apresentando movimentos pode se tornar extremamente complicada, em virtude do grau de dificuldade, ou mesmo impossibilidade de perfuração de sondagens através das juntas ao longo das quais estão ocorrendo os deslocamentos.

A instrumentação utilizada é geralmente de operação mais sofisticada e é mais onerosa que a instrumentação de superfície. Apresenta entretanto, a vantagem de não estar sujeita à ação de movimentos superficiais secundários ("creep", por exemplo) que nada tem a ver com a estabilidade do talude, de fornecer informações preciosas que vem complementar os dados obtidos em superfícies, e de estar mais protegida de danificações e das variações ambientais de temperatura.

### V.2.1 - Extensômetros Múltiplos

Os extensômetros múltiplos são instrumentos instalados em furos de sondagem e que detectam os deslocamentos axiais relativos entre várias ancoragens fixadas a diferentes profundidades. São constituídos por uma série de fios de aço ou de hastes metálicas, que transmitem os deslocamentos das ancoragens à cabeça do extensômetro (Fig. 31). A leitura pode ser realizada mecanicamente, através de relógios comparadores, ou eletricamente, através de transdutores de cor

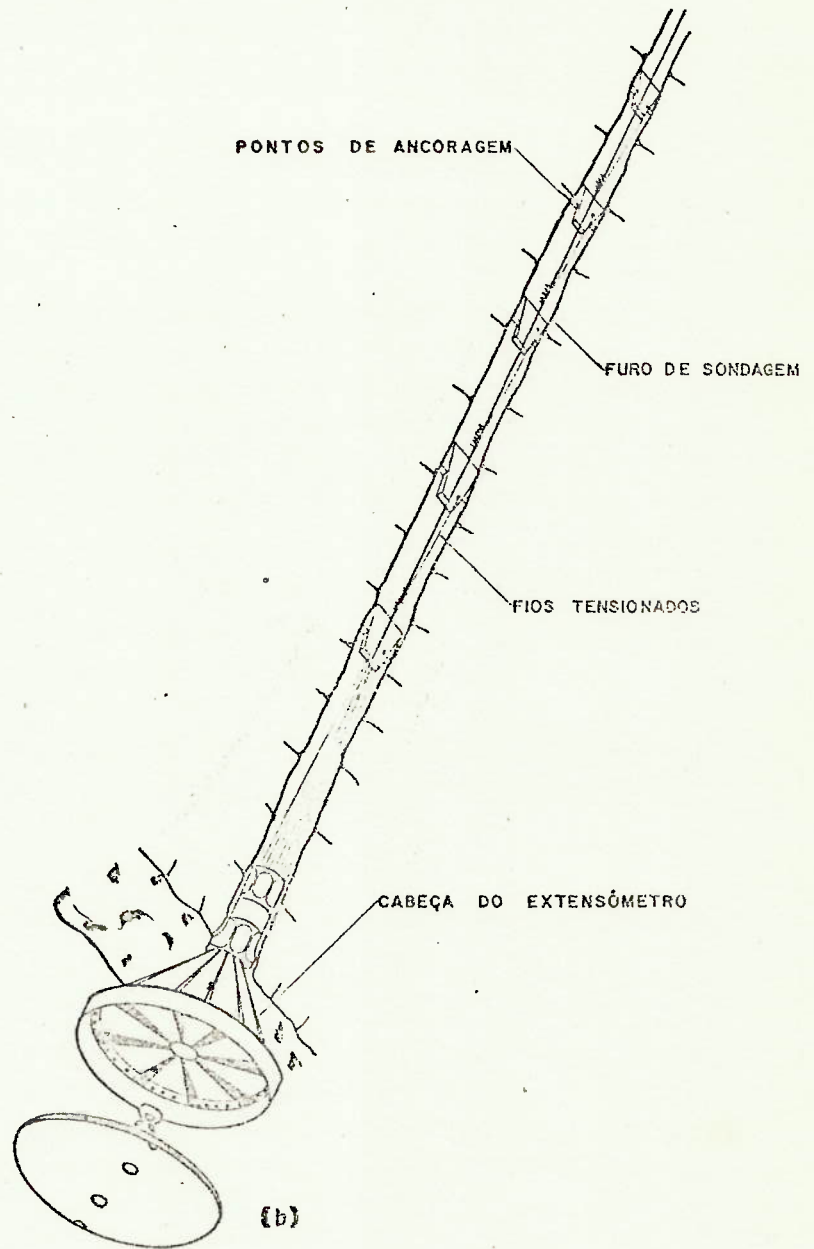
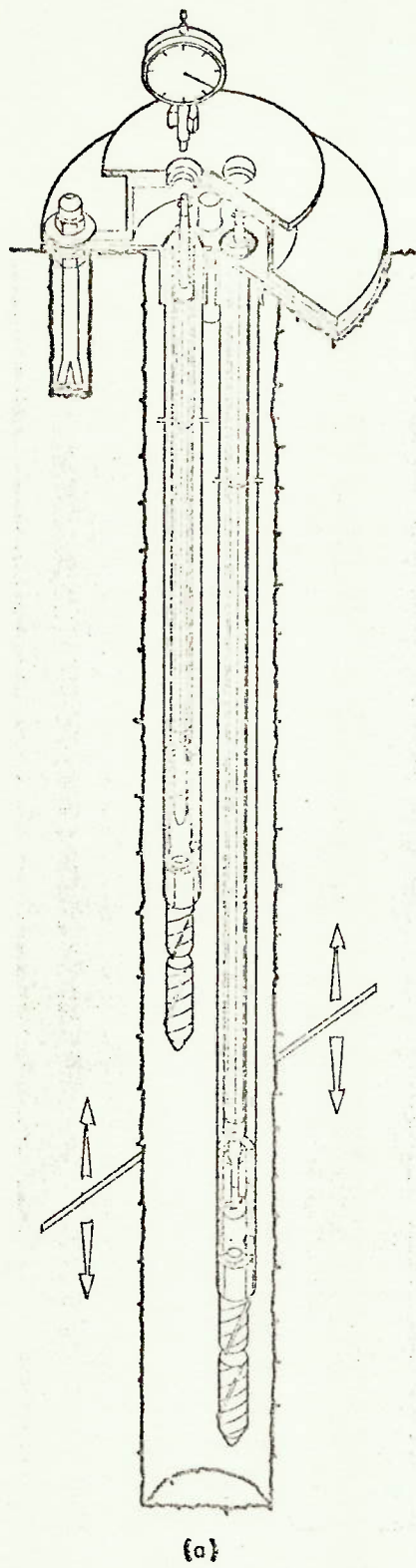


Fig. 31- ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DOS EXTENSÔMETROS MÚLTIPLOS DE HASTES (a) E DE FIOS (b)



da vibrante ou de resistência elétrica. (vide Tabelas V e VI).

Dentre as principais características dos dois tipos de extensômetros, destacam-se:

a. Extensômetro Múltiplo de Fios

- tempo de instalação relativamente curto
- possibilidade de instalação de até oito fios em uma sondagem NX
- pode ser instalado sem dificuldades em furos orientados verticalmente para cima
- exige calibração em laboratório ou "in situ"
- apresenta uma acentuado histerese em furos longos
- instalação impraticável em maciços rochosos muito alterados ou fraturados.

b. Extensômetro Múltiplo de Hastes

- operação mais simples, pois não há necessidade de calibração
- grande robustez, mesmo quando sujeito a vibrações
- alguns modelos permitem a recuperação e reutilização das hastes de leitura
- pode ser instalado em maciços rochosos alterados e/ou fraturados.
- apresenta um processo de instalação mais sofisticado e demorado, sendo grande a dificuldade de sua instalação em furos verticais ou inclinados para cima.
- necessidade de sondagens de grande diâmetro para a instalação de um elevado número de hastes
- problema de instalação em furos de sondagem com artesianismo.

Em resumo, pode-se afirmar que os extensômetros múltiplos de hastes são mais precisos, mais robustos e de operação mais simples, perdendo apenas para os extensômetros de fios quando a instalação deve ser realizada em furos verticais ou sub verticais orientados para cima.

Um dos problemas, que é normalmente levantado quando se discute a

utilização destes extensômetros à superfície do maciço, é saber qual a influência das variações de temperatura sobre as deformações medidas, e como as mesmas podem ser corrigidas. Atualmente este problema já está praticamente esclarecido, conforme será visto a seguir.

Hooker e Duvall (1971), estudando os efeitos das variações ambientais de temperatura sobre as tensões medidas à superfície de maciços rochosos, verificaram em duas pedreiras de granito, que as variações diárias de temperatura são significativas até uma profundidade de 0,50 a 0,60 m e as variações anuais de temperatura são significativas até uma profundidade de 8 metros (Figuras 32 e 33). Estas profundidades podem ser consideradas válidas para praticamente todos os tipos de rocha, uma vez que suas propriedades térmicas apresentam variações pouco significativas de um tipo para outro.

Estas variações de temperatura, até cerca de 8 metros de profundidade, afetam tanto o comprimento do furo de sondagem quanto dos fios ou das hastes dos extensômetros múltiplos. Em certos casos, as variações de temperatura podem ser corrigidas pela instalação de uma ancoragem a 8 m de profundidade e subtraindo o movimento da mesma, do movimento registrado pelas outras ancoragens. Para se obter o movimento do maciço rochoso, incluindo aquele que ocorre nos 8 metros superficiais, Barron, Hedley e Coates (1971) recomendam a instalação de dois fios com diferentes coeficientes de dilatação térmica, a 8 m de profundidade. O mesmo esquema, evidentemente, poderá ser adotado para os extensômetros de hastes.

Tem-se então, para estes dois fios (ou hastes) que:

$$\Delta l_1 = L \cdot \alpha_1 \Delta t \quad (\text{I})$$

$$\Delta l_2 = L \cdot \alpha_2 \Delta t \quad (\text{II})$$

$$\Delta l_1 - \Delta l_2 = L \cdot \Delta t \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) = \delta t$$

onde  $\delta t$  representa a diferença de comprimento entre os dois fios ou hastes, consequência da variação de temperatura.

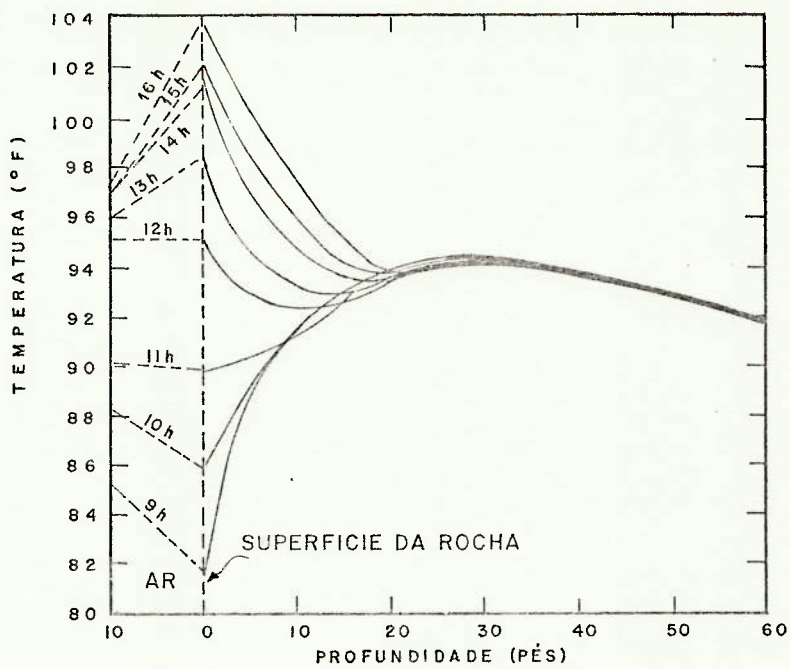


Fig. 32- VARIAÇÕES DE TEMPERATURA DA ROCHA COM A PROFUNDIDADE PARA UMA PEDREIRA DE GRANITO. (HOOKER e DUVALL, 1971)

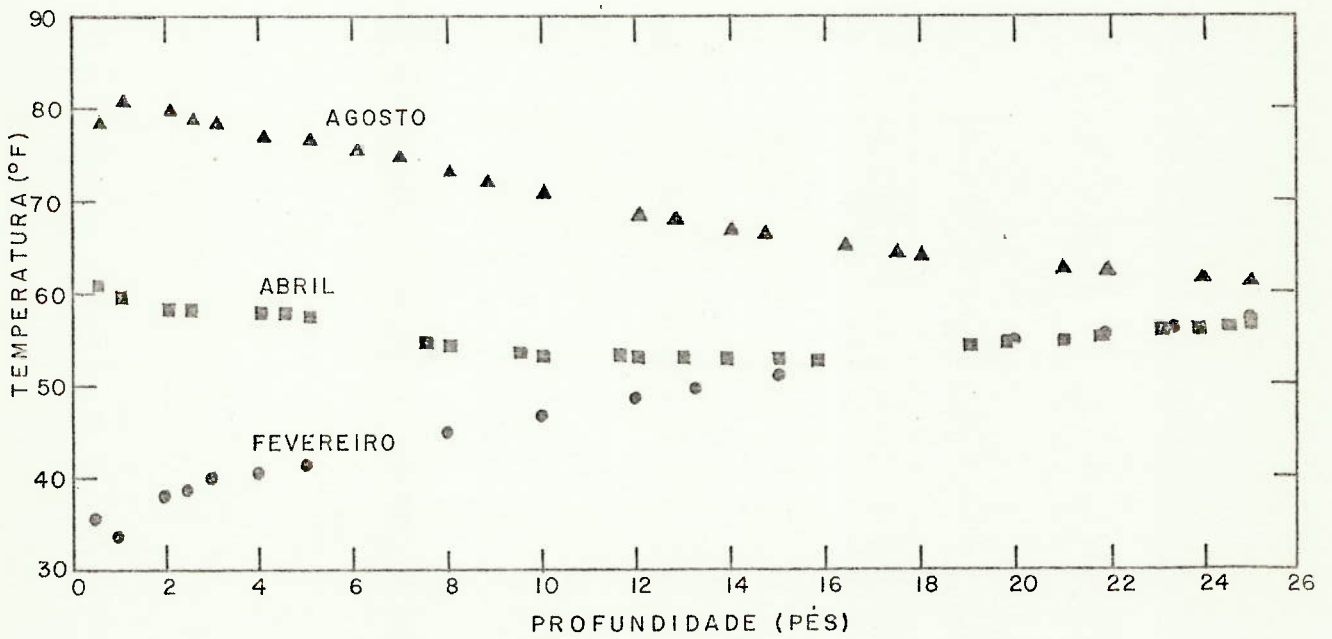


Fig. 33- MEDIDAS DE TEMPERATURA COM A PROFUNDIDADE PARA TRÊS DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO (HOOKER e DUVALL, 1971)

Tem-se pois, que:

$$\Delta t = \frac{\delta t}{L(\alpha_1 - \alpha_2)} \quad (\text{III})$$

Substituindo (III) em (I) e (II), obtem-se

$$\Delta l_1 = \delta t \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2}$$

$$\Delta l_2 = \delta t \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2}$$

No que concerne à instalação, os extensômetros múltiplos podem ser instalados com o eixo aproximadamente normal à superfície do talude, para a verificação das zonas de expansão ("swelling"), ou sub-parallelamente às juntas que estão apresentando deslocamentos cisalhantes, conforme esquema adotado por Hartmann (1967). No primeiro dos esquemas, deve-se procurar instalar estes extensômetros suficientemente profundos, para que a última das ancoragens fique instalada numa região praticamente estável do maciço. As demais ancoragens devem ser locadas em função das juntas, falhas e variações litológicas do maciço, para o que, a análise dos testemunhos de sondagem é de inestimável valor.

Os extensômetros múltiplos de hastes permitem a instalação em furos de sondagem com até 200 m de comprimento. A sensibilidade da leitura varia de 0,01 a 0,1 mm, função do comprimento, e o campo de leitura, geralmente de  $\pm$  50 mm, podendo ser ajustável.

Maiores detalhes sobre o projeto, instalação e operação destes extensômetros, poderão ser obtidos nos trabalhos de Brugman (1968), - Hedley (1969) e Silveira (1974).

#### V.2.2 - Inclínômetros

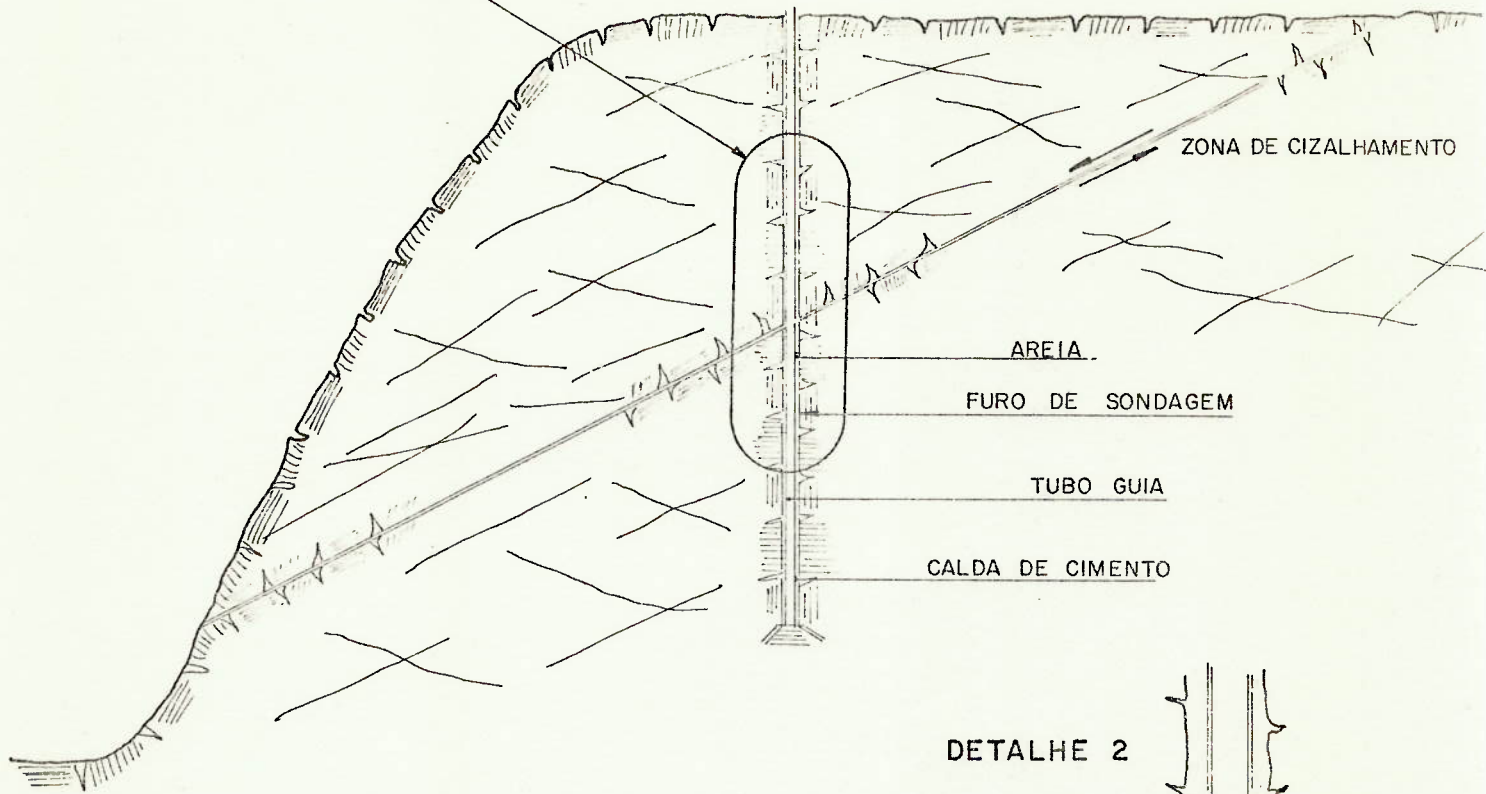
Os inclinômetros foram praticamente os primeiros instrumentos utilizados na observação dos deslocamentos de taludes em sub-superfície e constituem, ainda hoje, um dos instrumentos mais comumente empregados na instrumentação de taludes, principalmente nos Estados Uni-

dos. Tice e Sams (1974) observam que a maioria dos departamentos de estrada de rodagem, no sudeste dos Estados Unidos, tem pelo menos um inclinômetro e que seu uso está se tornando cada vez mais rotineiro.

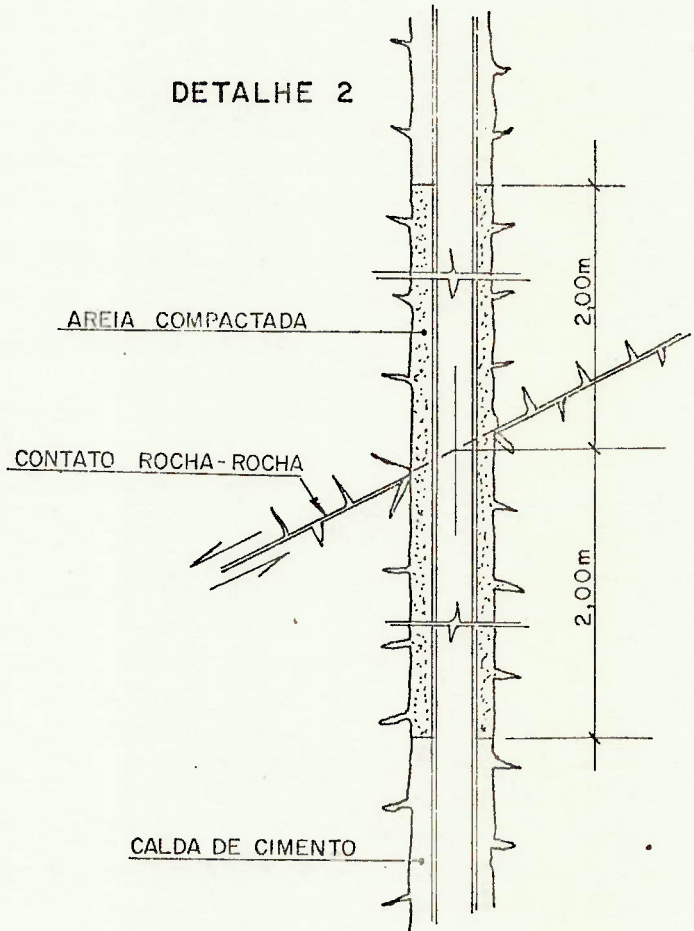
Os inclinômetros são instrumentos que instalados em furos verticais de sondagem, detectam as variações de inclinação destes furos em relação à vertical. Suas leituras podem ser convertidas, por integração, em um registro dos deslocamentos perpendiculares ao eixo da sondagem. São constituídos basicamente de um torpedo, no interior do qual está alojado um pêndulo que mede as inclinações do mesmo. O instrumento é normalmente descido numa sondagem dotada de um tubo de revestimento de alumínio ou plástico, com quatro sulcos diametralmente opostos que controlam a orientação do torpedo. As leituras são realizadas em determinados intervalos de profundidade, sempre segundo duas direções normais entre si. Deve-se, sempre, orientar uma destas direções segundo a direção do movimento esperado. O espaço anelar, entre o tubo-guia do inclinômetro e a parede do furo de sondagem, é geralmente preenchido com areia, convenientemente adensada, ou injetada com calda de cimento. A técnica de injeção não é muito recomendada, especialmente próximo às juntas, onde qualquer deslocamento cisalhante, ao longo das mesmas, poderá provocar uma deformação excessiva do tubo guia, impedindo desta forma a passagem do torpedo. Na Figura 34 ilustra-se um dos esquemas de instalação, onde se associa injeção com a colocação de areia, na proximidade das juntas.

A locação e a profundidade das sondagens para instalação do inclinômetro devem ser selecionadas com base no estudo das características geológico-geotécnicas do maciço, levando-se em consideração as direções e as magnitudes dos movimentos previstos e a natureza de outros instrumentos a serem instalados. A sondagem deve geralmente ser suficientemente profunda para garantir pelo menos 3 m do tubo guia, em uma região praticamente estável do maciço, fornecendo desta forma um referencial adequado para os deslocamentos medidos a profundidades menores. Se forem registrados movimentos nos 3 metros inferiores, deve ser assumido que a base da sondagem está ainda numa região móvel do maciço. Quando tal não pode ser evitado, deve-se pro

VIDE DETALHES 1 e 2



DETALHE 2



DETALHE 1

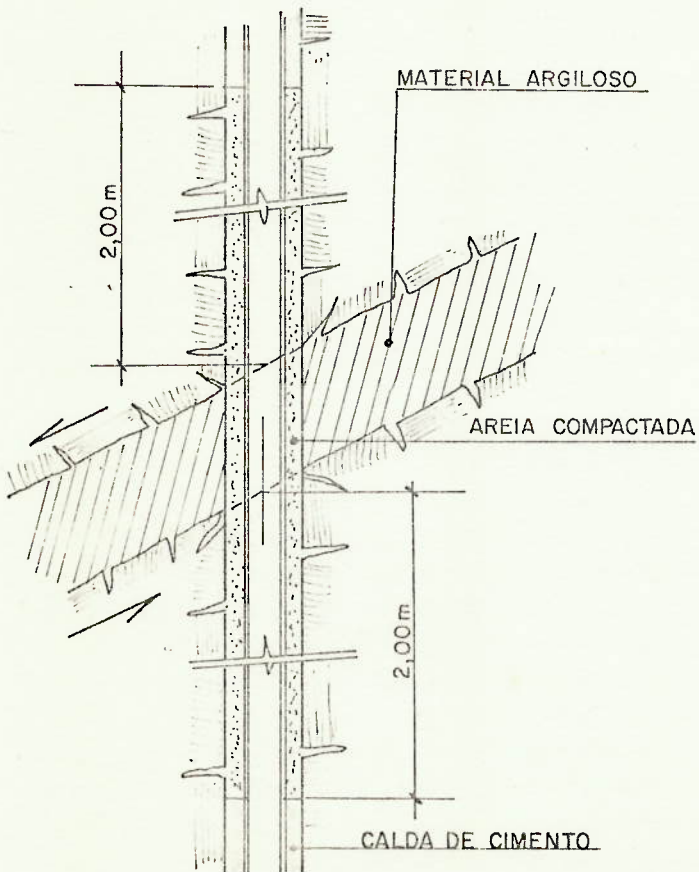


Fig. 34 - DETALHES DE INSTALAÇÃO DO TUBO GUIA DO INCLINÔMETRO ATRAVÉS DE JUNTAS

videnciar um nível de referência na parte externa do tubo guia, para ser locado através de processos topográficos. A precisão dos levantamentos topográficos deve ser melhor que  $\pm 1$  mm, para fornecer um referencial adequado para o cálculo dos valores dos deslocamentos absolutos.

A realização de leituras com o inclinômetro exige uma equipe de técnicos qualificados e experientes, devido a delicadeza dos instrumentos e a complexidade da operação. Os dados devem ser tratados manualmente ou, de preferência, com o auxílio de computadores.

A sensibilidade das leituras dos inclinômetros é em regra de 1/1000 ou 1/10.000, o que representa detectar um deslocamento transversal de 10 mm ou 1 mm respectivamente, em 10 metros de sondagem. O campo de leitura varia geralmente entre  $10^\circ$  e  $30^\circ$ . (Vide Tabela VII).

Existem vários estudos sobre o desempenho de determinados modelos de inclinômetros e estudos comparativos entre alguns destes modelos, tais como os relatados por Cornforth (1973), Green (1973), Butler (1974), Costa Filho e Gattass (1975).

Na Tabela VIII são apresentadas as principais características técnicas dos clinômetros. Estes são instrumentos que também medem deslocamentos angulares, sendo porém instalados sobre bases solidárias - ao maciço.

### V.2.3 - Defletômetros e Cadeias Defletométricas

Os defletômetros são instrumentos que instalados permanentemente em furos de sondagem, detectam deslocamentos normais ao eixo da sondagem. São instrumentos particularmente recomendados para a observação de deslocamentos cisalhantes ao longo de juntas, falhas, contatos, etc. Devem geralmente ser instalados juntos com extensômetros múltiplos, em regiões de juntas, de tal modo que, os defletômetros possibilitem o cálculo do  $k_t$  (módulo de rigidez transversal) e os extensômetros, o cálculo de  $k_n$  (módulo de rigidez normal) da junta.

São instrumentos constituídos essencialmente por uma série de has

tes metálicas, articuladas nas extremidades, ou de fios tensionados, mantidos solidários às paredes do furo de sondagem em suas extremidades, onde se alojam transdutores de deslocamento. Estes transdutores medem os deslocamentos angulares entre duas hastes (ou fios) consecutivas, permitindo desta forma a observação de deslocamentos, transversais ao eixo da sondagem (Fig. 35).

A associação de vários defletômetros, ao longo de um furo de sondagem, recebe a denominação de cadeia defletométrica, podendo ser instalada ao longo de extensões de até 60 m, com oito transdutores de deslocamento. Para distâncias de 5 metros entre as articulações, permite uma precisão de  $0,025 \pm 0,01$  mm (vide Tabela IX).

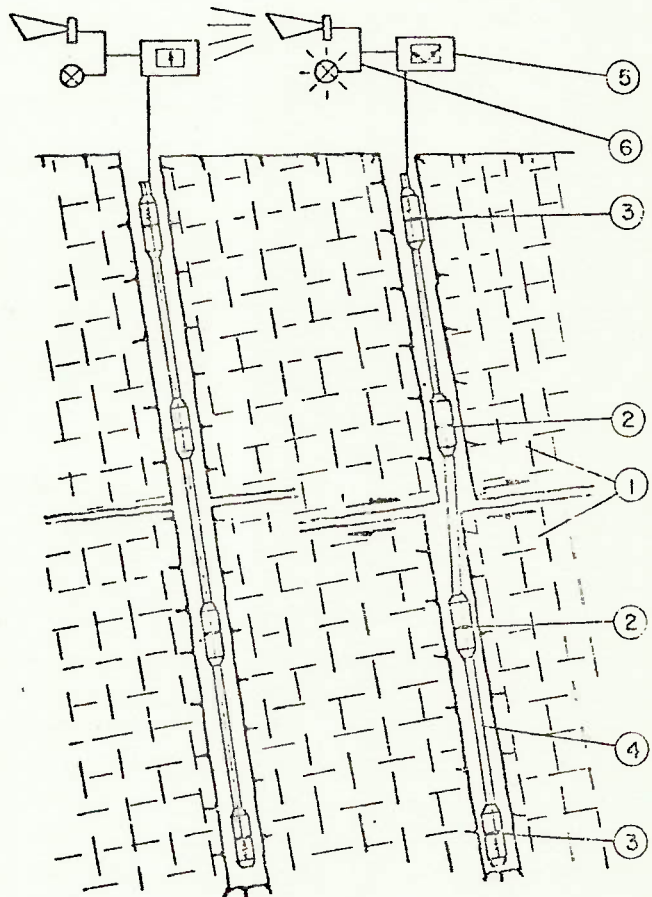
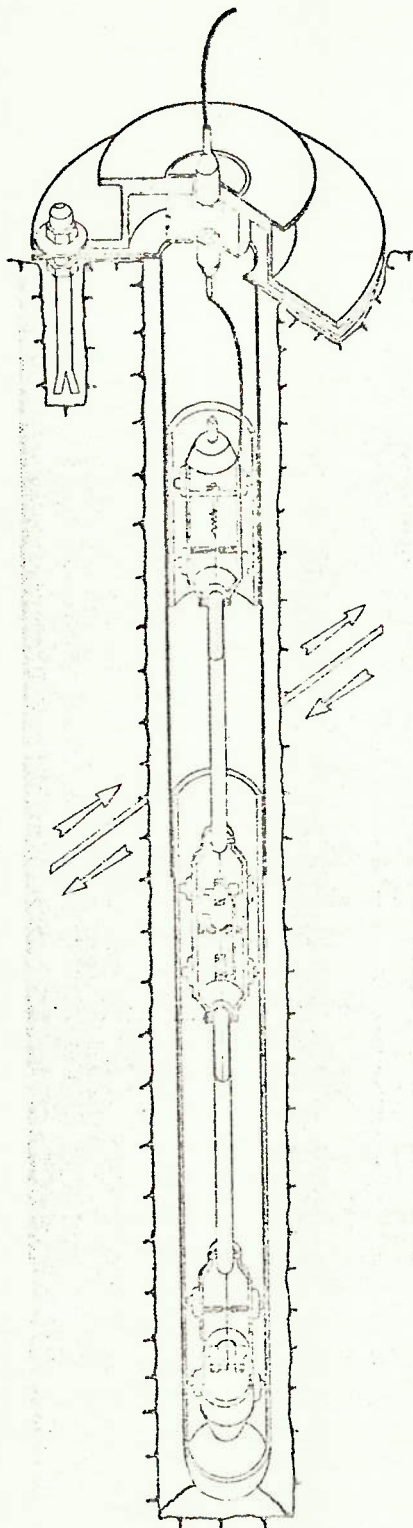
Os defletômetros são instrumentos de elevado custo de aquisição e/ou instalação. O fabricado pela Interfels, por exemplo, exige para a sua instalação sondagens de 130 mm de diâmetro. Apresentam, entretanto, em relação aos inclinômetros, a grande vantagem de não exigir um constante acesso ao local de instalação, fato que os torna especialmente recomendados para locais perigosos ou de difícil acesso.

#### V.2.4 - Fita de Cisalhamento ("Shear Strip")

O sistema de observação de movimentos cisalhantes com as fitas de cisalhamento, consiste basicamente na instalação destas fitas no interior de um furo de sondagem, de tal forma que, a ocorrência de deslocamentos de cisalhamento, ao longo de uma superfície de ruptura, provoca o seccionamento de uma ou mais destas fitas (Figura 36).

As fitas de cisalhamento são constituídas basicamente por um circuito elétrico, com uma série de resistências elétricas espaçadas de 30 centímetros entre si. A extremidade dos cabos de leitura é conectada em uma ponte de "Wheatstone", com a fita de cisalhamento atuando em um dos lados da ponte e o potenciômetro balanceador do outro. Se ocorrer uma ruptura da fita, o circuito é interrompido e forma dois circuitos de resistência separados. Podem ser instaladas até nove destas fitas em um furo de sondagem NX ( $\varnothing$  76 mm), ao longo de extensões de até 60 metros. Na Figura 36 estão ilustrados dois es





- 1- ZONA DE CISLHAMENTO
- 2- TRANSDUTOR DE DESLOCAMENTO
- 3- CABEÇA DO DEFLETÔMETRO COM SISTEMA DE TENSIONAMENTO DO FIO DE AÇO.
- 4- FIO DE AÇO DE REFERÊNCIA.
- 5- PONTE ELÉTRICA DE LEITURA.
- 6- SISTEMA DE ALARME ÓTICO E ACÚSTICO.

Fig. 35 - ESQUEMAS DO FUNCIONAMENTO DE UM DEFLETÔMETRO  
(Catálogo INTERFELS)

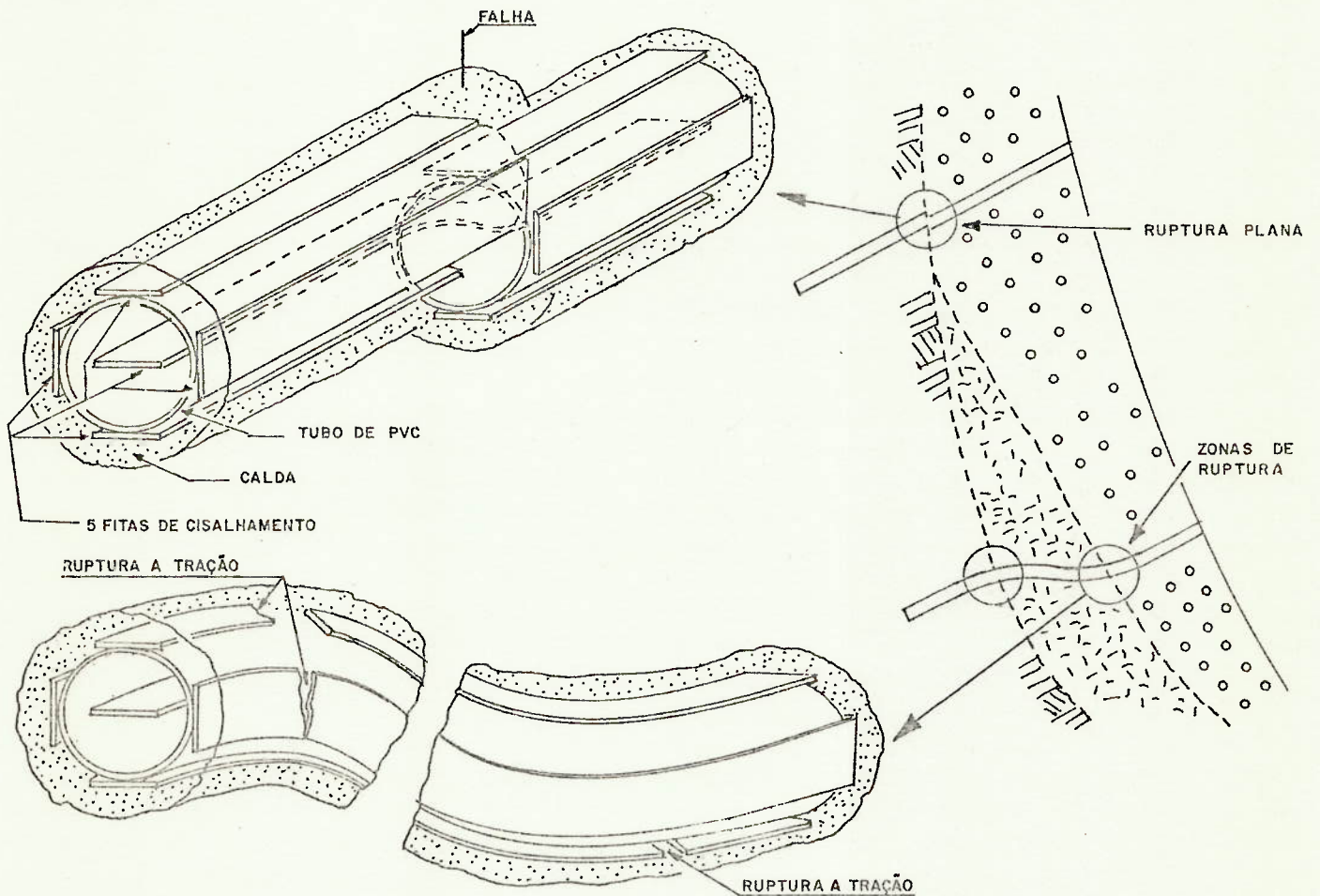
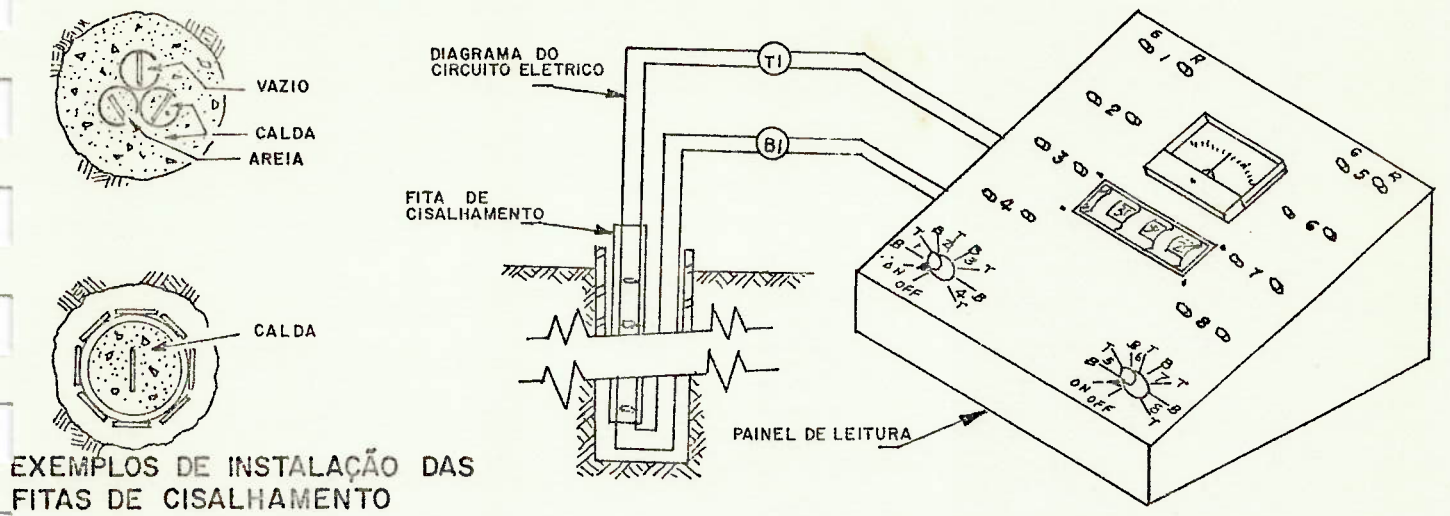


Fig.36 - ESQUEMA DE INSTALAÇÃO E FUNCIONAMENTO DAS FITAS DE CISCALHAMENTO. ("SHEAR STRIP")

quem as fitas de cisalhamento são fixadas a tubos de PVC de uma ou duas polegadas de diâmetro. Segundo o esquema de instalação, a sensibilidade destas fitas pode variar entre 3 a 50 milímetros.

A instalação das fitas de cisalhamento é de grande valia em locais perigosos e de difícil acesso, constituindo um eficiente alerta contra a iminência de rupturas. O difícil, entretanto, é prever qual a intensidade dos deslocamentos no instante da ruptura, para a seleção do esquema de instalação apropriado.

### V.3 - A Observação de Tensões em Maciços Rochosos

A observação de tensões em maciços rochosos pode ser enfocada sob dois aspectos. O primeiro deles diz respeito às tensões virgens, que compõem o estado "in natura" das tensões dos maciços rochosos. Podem ser agrupadas, quanto a sua origem, em:

- a. Tensões de origem gravitacional
- b. Tensões de origem tectônica
  - devidas aos movimentos orogenéticos
  - devidas à denudação
  - devidas aos efeitos de topografia
  - devidas à expansão das rochas
  - tensões residuais (efeitos térmicos ou químicos)

A determinação deste estado de tensões utiliza métodos de determinação de tensões absolutas, através da medição das deformações de uma determinada amostra de rocha sobre a qual se provoca um alívio completo de tensões. As tensões são então calculadas com base no conhecimento das relações entre tensão e deformação do material.

O segundo dos aspectos enfocados, diz respeito à determinação da variações do estado de tensões do maciço ao longo de um determinado intervalo de tempo. Poder-se-á empregar para a sua determinação métodos de determinação das tensões absolutas, em que as alterações das tensões são determinadas através das diferenças entre as tensões absolutas determinadas no início e no final do período conside

rado, ou então - se o material for elástico e isotrópico - empregar o princípio da sobreposição, para calcular as alterações do estado de tensões a partir das deformações que ocorrem no intervalo em apreço, utilizando as relações entre tensão e deformação do material.

O primeiro dos aspectos considerados está fora do escopo deste trabalho, uma vez que diz respeito mais à fase de prospecção do maciço rochoso. Iremos focar aqui exclusivamente a determinação de variações no estado de tensões do maciço rochoso, variações estas, provocadas essencialmente pelas perturbações introduzidas durante a escavação do maciço rochoso em minas a céu aberto.

Infelizmente, o que se tem observado no que concerne à auscultação de maciços rochosos, é que normalmente procura-se apenas medir deformações e deslocamentos, nada se realizando no campo das tensões. Este fato é uma consequência direta da maior complexidade e, talvez, do custo mais elevado da instrumentação utilizada na determinação de tensões em maciços rochosos e também, das imprecisões inerentes a muitos dos processos utilizados até algum tempo atrás. Atualmente, porém, dispõe-se de instrumentos e técnicas suficientemente precisos para os objetivos a que se propõe, justificando-se plenamente o emprego deste tipo de instrumentação em maior escala. Somente assim, poder-se-á conhecer melhor as propriedades dos maciços rochosos, pois para a determinação do módulo de deformabilidade (E), dos módulos de rigidez normal e transversal ( $k_n$  e  $k_t$ ) das juntas etc., precisa-se conhecer tanto as deformações, quanto as tensões que as produziram.

Várias são as técnicas e os instrumentos utilizados na observação do estado de tensões em maciços rochosos, conforme veremos a seguir. Muitas destas técnicas são de emprego bastante recente, carecendo portanto dos proveitos e aperfeiçoamentos advindos da experiência adquirida pelo uso.

As diversas técnicas, analisadas a seguir, empregam o método do alívio de tensões. A liberação destas tensões é realizada normalmente em furos de sondagem coaxiais, em que o furo de menor diâmetro rece

be o dispositivo de medição e o de maior diâmetro produz o alívio de tensões.

### V.3.1 - Método de Determinação das Deformações Diametraes em Furos de Sondagem

Este método consiste geralmente na instalação de um medidor de de formação diametral (Fig. 37) no interior de uma sondagem EX ( $\phi$  37mm) e no posterior alívio das tensões com uma sondagem coaxial de  $\phi$  6" (150 mm).

É possível obter informações sobre as três tensões principais atuantes no maciço rochoso, através da utilização de medidores que detectam as deformações segundo quatro direções diametraes, desde que se garanta que a direção da sondagem é paralela à direção de uma das tensões principais.

Quando a medição das deformações diametraes é processada em menos que quatro direções, as informações obtidas tornam-se mais limitadas e a avaliação das tensões do maciço dependerá da confiabilidade das hipóteses adotadas.

A precisão das tensões determinadas através deste método dependerá da precisão com que as constantes elásticas, particularmente o módulo de elasticidade (E) é determinado. A precisão do coeficiente de Poisson ( $\mu$ ) não influencia tanto os resultados.

As expressões utilizadas, abordadas nos trabalhos de Leeman (1964) e Midea (1969), para o cálculo das tensões, a partir das deformações diametraes, admite que a rocha se comporta com um meio elástico, homogêneo e isotrópico, de modo que a precisão dos resultados - também estará condicionada à validade destas hipóteses.

Nos últimos anos, este método tem sido utilizado com relativo sucesso, tanto para a determinação de variações do estado de tensões, quanto para a determinação das tensões absolutas.

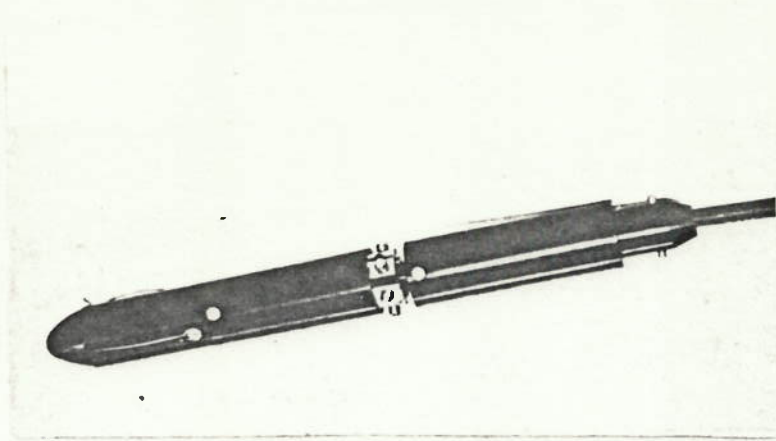


Fig. 37- MEDIDOR DE DEFORMAÇÃO DIAMETRAL EM FUROS DE SONDAGEM, SEGUNDO TRÊS DIREÇÕES FORMANDO 60° ENTRE SI. (Catálogo TERRAMETRICS)

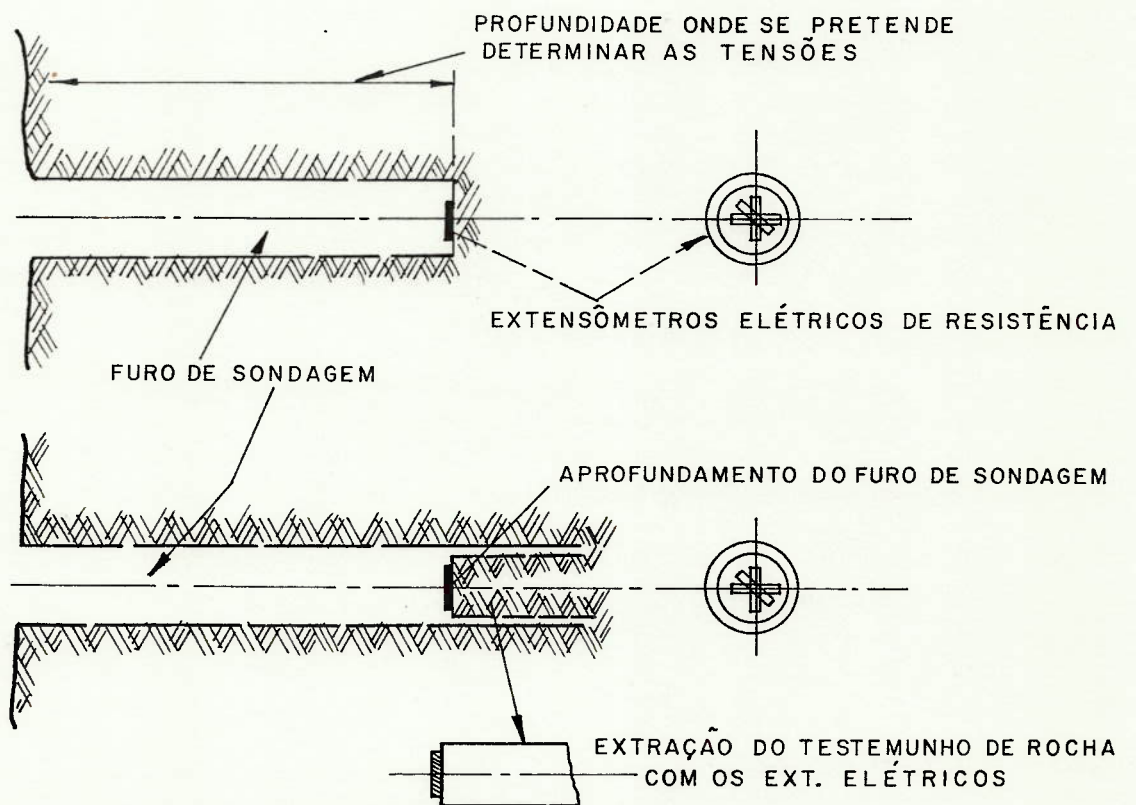


Fig. 38- TÉCNICA DE COLAGEM DOS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS DE RESISTÊNCIA DIRETAMENTE NO FUNDO DO FURO DE SONDAGEM.

### V.3.2 - Métodos de colagem Direta dos Extensômetros na Rocha

Estes métodos empregam dispositivos que possibilitam a colagem dos extensômetros elétricos de resistência ("Strain Gauge") diretamente na parede ou no fundo do furo de sondagem.

Um dos principais métodos, que utiliza a colagem de uma roseta ex tensométrica no fundo da sondagem, é o CSIR "Doorstopper", descrito por Leeman (1969-a) e Denkhaus (1968). (Figura 38). Apresenta, en tretanto, os inconvenientes de exigir a regularização do fundo da sondagem para permitir a colagem perfeita dos extensômetros e de exigir a execução de três furos de sondagem para a determinação do estado triaxial de tensões. O "Doorstopper" foi projetado essencial mente para determinar a tensão principal maior em situações onde a sua direção e aquela das outras duas tensões principais eram conhe cidas ou poderia ser admitida. Esta condição restringe bastante, portanto, a aplicação deste método.

O passo seguinte foi o desenvolvimento por Leeman do CSIR Triaxial Strain Cell (Fig.39), que possibilita a colagem de três rosetas, num total de nove extensômetros, na parede de um furo de sondagem EX. Este método permite a determinação do estado geral de tensões do ma ção rochoso, independente da direção da sondagem.

O método do Tubo Sensível (largamente utilizado em nosso país), de senvolvido pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), de Lisboa, constitui basicamente uma variante do CSIR Triaxial Strain Cell. Neste método, ao invés dos extensômetros serem colados direta mente nas paredes da sondagem, é colado um tubo de resina epoxi, em cujas paredes estão inseridos os extensômetros (Rocha e Silvério, 1969 e Midea, 1969). Este método conseguiu simplificar bastante a instalação e colagem dos extensômetros, porém complicou sobremanei ra o tratamento analítico para o cálculo das tensões.

Enfim, pode-se dizer que os métodos que empregam a colagem dos ex tensômetros na parede do furo de sondagem são razoáveis, desde que o comportamento da rocha não se afaste muito das hipóteses assumi das, isto é, de ser elástico, homogêneo e isotrópico.

### V.3.3 - Método das Inclusões Rígidas

Enquanto as técnicas abordadas nos itens V.3.1 e V.3.2, utilizavam dispositivos que, uma vez instalados no furo de sondagem praticamente não ofereciam nenhuma resistência à deformação da rocha, as inclusões rígidas são dispositivos confeccionados com materiais de elevado módulo de elasticidade e que oferecem, uma elevada resistência à deformação da rocha.

Leeman (1964) verificou que para valores da relação entre o módulo de elasticidade da inclusão e da rocha superiores a cinco, não há necessidade de se determinar precisamente os parâmetros de deformabilidade que caracterizam a anisotropia da rocha. Desta forma, o método das inclusões rígidas é particularmente vantajoso quando o módulo de elasticidade da inclusão é superior a cinco vezes o módulo de elasticidade da rocha.

Os primeiros métodos a utilizarem inclusões rígidas permitiam apenas a determinação do estado de tensões num plano normal ao eixo da sondagem. Atualmente, já se dispõe de técnicas muito mais elaboradas, que permitem a determinação do estado geral de tensões do maciço. Nichols, Abel e Lee (1968) apresentam em seu trabalho o desenvolvimento de uma inclusão esférica de 1 polegada de diâmetro, constituída por uma liga de aço e cromo, dotada de nove extensômetros elétricos de resistência. Apesar dos autores não disporem, por volta de 1968, de muitas aplicações desta técnica, ela se apresentava bastante promissora na opinião de seus idealizadores.

### V.3.4 - Métodos Fotoelásticos

Estes métodos consistem basicamente na colagem de um disco de material fotoelástico, nas paredes de um furo de sondagem EX, sobre o qual se produz um alívio de tensões (para a determinação das tensões absolutas), ou deixa-se o disco permanentemente instalado (para a observação de alterações no estado de tensões). A iluminação do disco fotoelástico, com luz monocromática polarizada permite a visualização das franjas de interferência fotoelástica, cuja configuração, comparada com aquelas obtidas em calibrações de laboratório



rio, permite a determinação do estado de tensões num plano normal ao eixo da sondagem (Fig.40).

Apesar de constituir um método de menor sensibilidade que os precedentes e de apresentar limites de profundidade para sua aplicação, apresenta a vantagem de constituir um método de observação direta e de baixo custo.

Existem ainda para a determinação do estado de tensões de um maciço rochoso, o método de propagação de ondas sísmicas, o método de resistividade, o método do fraturamento hidráulico e outros que não serão tratados neste trabalho por se tratarem de métodos pouco sensíveis ou que estão ainda numa fase incipiente de seu desenvolvimento.

O método dos macacos planos e outros, que se preocupavam com a determinação do estado de tensões à superfície do maciço, estão praticamente relegados ao passado, devido às influências das variações de temperatura e dos desmontes com explosivos. Hooker e Duvall(1971), por exemplo, constataram que as variações diárias de temperatura podem induzir, na superfície de maciços graníticos, tensões da ordem de  $120 \text{ kgf/cm}^2$ .

#### V.4 - A Observação de Pressões Piezométricas

A observação das pressões da água intersticial no interior do maciço rochoso de um talude, é de suma importância devido ao papel que estas pressões desempenham na sua estabilidade. As precipitações pluviométricas e as pressões da água intersticial são geralmente as responsáveis diretas pela movimentação de taludes e sua observação pode constituir um aviso prévio sobre a instabilidade do mesmo.

A drenagem constitui geralmente um dos métodos mais econômicos e eficientes de estabilização de taludes, entretanto, a observação dos vários lençóis freáticos e das pressões piezométricas é indispensável na elaboração de um projeto eficiente de drenagem.

Franklin e Denton (1973) observam que os problemas de instabilidade

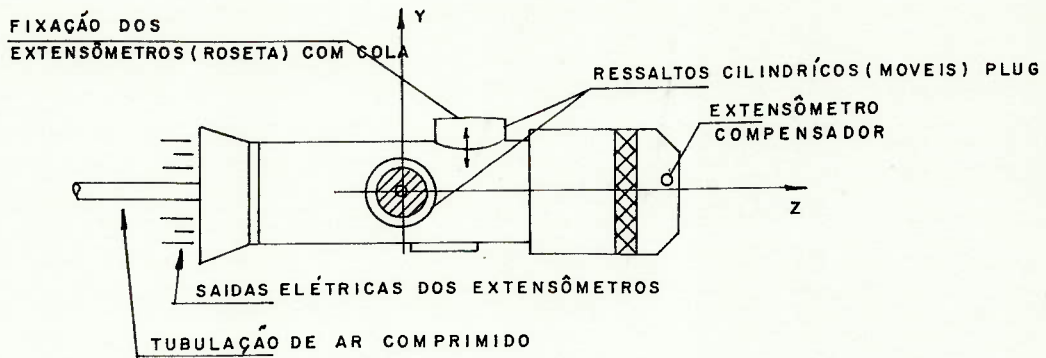


Fig.39- DISPOSITIVO DESENVOLVIDO POR "LEEMAN" PARA A COLAGEM DAS ROSETAS EXTENSOMÉTRICAS DIRETAMENTE SOBRE AS PAREDES DO FURO DE SONDAGEM.  
("CSIR TRIAXIAL - STAIN CELL")

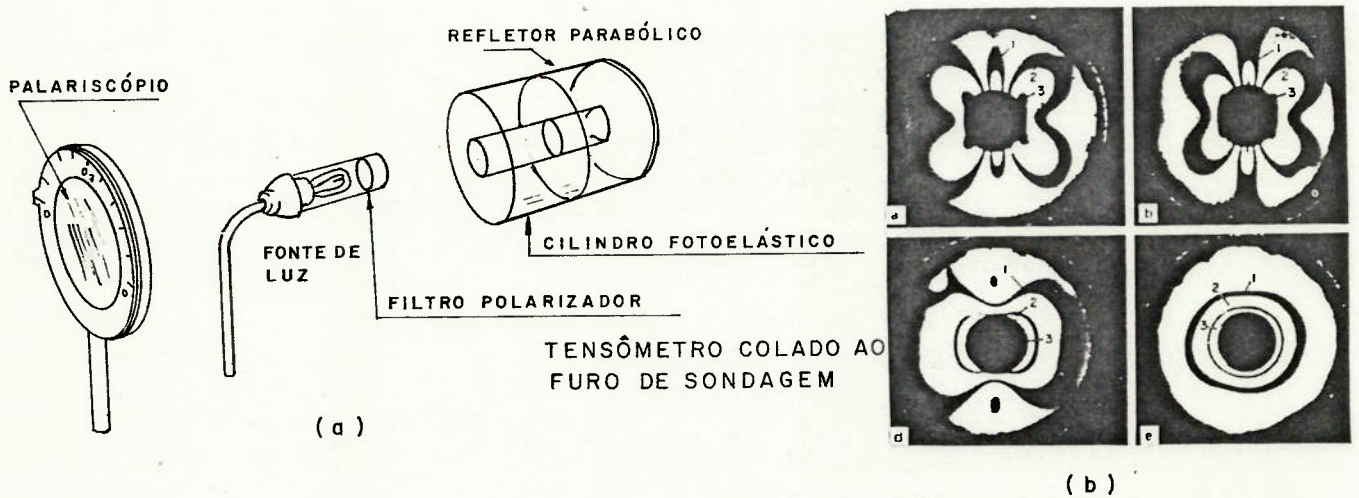


Fig.40- (a) ESQUEMA ILUSTRANDO O FUNCIONAMENTO DE UM TENSÔMETRO FOTOELÁSTICO  
(b) VISUALIZAÇÃO DAS FRANJAS DE INTERFERÊNCIA FOTOELÁSTICA ATRAVÉS DO POLARISCÓPIO

podem estar associados a vazões excessivas da água ou a pressões excessivas da água intersticial. Destaca que é importante reconhecer que, se um maciço rochoso é pouco permeável, pressões neutras elevadas podem existir sem grandes vazões. Ainda sobre o mesmo assunto, Hoek e Bray (1974) comentam que é uma falha normal de engenheiros e geólogos - ao examinarem um maciço rochoso ou terroso assumir que não há lençol freático, quando não aparecem escoamentos sobre a face do talude. O que ocorre, entretanto, é que em muitos casos a taxa de percolação é inferior a de evaporação e, então, a superfície do talude pode se apresentar completamente seca, apesar de haver água, sob pressões elevadas, no interior do maciço.

O comportamento hidrogeotécnico dos maciços rochosos está geralmente condicionado a níveis de elevada permeabilidade. Estes níveis estão geralmente associados a contatos geológicos, falhamentos, juntas-falhas etc., é através dos mesmos que ocorre a maior parte da percolação d'água no maciço rochoso. O procedimento correntemente utilizado, para a prospecção destes níveis mais permeáveis, é a execução de ensaios de perda d'água em trechos de 3,0 metros de extensão, ensaios estes realizados durante a execução das sondagens de prospecção. Outra técnica para a localização destes níveis, consiste na prospecção do furo de sondagem com o "Piezofor" (Fig. 41). Este instrumento é constituído por uma membrana flexível que reveste internamente a parede da sondagem, evitando qualquer comunicação entre diferentes níveis, que não seja através do próprio maciço rochoso. Uma sonda, dotada de dois obturadores, é introduzida no interior da membrana flexível, isolando trechos da sondagem onde são determinadas as pressões piezométricas e as permeabilidades, através de um processo de equilíbrio de pressões. Obtém-se, desta forma, um perfil piezométrico do maciço ao longo de toda a extensão da sondagem.

Localizados os níveis mais permeáveis ou que apresentem anomalias piezométricas (artesianismo, por exemplo), o passo seguinte é a instalação de piezômetros permanentes. Estes piezômetros são geralmente instalados ao longo de trechos com três metros de extensão, para que a observação seja efetuada numa faixa representativa do maciço.

Dos vários fatores que influenciam a seleção de um determinado tipo de piezômetro, os seguintes são os mais importantes:

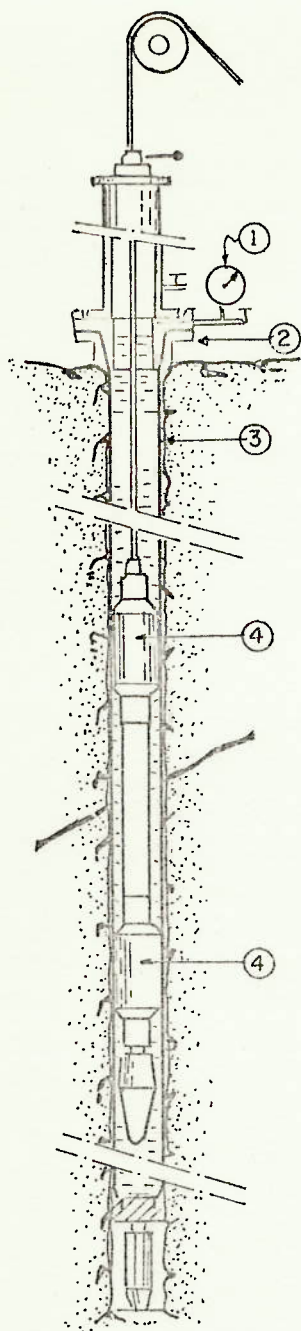


Fig. 41 - DETALHE DE FUNCIONAMENTO DO PIEZOFOR  
 ① MANÔMETRO, ② DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO DO TUBO INFLÁVEL, ③ TUBO INFLÁVEL, ④ OBTURADOR

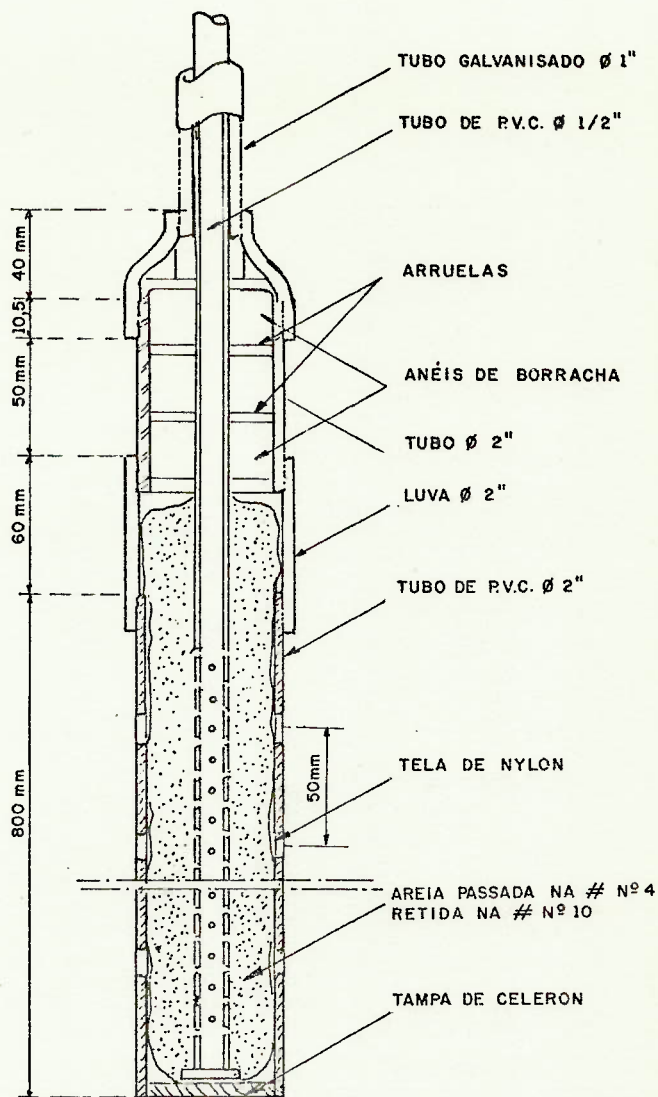


Fig. 42 - ESQUEMA NORMALMENTE ADOTADO PARA A INSTALAÇÃO DE PIEZÔMETROS TIPO "STAND-PIPE"

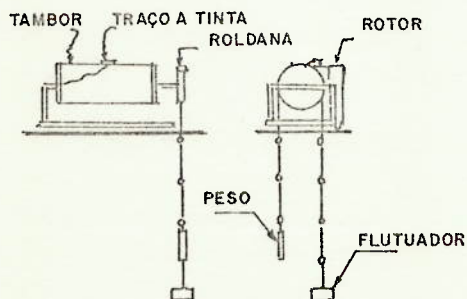


Fig. 43 - DISPOSITIVO EMPREGADO PARA O REGISTRO CONTÍNUO DO NÍVEL D'ÁGUA DE PIEZÔMETROS TIPO "STAND-PIPE"

- **Confiabilidade e Durabilidade:** os piezômetros são geralmente instalados em condições ambientais adversas e podem tornar-se inoperantes devido a problemas de ruptura ou bloqueamento da tubulação, curto circuitos elétricos, mal funcionamento de partes móveis (oxidação, p.ex.,) etc. Wilson (1967) destaca que a confiabilidade e a durabilidade são geralmente muito mais importantes que a sensibilidade e a precisão, pois em geral não importa um erro de 20 ou 50 centímetros, devido ao tempo de resposta do piezômetro, desde que o mesmo esteja funcionando adequadamente.
- **Tempo de Resposta:** o problema básico de qualquer piezômetro é saber qual o tempo gasto para que a pressão no sistema atinja o equilíbrio, após uma mudança na pressão do maciço. Depende essencialmente da permeabilidade do meio e do volume de água requerido na operação do piezômetro. Hvorslev (1951) analisou os efeitos do tempo de resposta para piezômetros do tipo "Standpipe" e Penman (1960) estudou o tempo de resposta de vários outros tipos de piezômetros.

O piezômetro mais simples, confiável e largamente utilizado na austerização piezométrica de maciços rochosos é o tipo "standpipe". A Figura 42 ilustra um dos esquemas de instalação deste tipo de piezômetro. Os piezômetros tipo "standpipe" são recomendados para trechos do maciço com permeabilidade acima de  $10^{-5}$  a  $10^{-6}$  cm/seg. Para um maciço rochoso, com uma permeabilidade de  $10^{-7}$  cm/seg., por exemplo, seria necessário aproximadamente 5 dias para um piezômetro "Standpipe" típico atingir um estado de equilíbrio aceitável, após uma alteração na pressão da água intersticial do maciço.

A determinação do nível d'água, no interior do tubo piezométrico, é normalmente realizada com uma sonda elétrica conectada a um cabo graduado em metros. Esta sonda, ao tocar o nível d'água, fecha um circuito elétrico, ascendendo uma lâmpada ou acionando um galvanômetro na superfície do maciço. No caso de se desejar o registro automático e contínuo do nível d'água, este pode ser obtido empregando-se o dispositivo ilustrado na Figura 43, que pode detectar variações do nível d'água da ordem de 0,3 mm.

Os piezômetros tipo "standpipe" ou Casagrande, são perfeitamente adequados para as observações piezométricas em lavras a céu aberto porém, onde se fizer necessário, poder-se-á dispor de piezômetros - hidráulicos, pneumáticos ou elétricos, muitíssimo mais sensíveis e precisos que os do tipo precedente, mas nunca tão robustos e confiáveis. Na tabela X apresenta-se as principais características técnicas destes instrumentos.

#### V.5 - A Observação de Carga em Chumbadores e Tirantes

A observação das cargas atuantes nos chumbadores e tirantes, por ocasião da instalação e ao longo da vida útil da mina, é de extrema importância devido aos problemas de perda de carga. Estas perdas são provocadas por fatores tais como: escorregamento dos cabos de aço por ocasião da instalação, fluência do maciço rochoso, escoamento do aço, processos de corrosão e alterações nas propriedades do maciço. Silveira (1975) analisa com detalhe estes vários fatores de perda de carga e propõe um processo quantitativo de interpretação dos resultados obtidos na observação de carga de tirantes em rocha.

O processo atualmente utilizado, na observação da carga de chumbadores e tirantes, consiste na instalação de células de carga. Estas células são instaladas conjuntamente com o tirante, ficando alojadas entre o cabeçote de ancoragem e a placa de distribuição de carga (Figuras 44 e 45).

No que diz respeito ao princípio de funcionamento, as células de carga poderão ser mecânicas, fotoelásticas, elétricas ou hidráulicas.

Na tabela XI estão relacionadas as principais características técnicas destes vários tipos de células de carga.

Quanto ao número de células a serem instrumentadas, o Documento nº 2 da Comissão de Padronização de Ensaios de Campo e Laboratório da I.S.R.M., recomenda a instalação de uma célula de carga para cada dez tirantes, observando-se entretanto, que considerações especiais devem nortear a instrumentação de uma porcentagem maior ou menor de tirantes. Evidentemente, esta porcentagem deve servir apenas co

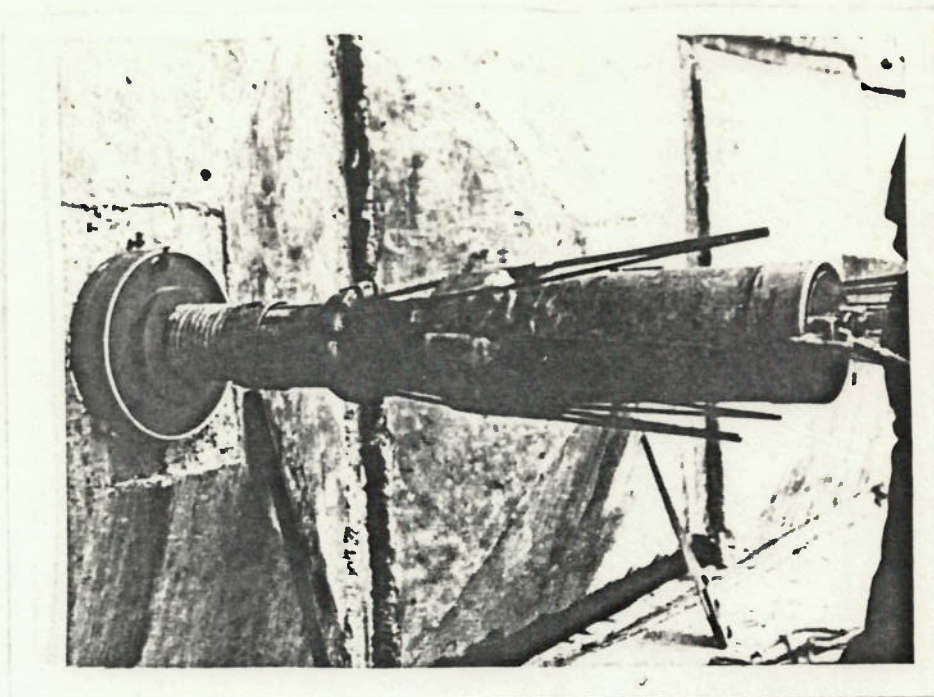


Fig. 44- INSTALAÇÃO DE UMA CÉLULA DE CARGA EM TIRANTE DE 40 TONELADAS

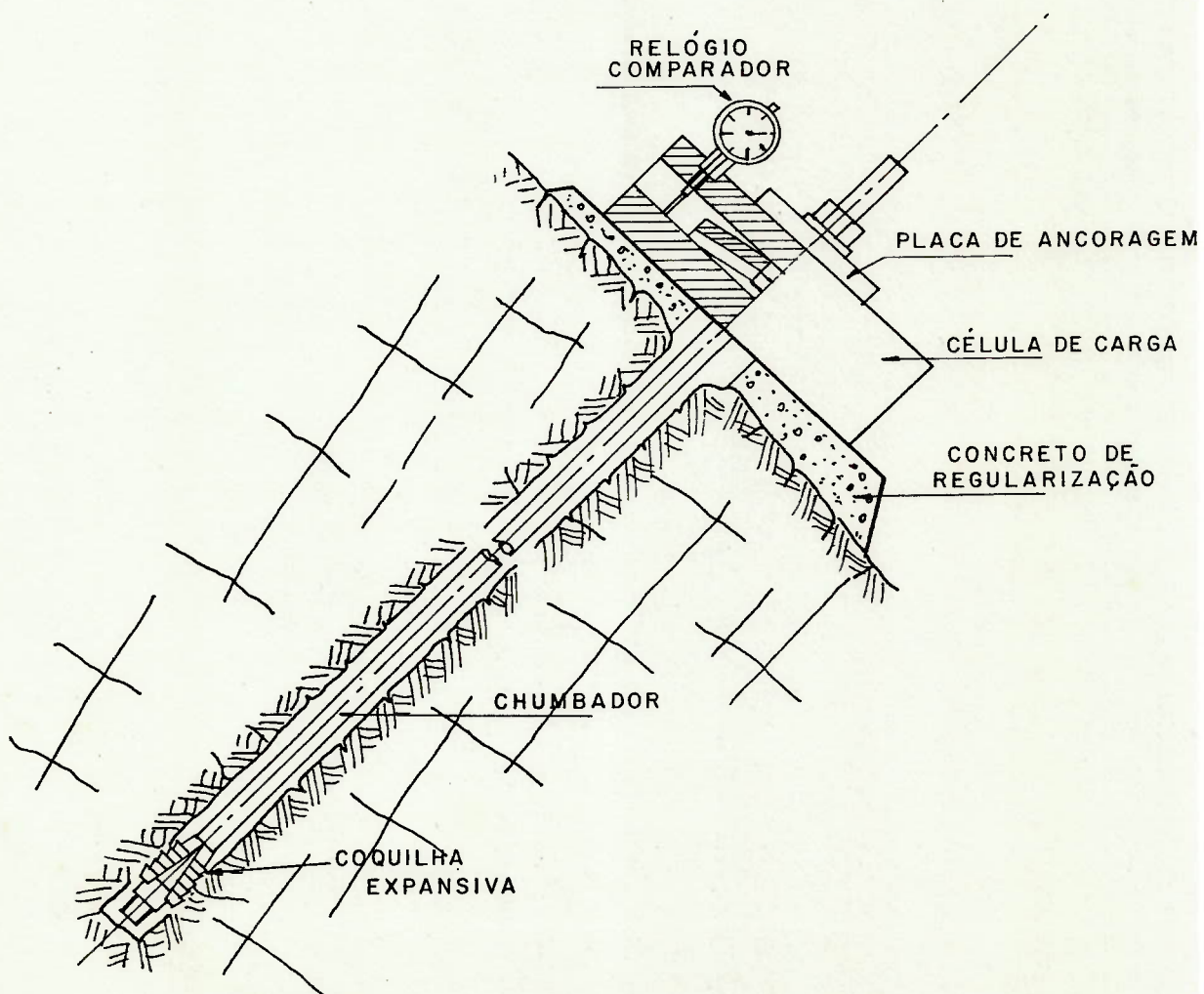


Fig. 45- ESQUEMA ILUSTRANDO A INSTALAÇÃO DE UMA CÉLULA DE CARGA PARA CHUMBADOR

mo ponto de partida, pois o número de tirantes instrumentados deve essencialmente ser função da quantidade total de tirantes instalados, dos tipos de tirantes utilizados e das características geológico-geotécnicas do maciço atirantado.

Uma das recomendações especiais na instalação das células de carga é garantir a sua perfeita centralização em relação à cabeça do tirante.

#### V.6 - A Observação de Micro-Ruídos

A emissão de sons audíveis pela rocha é interpretada pelos mineradores como um alerta do perigo eminente de uma ruptura rochosa. Entretanto, precedendo o período de emissão dos sons audíveis, há normalmente um longo período durante o qual são gerados sons sub-audíveis, pela rocha sob tensão. Estes sons sub-audíveis são pulsos sísmicos de curta duração e amplitude extremamente pequena (Fig. 46), mas que podem ser perfeitamente detectados com geofones suficientemente sensíveis.

A estabilidade de um talude rochoso está universalmente ligada à taxa de emissão dos ruídos rochosos, ou seja, uma alta taxa de ocorrência de micro-ruídos indica uma elevada taxa de relaxação de tensões dentro do maciço rochoso, enquanto que uma taxa baixa de micro-ruídos indica que o maciço rochoso está atingindo um estado de repouso. Este mesmo comportamento é observado durante o ensaio de compressão axial de corpos de prova de rocha em laboratório, em que se constata também uma nítida intensificação dos micro-ruídos na fase que antecede a ruptura (Fig. 47). Obert e Duvall (1957) constataram que enquanto algumas rochas produzem micro-ruídos quando a carga aplicada é apenas 20% da tensão máxima de ruptura do corpo de prova, todos os tipos de rocha produzem micro-ruídos quando a carga aplicada ultrapassa de 60% a tensão máxima de ruptura. Constataram também em ensaios de laboratório, que os micro-ruídos variam com a taxa de variação das tensões, intensificando-se com a elevação da taxa de variação das tensões.

Uma das restrições que se apresenta ao método de observação de mi



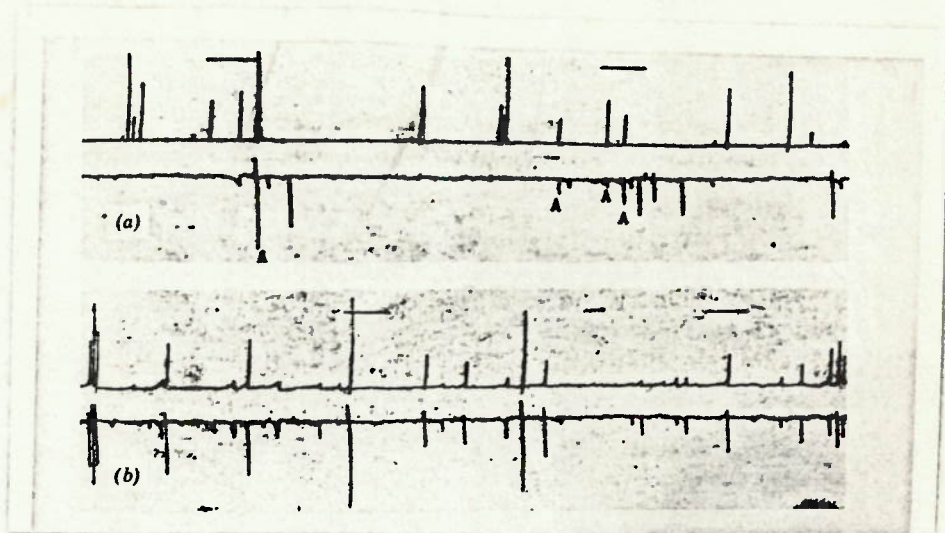


Fig. 46 - (a) REGISTRO DE DOIS GEOFONES DISTANTES 15m ENTRE SI  
(A) INDICA CERTAS COINCIDÊNCIAS

(b) REGISTRO DE DOIS GEOFONES INSTALADOS NO MESMO  
FURO DE SONDAGEM, ONDE OBSERVA-SE UMA PERFEITA  
COINCIDÊNCIA (OBERT e DUVALL , 1967)

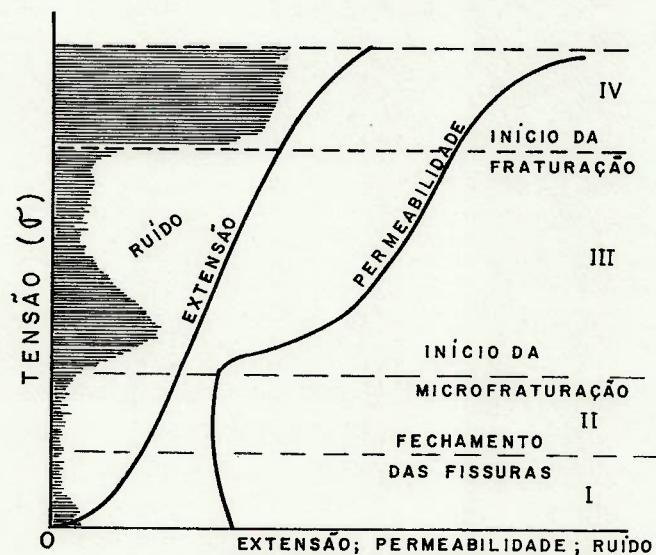


Fig. 47 - EMISSÃO DE MICRO-RUIDOS POR UMA AMOSTRA DE ROCHA  
SUBMETIDA À COMPRESSÃO (ROCHA , 1.971)

cro-ruídos, é quanto ao nível de ruídos estranhos, isto é, de outras fontes que não aquelas associadas ao distensionamento de maciço rochoso. Estes ruídos podem, quando em níveis excessivamente elevados, mascarar totalmente a interpretação da observação dos micro-ruídos da rocha. Chuvas intensas, ruído de aviões a jato, tráfego rodoviário, equipamentos pesados de mineração, perfuratrizes, movimentos da vegetação (causados pelo vento) e atividade de insetos e mamíferos, podem constituir fontes causadores de problemas na interpretação dos dados.

Para se evitar interferências de ruídos que se propagam pela atmosfera, é recomendável instalar os transdutores em furos de sondagem com uma profundidade mínima de 5 metros, garantindo-se um contato íntimo entre estes e a rocha. As demais fontes estranhas de micro-ruídos podem ser devidamente consideradas, se se proceder a um registro completo da atividade destas fontes, nas áreas circunvizinhas.

Hoover e Mearns (1973) destacam que os fatores que devem ser considerados, na seleção do local de instalação dos geofones, são: localização do talude, tipo de rocha, condições do lençol freático, estrutura do maciço e acessibilidade. Em uma série de ensaios para determinar a distância sobre a qual uma fonte artificial de micro-ruídos pudesse ser detectada, observaram que a máxima distância foi de 36 metros (granito úmido desintegrado) e a mínima distância de 9 metros (areia fofa, seca).

Tem-se observado durante a auscultação de micro-ruídos, em áreas de escorregamentos ativos, que a taxa de micro-ruídos se intensifica rapidamente e atinge valores mais elevados próximo ao topo do talude, do que em seu pé. Aparentemente, então, tensões de tração geram mais micro-ruídos que aquelas de compressão. Esta observação é de grande importância, na seleção dos locais de instalação dos geofones.

Stateham e Vanderpool (1971) constataram através da observação simultânea de micro-ruídos e de deslocamentos em um talude instável de uma mineração de cobre da Kennecott Copper Corp., Nevada U.S.A., que a taxa de ocorrência dos micro-ruídos e a variação da espessura

das fendas de tração apresentavam uma excelente concordância. Esta beleceram, a partir dessa observação, as seguintes correlações para a interpretação dos diferentes tipos de dados:

- a. taxa de micro-ruídos, versus velocidade do deslocamento do talude;
- b. variação da taxa de micro-ruídos, versus aceleração do deslocamento do talude (vide Figuras 48 e 49).

A utilização destes dois tipos de observação, isto é, micro-ruídos e deslocamentos, complementam-se entre si na auscultação da evolução da ruptura do talude, implicando em maior confiabilidade na avaliação dos resultados.

As análises espectrais dos micro-ruídos emitidos pelos maciços rochosos tem relevado frequências entre 5 e 3000 Hz. Tanto ondas de compressão, como de cisalhamento, têm sido detectadas. Em concordância com a teoria sísmica, tem-se observado que altas frequências são atenuadas com o aumento da distância à fonte emissora. É possível - até, uma estimativa da proximidade da fonte de ruído ao transdutor, pela análise da tonalidade do som.

Leighton e Blake (1970) apresentam dois métodos para a localização da fonte emissora dos micro-ruídos. Enquanto o primeiro destes métodos se baseia no tempo de chegada das ondas P, o segundo emprega a diferença entre o tempo de chegada das ondas S e P até os geofones. O método das ondas P requer informações fornecidas por cinco geofones e o método das ondas S-P requer informações de apenas quatro geofones, para a obtenção das coordenadas da fonte emissora. A precisão da locação da fonte depende essencialmente da precisão na determinação das coordenadas dos geofones e das velocidades e tempos de chegada das ondas sísmicas. Estes autores citam que num estudo recente, no qual as coordenadas dos geofones foram determinadas com uma precisão de  $\pm 0,3$  metros, as velocidades sísmicas foram determinadas com um erro de  $\pm 5\%$  e o arranjo dos geofones estava situado a algumas dezenas de metros da fonte emissora; esta foi determinada com as seguintes precisões:

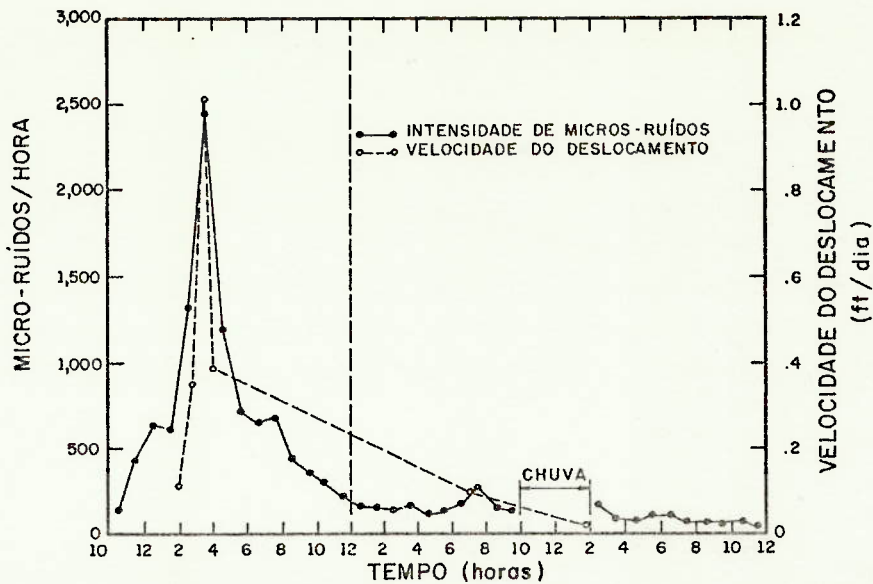


Fig.48 - COMPARAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DE MICRO-RUÍDOS POR HORA E A VELOCIDADE DO DESLOCAMENTO. (STATEHAM E VANDERPOOL, 1971)

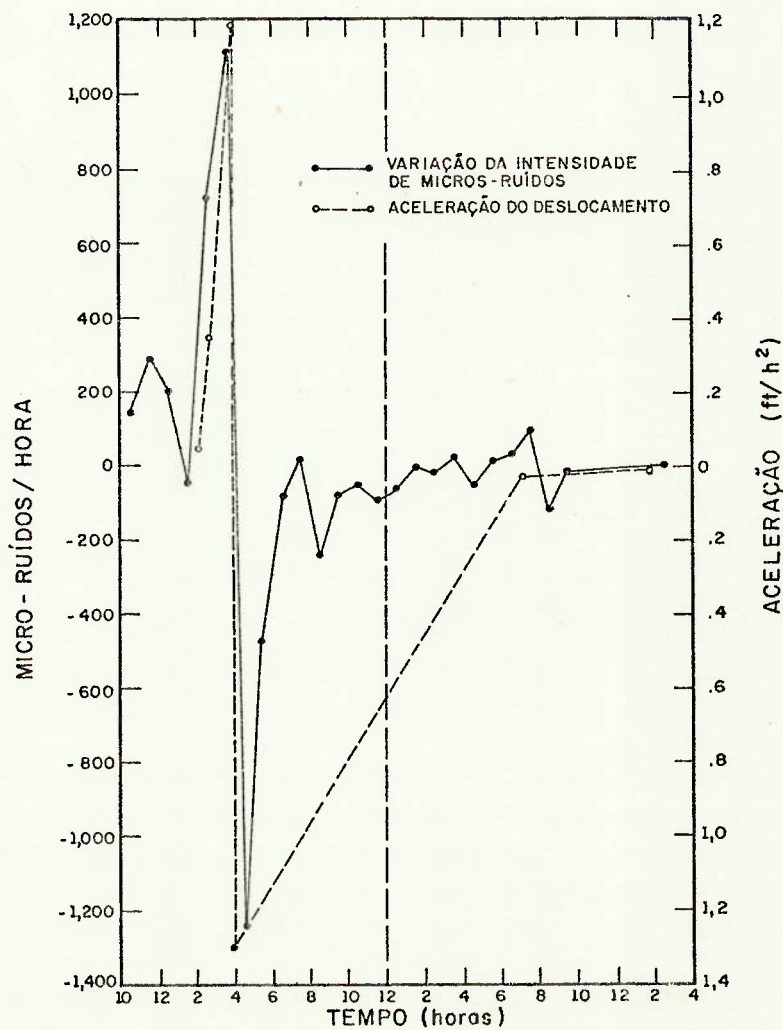


Fig. 49 - COMPARAÇÃO ENTRE A VARIÇÃO DA INTENSIDADE DE MICRO-RUIDOS E A ACELERAÇÃO DO MOVIMENTO (STATEHAM E VANDERPOOL, 1971).

## 1. Método das ondas S-P

- a) Fonte interior ao arranjo de geofones.....± 3,0 m
- b) Fonte externa ao arranjo de geofones.....± 4,5 m

## 2. Método das ondas P

- a) Fonte interna ao arranjo de geofones.....± 3,0 m
- b) Fonte externa ao arranjo de geofone..... pobre

A localização da fonte emissora dos micro-ruídos revela onde a movimentação está se processando, indicando - no caso de taludes - o plano ou os planos potenciais de ruptura. Este método oferece também um meio para a avaliação do sucesso dos métodos empregados na estabilização das áreas de ruptura incipiente.

No que concerne aos equipamentos empregados na detecção de micro-ruídos, estes são constituídos basicamente por geofones, (constituídos por transdutores de sal de "Rochelle" ou titanato de bário), filtros, amplificador e receptor. Este poderá registrar os dados em fitas de papel fotográfico ou em gravadores. Na Tabela XII, apresenta-se uma relação dos equipamentos de detecção de micro-ruídos produzidos comercialmente.

Enfim, pode-se destacar, como principal vantagem, para o método de observação de micro-ruídos, o fato do mesmo permitir a localização de áreas potencialmente instáveis, antes de qualquer outro. A esse respeito, Hoover e Mearns (1973) comentam que há evidências de que a localização de áreas instáveis pelo método supra citado, apresenta uma vantagem de até várias semanas sobre outros métodos de observação. Além desta vantagem, a utilização deste método permite a auscultação permanente de áreas instáveis, que já se tornaram perigosas para as pessoas envolvidas em observações que exigem medições "in situ". Como principal desvantagem põe-se o problema dos ruídos e micro-ruídos provocados por fontes estranhas ao maciço rochoso, e que podem, em certos casos, obliterar completamente o registro dos micro-ruídos naturais da rocha.

## V.7 - Observações Óticas em Furos de Sondagem

A impossibilidade que o homem encontrou em amostrar determinadas particularidades dos maciços rochosos, tais como: falhas ou fendas com preenchimento argiloso, zonas intensamente intemperizadas, zonas milionizadas, mesmo recorrendo às modernas e sofisticadas técnicas de execução de sondagem (utilização de barrilete duplo livre, sondagem com amostragem integral, etc.) levou-o ao desenvolvimento de determinados instrumentos que possibilitaram a observação "in situ" destas particularidades, através de furos de sondagem. Desta forma surgiram instrumentos tais como o periscópio ou estratoscópio, a câmara fotográfica e a câmara de televisão, para observações em furos de sondagem.

A instrumentação ótica para furos de sondagem pode ser empregada tanto na fase de prospecção, quanto na de auscultação dos maciços rochosos. A primeira das aplicações está fora do escôpo deste trabalho. No que concerne à aplicação da instrumentação ótica na auscultação de taludes em rocha, destacam-se como principais aspectos a serem observados, os seguintes:

- observação da abertura de fendas de tração no topo, ou no corpo do talude
- observação de drenos, para estudar eventuais processos de colmatção
- observação de fendas com preenchimento argiloso, para estudar eventuais problemas de carreamento deste material.
- observação da forma da seção transversal do furo de sondagem, em zonas de tensões (virgens) elevadas.

### V.7.1 - Periscópio ou Estratoscópio

Este instrumento é utilizado para observações diretas ou fotográficas de peculiaridades localizadas nas paredes de um furo de sondagem. Conforme ilustrado na Figura 50, consiste em uma série de tubos que são introduzidos no furo de sondagem até a profundidade que se deseja investigar. O tubo inferior possui um sistema de iluminação da parede da sondagem (operado à bateria), sistema de len

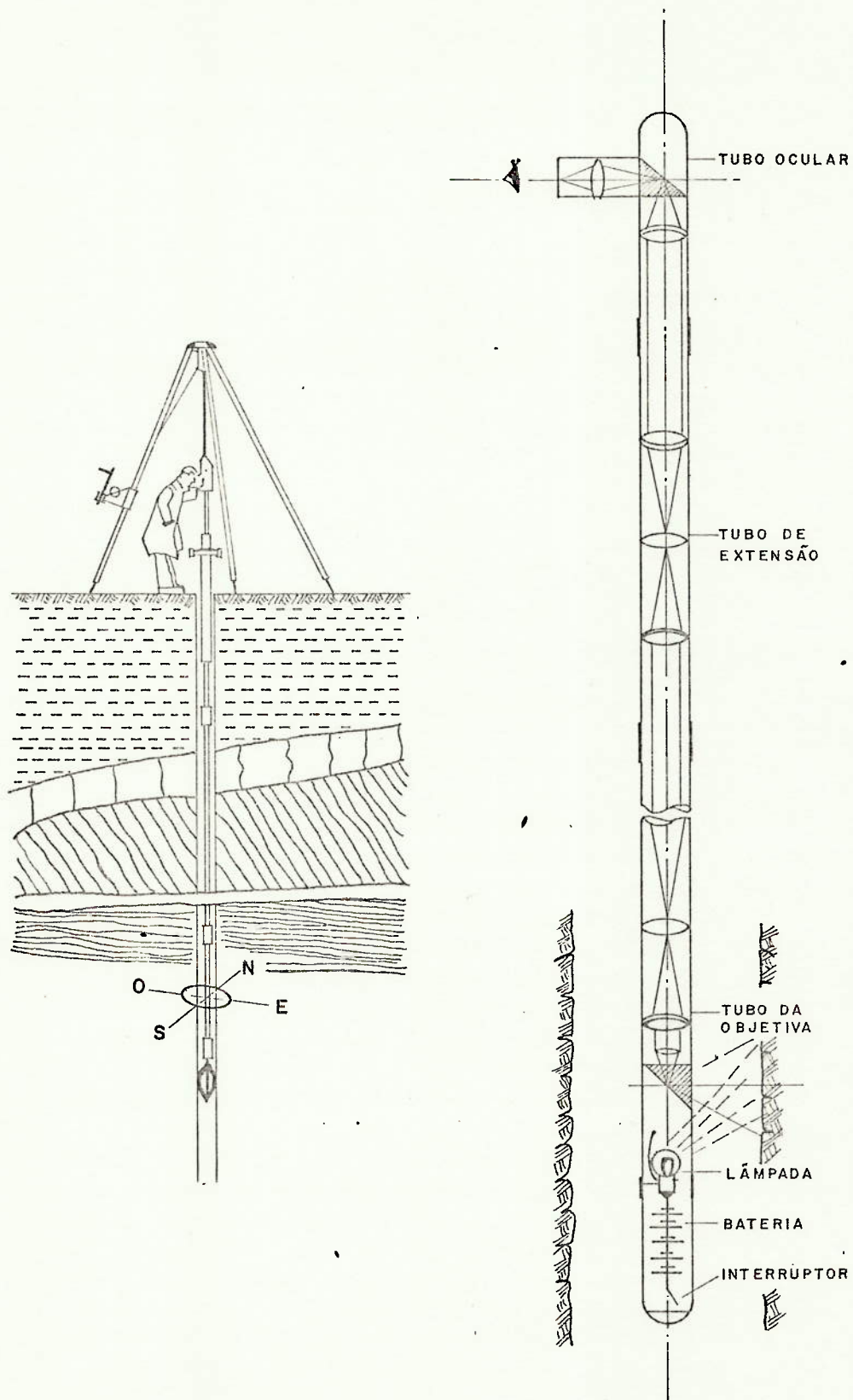


Fig.50- ESQUEMA DE OPERAÇÃO DO PERISCÓPIO PARA FUROS DE SONDAGEM

tes da objetiva, sistema refletor e janela de observação. O tubo superior contém o sistema de lentes da ocular. A imagem é observada juntamente com um retículo, para permitir a determinação da espessura da fenda.

Com o auxílio de uma câmara fotográfica e do periscópio, pode-se fotografar as paredes do furo de sondagem, para acompanhar as modificações sofridas pelas juntas ao longo do tempo.

Dentre suas principais vantagens destacam-se:

- método de observação direta
- método rápido e de baixo custo
- possibilidade de fotografar detalhes em preto e branco ou mesmo colorido.

Suas maiores desvantagens são:

- operação até profundidades limitadas
- distorção da imagem com o aumento da profundidade
- pequeno campo visual
- impossibilidade de operar abaixo do nível d'água (em águas turvas)

Na Tabela XIII estão relacionadas as principais características destes instrumentos.

#### V.7.2 - Câmara Fotográfica

A maioria das câmaras fotográficas projetadas para operar em sondagens, exige furos de 6" de diâmetro. Existem, porém, aquelas que operam em furos de sondagem NX ( $\phi$  3"). Estas últimas representam um maior custo de aquisição, o que é entretanto, largamente compensado pelo menor custo de execução da sondagem NX.

Estas câmaras podem estar acopladas a dispositivos sincronizadores, de modo a possibilitar fotografias da parede do furo de sondagem, de polegada em polegada, conforme o instrumento é abaixado ou içado no furo de sondagem. São geralmente dotadas de uma bússola que também



é fotografada, permitindo desta forma a determinação da posição azimutal da fotografia.

As principais vantagens destas câmaras são:

- nitidez da imagem, mesmo a grandes profundidades
- permite a ampliação de detalhes
- permite a obtenção de imagens estereoscópicas, através de fotos parcialmente sobrepostas.
- opera até grandes profundidades.

Alguns de seus maiores inconvenientes, são:

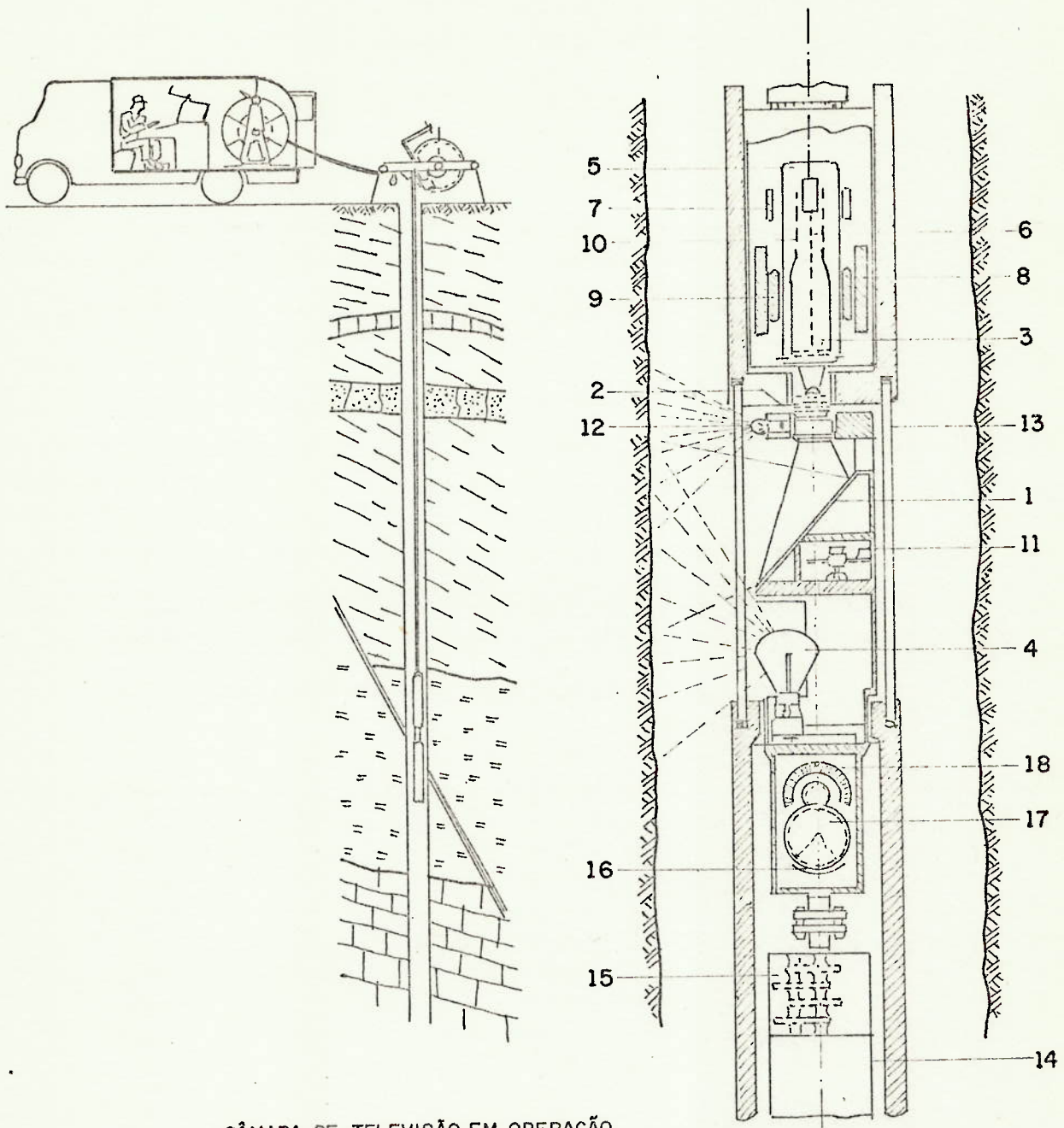
- método de observação indireto
- prolongado tempo de operação e observação
- impossibilidade de operar em águas turvas
- concentração de umidade nas lentes
- risco de perda do instrumento, quando ocorrem cavernas subterrâneas.

Na Tabela XIV estão relacionadas as principais características destes instrumentos.

### V.7.3 - Câmara de Televisão

A câmara de televisão constitui o instrumento mais completo para a realização de observações em furos de sondagem. Apesar de seu elevado custo, associa a vantagem da operação direta, com fatores tais como: operação a grandes profundidades, determinação da direção e do mergulho de diaclases, etc.

A sonda de televisão esquematizada na Figura 51, possui um diâmetro de 2 1/2" e comprimento de 130 cm. Projetada para operar em furos de sondagem NX, ou de maior diâmetro, é introduzida no interior da sondagem, com auxílio de um cabo que se estende até o painel de controle, onde se localiza o vídeo. A imagem da parede do furo de sondagem é captada por uma câmara de televisão em miniatura, localizada no interior da sondagem e convertida em impulsos eletromagnéticos.



CÂMARA DE TELEVISÃO EM OPERAÇÃO

REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA Sonda DE TELEVISÃO

LEGENDA

- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1 ESPELHO INCLINADO                           | 10 ANODO                      |
| 2 LENTES DA OBJETIVA                          | 11 BÚSSOLA                    |
| 3 CAMADA SEMI CONDUTORA DE ALTA SENSIBILIDADE | 12 LAMPADA INCANDESCENTE      |
| 4 LAMPADA INCANDESCENTE                       | 13 JANELA DE VIDRO CILINDRICA |
| 5 SISTEMA DE EMISSÃO                          | 14 MOTOR PARA ROTAÇÃO         |
| 6 TUBO DE RAIOS CATÓDICOS                     | 15 ENGRENAGEM                 |
| 7 BOBINA DE AJUSTE                            | 16 PÊNDULO                    |
| 8 BOBINA DE FOCAGEM                           | 17 ENGRENAGEM DE REDUÇÃO      |
| 9 BOBINA DEFLETORA                            | 18 REOSTATO                   |

FIG. 51 - REPRESENTAÇÕES ESQUEMÁTICAS DA CÂMARA DE TELEVISÃO PARA OBSERVAÇÕES EM Furos DE SONDAGEM. (Catálogo EASTMAN INT. CO.)

ticos, que são transmitidos através do cabo até o vídeo. A sonda é dotada de um motor que permite a sua rotação no interior da sondagem e de um conjunto bússola-pêndulo, que permite a determinação da inclinação da sondagem além da posição azimutal da imagem. O sistema de observação é montado no painel de controle, onde a imagem aparece ampliada de duas vezes. Pode operar em profundidades de até 500 metros, em furos dotados ou não de água (limpa).

Na Tabela XV estão relacionadas as principais características de algumas câmaras de televisão disponíveis no mercado.

Silveira (1975) analisa as restrições à utilização da instrumentação ótica em furos de sondagem, destacando como principais: a presença de água turva e a ocorrência de vazios ou cavernas subterrâneas, principalmente em furos inclinados. Para o problema da turbidez da água, recomenda o emprego de agentes flocculantes ou/e circulação de água limpa entre a parede do furo de sondagem e a janela de observação - do aparelho.

## VI. - O PLANEJAMENTO E O PROJETO DE UM SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO

Um dos primeiros objetivos ao se iniciar o planejamento do projeto de instrumentação de uma mina a céu aberto é a detecção dos taludes mais críticos em termos de estabilidade, para que se possa estabelecer programas prioritários de auscultação de determinadas áreas. Este estudo deverá lançar mão de todos os levantamentos geológicos e de todas as prospecções realizadas em superfície e sub-superfície, visando a localização da extensão e profundidade das juntas e camadas de rocha que poderão condicionar a ruptura dos taludes potencialmente instáveis.

Os cálculos normalmente elaborados, com base no método de equilíbrio limite, prevêm condições para o colapso final do talude, mas lamentavelmente não fornecem indicações sobre a magnitude dos deslocamentos a serem esperados antes da ruptura, ou sobre a taxa de evolução da ruptura ao longo do tempo. Para que se possa, então, estimar níveis máximos de deslocamentos, pressões neutras críticas e cargas limites nas ancoragens, por exemplo, deve-se partir para a

elaboração de cálculos mais refinados, por exemplo, com base no Método dos Elementos Finitos.

Todo e qualquer programa de instrumentação deve se desenvolver desde os instantes iniciais da lavra e, posteriormente, acompanhar "pari passu" toda a fase de exploração da jazida. Com este procedimento, será possível avaliar, cada vez com maior clareza, os parâmetros geomecânicos e o comportamento do maciço rochoso, assegurando ao longo da evolução da lavra um constante aprimoramento do projeto e justificando a utilização de taludes cada vez menos abatidos. Esta fato implicará em economias significativas para a lavra e justificará plenamente o custo dispendido com o programa de instrumentação.

#### VI.1 - Tipo, Número e Localização dos Instrumentos

A observação de deslocamentos de pontos do talude, com o objetivo de controlar a sua movimentação, é essencial em qualquer projeto de instrumentação, independentemente de outros tipos de instrumentação. Estes deslocamentos devem ser referidos a pontos estáveis localizados sob o plano de escorregamento, ou superficialmente, suficientemente distantes da área potencial de ruptura. Dentre os instrumentos adequados ao primeiro tipo de observação enquadram-se os extensômetros múltiplos, os defletômetros, e os inclinômetros, dentre o segundo tipo, os métodos geodésicos.

À fase inicial de um programa de instrumentação deve envolver essencialmente um grande número de instrumentos, que se caracterizem pela sua simplicidade, robustez e baixo custo; deixando-se os instrumentos mais precisos e sofisticados para uma fase posterior de observação, quando então já estarão demarcadas as áreas potenciais de ruptura e as juntas, ao longo das quais estarão ocorrendo os movimentos.

Dentre os instrumentos que se adequam perfeitamente a esta fase inicial de observações, citam-se as lâminas de vidro coladas às juntas, medidores de junta, extensômetros de superfície, fitas de cisalhamento e as observações de micro-ruídos.

O número de instrumentos a serem instalados, devem sempre ser fixado de modo a prever uma certa porcentagem extra, para suprir os instrumentos que serão danificados por ocasião das operações na área da mina. Em se tratando de instrumentos cuja eficiência ainda não está perfeitamente comprovada, que é o caso dos instrumentos ainda novos no mercado, deve-se sempre associar num mesmo local mais de um tipo de instrumento. Considera-se que um instrumento atinge a sua "maturidade", isto é, possa ser considerado perfeitamente adequado à medição das grandezas a que se propõe, após um prazo mínimo de cinco anos, decorridos de seu projeto original. Este prazo é uma consequência direta dos aperfeiçoamentos práticos que todo instrumento experimenta após seu projeto original.

No estabelecimento do número de instrumentos a serem instalados, devem ser considerados essencialmente os seguintes fatores:

- extensão das áreas a serem auscultadas
- características geológico-estruturais do maciço rochoso
- tipos de instrumentos selecionados
- acessibilidade ao local de instalação
- disponibilidade orçamentária

#### VI.2 - Instalação dos Instrumentos

A instalação dos instrumentos é uma das operações que deve merecer atenção toda especial, porque mesmo os melhores instrumentos podem apresentar falhas e anomalias de leitura, se não forem adequadamente instalados. Os instrumentos devem ser locados de modo a se poder garantir o seu funcionamento a contento. A instrumentação sub-superficial, por exemplo, deve ser posicionada após cuidadosos e detalhados exames dos testemunhos de sondagem, ou mesmo através da inspe-ção visual das paredes do furo de sondagem com periscópio ou câma - ras de televisão (para o selecionamento dos melhores locais para a instalação das ancoragens dos extensômetros múltiplos, dos piezôme - tros e de outros componentes do sistema). Esta operação requer detalhados conhecimentos da geologia do talude e dos fatores que afetam a sua estabilidade.

A instalação dos instrumentos de auscultação deve ser iniciada tão cedo quanto possível, para que seja possível o acompanhamento do comportamento, desde os instantes iniciais de sua escavação. No caso de se poder dispor de poços e galerias de drenagem no interior do maciço, as operações de instalação, a partir destas estruturas, são muito facilitadas e os mantêm devidamente protegidos das atividades que se desenvolvem na superfícies.

Enfim, as técnicas de instalação são condicionantes diretas da confiabilidade dos dados obtidos, devendo sempre ser confiada a uma equipe de técnicos experientes e supervisionada por um engenheiro - responsável.

### VI.3 - Operação e Frequência de Leituras

Conforme será visto no ítem VII, um programa adequado de operação e interpretação poderá ser tão oneroso quanto o custo dos instrumentos em si. Desta forma, cada instrumento deve merecer um planejamento todo especial, objetivando sempre a coleta de informações indispensáveis à sua interpretação, sem se incorrer na obtenção de um volume excessivo de dados, que implicará apenas em maiores custos.

No estabelecimento das frequências de leitura dos instrumentos, faz-se necessário ter em mente que, na fase inicial de instalação, as leituras deverão ser mais intensas e, então, paulatinamente irão sendo ajustadas às taxas de variação da grandeza medida ao longo do tempo. Estas frequências nunca devem ser permanentemente constantes, mas sim devem ser intensificadas por ocasião da ocorrência de fenômenos que possam influenciar a grandeza medida. Assim, por exemplo, as leituras dos piezômetros e medidores de deslocamento devem ser intensificadas por ocasião de chuvas intensas; as leituras de deslocamentos devem se intensificar por ocasião de desmontes realizados nas proximidades, etc.

Resumidamente, os instrumentos instalados em áreas críticas ou de movimentação ativa, devem ser observados mais frequentemente que aqueles localizados em áreas mais estáveis.

#### VI.4 - Interpretação dos Resultados

A análise e interpretação dos dados deve sempre ser elaborada "pari passu" com a operação dos instrumentos. Objetiva-se desta forma a pronta detecção de comportamentos anômalos, que possam implicar em possíveis rupturas.

A responsabilidade pela interpretação deve repousar sobre um indivíduo ou equipe de indivíduos familiarizados com todos os detalhes do projeto e que tenha condições para decidir sobre a necessidade de medidas corretivas, quando estas se fizerem necessárias.

#### VII. - CUSTOS ENVOLVIDOS NUM PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO

A seguir procurar-se-á analisar separadamente os vários custos envolvidos num projeto de instrumentação. Observa-se, entretanto, que como a experiência do autor a este respeito está restrita à instrumentação de barragens de terra e concreto, as porcentagens de custos aqui citadas são baseados mais especificamente neste tipo de obra.

##### VII.1 - Custo do Projeto

O custo de um projeto de instrumentação envolve geralmente as fases dos projetos básicos e executivos, uma vez que por ocasião do projeto de viabilidade ou de ante-projeto não existem ainda elementos para a elaboração de um programa de instrumentação. Muitas vezes mesmo, este projeto desenvolve-se já na fase de execução.

As atividades desenvolvidas por ocasião do projeto de instrumentação compreende: a elaboração de listas de material para a importação ou confecção dos instrumentos, elaboração de especificações (para a calibração, instalação e operação dos instrumentos), emissão dos desenhos de locação dos instrumentos, elaboração do projeto da central de leitura, acompanhamento "in situ" das operações de instalação e operação dos instrumentos etc.

Como, em regra geral, a instrumentação empregada na auscultação de maciços rochosos é constituída essencialmente por instrumentos mecâ

nicos, envolvendo técnicas de instalação e operação relativamente simples, estima-se que o custo do projeto atinge cerca de 10% do custo total da instrumentação.

### VII.2 - Custo dos Instrumentos

Esta parcela do custo da instrumentação pode ser subdividida em outras duas, a saber, custo dos instrumentos importados e daqueles confeccionados no local.

Na fase atual de nossos grandes aproveitamentos hidrelétricos, o custo da parcela dos instrumentos importados e daqueles confeccionados na obra é meio a meio (instrumentação de auscultação das estruturas do concreto). Como a instrumentação de minas a céu aberto requer geralmente instrumentos de elevada robustez e simplicidade de operação, prevê-se que a porcentagem de custo dos instrumentos importados deve ser bem inferior aquela dos demais instrumentos. Isto devido ao fato destes instrumentos poderem em regra ser adquiridos em nosso mercado ou serem confeccionados no local.

Baseando-se nestas considerações, prevê-se que o custo da instrumentação, num projeto de mina a céu aberto, atinja de 10 a 20% do custo total da instrumentação; função da maior ou menor quantidade de instrumentos importados.

Para que se possa avaliar o custo de alguns dos instrumentos importados, apresenta-se na Tabela XVI uma relação de vários instrumentos, com a ordem de grandeza de seus custos. Observe-se, entretanto, que os preços relacionados nesta tabela são preços FOB, podendo eventualmente duplicar ou mesmo triplicar, em função das taxas aduaneiras. Em se tratando geralmente de obras imprescindíveis ao desenvolvimento da nação, como é o caso dos grandes aproveitamentos hidrelétricos e das grandes minerações, a importação dos instrumentos fica geralmente isenta destas taxas.

### VII.3 - Custo de Instalação

O custo da instalação dos instrumentos em uma lavra a céu aberto está diretamente condicionado à quantidade de instrumentos instalados



em furos de sondagens, isto é, piezômetros, extensômetros múltiplos, defletômetros, inclinômetros, tensômetros, etc. Isto porque o custo de execução das sondagens representa uma parcela significativa do custo total da instrumentação. A título de exemplo, cita-se que o custo de uma sondagem rotativa à percussão está orçado, atualmente, em Cr\$ 60,00 o metro linear, e de uma sondagem rotativa NX ( $\phi$  3") com coroa de diamante, em Cr\$ 700,00 o metro linear. Estes são, evidentemente, preços médios. Assim, a instalação de um extensômetro múltiplo num furo de sondagem NX, com 30 metros de extensão, implicaria num custo de Cr\$ 21.000,00, apenas para execução do furo de sondagem. Considerando-se que a instalação deste instrumento implica ainda no custo de injeção das ancoragens e dos homens/hora, consumidos durante as tarefas de instalação, concluir-se-á que a instalação propriamente dita custará cerca de duas vezes o custo de aquisição do instrumento.

Pode-se pois, como ordem de grandeza, atribuir ao custo de instalação, 20 a 30% do custo total do projeto de instrumentação.

#### VII.4 - Custo da Operação dos Instrumentos e Interpretação dos Dados

Enquanto que as parcelas de custos analisados nos itens precedentes constituíam parcelas bem definidas, o custo da operação e interpretação dos dados constitui uma parcela bastante difícil de ser analisada. Isto decorre do fato destas operações constituírem na fase inicial da instrumentação de uma lavra uma parcela constantemente variável com o tempo e, posteriormente, ser função direta do período de observação considerado. Em se tratando de obras de engenharia civil, como as barragens, por exemplo, este período de observação deveria coincidir com a vida útil da obra, em geral 50 anos. No caso de minerações, como as lavras a céu aberto, este período pode ser de apenas alguns anos, consequência da desatinação da região instrumentada da lavra, ou então de várias décadas, função do tempo de exploração da mina.

Em função destas ponderações, observa-se que a maneira mais racional para a consideração dos custos de operação e interpretação, seria o cálculo do custo anual destas parcelas. Desconhecendo-se, porém, cálculos desta natureza e considerando-se a falta de elementos

para a elaboração dos mesmos, cita-se apenas que a parcela destes custos, em relação ao total da instrumentação, deve atingir algo entre 40 a 60%.

Stanley Wilson (1974), num simpósio sobre instrumentação de barragens de terra e enrocamento, proferido em Ilha Solteira, atribuiu as seguintes porcentagens para o custo da instrumentação de barragens de terra.

a. Custo dos instrumentos	20%
b. Custo das instalações	30%
c. Custo do acompanhamento e da interpretação	50%

Num cálculo recente, dos custos envolvidos no projeto de instrumentação das estruturas de concreto de uma de nossas grandes barragens, o autor chegou aos seguintes resultados:

a. Custo do projeto	20%
b. Custo dos instrumentos	
b.1 Importados	10%
b.2 Confeccionados na obra	10%
c. Custo de instalação	60%

Nestes cálculos não foram computados os custos variáveis, isto é, de operação e interpretação dos dados.

No que concerne ao custo da instrumentação em relação ao custo total da obra, cita-se que em se tratando de barragens, este custo é da ordem de 0,1 a 0,2% e, em grandes túneis europeus, da ordem de 1 a 3%. A este respeito, Franciss (1975) observa que graças à instrumentação de túneis é que os europeus puderam partir para o desenvolvimento de novos processos construtivos, como o Novo Método Austríaco para a Abertura de Túneis, que tem possibilitado economias significativas em projetos recentes.

TABELA I - TEODOLITOS

INSTRUMENTO	RESOLUÇÃO (SEGUNDOS DE ARCO)		AMPLIAÇÃO DA IMAGEM	DISTÂNCIA MINI- MA DE VISADA (m)	PESO DO INSTRU- MENTO (kg)	FABRICANTE
	GRADUADA	ESTIMADA				
KERN DKM1	10"	1"	x 20	0,9	1,8	KERN
KERN DKM2-A	1"	0,1"	x 30	1,7	6,2	KERN
KERN DKM3	0,5"	0,1"	x 45	5,0	12,2	KERN
WATTS ST 302	10"	2"	x 28	1,8	5,4	RANK
WATTS ST 200	1"	0,5"	x 28	1,8	6,3	RANK
T-202A	10"	3"	x 28	1,8	5,0	SUNRAY FUJI KOH
THEO 010A	1"	0,1"	x 30	2,0	4,5	VEB CARL ZEISS JENA
WILD T2	1"	0,5"	x 28	1,5	5,6	WILD HEERBRUGG
WILD T3	0,2"	0,1"	x 40	3,6	11,2	WILD HEERBRUGG

TABELA II - DISTANCIÔMETROS ELETRO-ÓTICOS

INSTRUMENTO	FONTE DE LUZ	CAMPO DE LEITURA (m)	TEMPO DE MEDIÇÃO (s)	RESOLUÇÃO (mm)	PESO (kg)	FABRICANTE
3800 A/B	DIODO INFRA VERMELHO DE ARSENITO DE GÁLIO	3000	120	± 5	14,2	HEWLETT PACKARD
ME 3000 (MEKONETER)	LUZ BRANCA	3000	120	± 0,1	17	KERN
DM 1000	DIODO INFRA VERMELHO DE ARSENITO DE GÁLIO	2500	15	± 2-8	9,9	KERN
MA 100	DIODO INFRA VERMELHO DE ARSENITO DE GÁLIO	2000	30	± 1,5	17,3	TELLUROMETER
CD 6	DIODO INFRA VERMELHO DE ARSENITO DE GÁLIO	2000	6	± 5	2,5	TELLUROMETER
EOK 2000	DIODO INFRA VERMELHO DE ARSENITO DE GÁLIO	2000	90	± 10	13	VEB CARL ZEISS JENA
DISTOMAT DI 10	DIODO INFRA VERMELHO DE ARSENITO DE GÁLIO	2000	15	± 5-10	17,8	WILD HEERBRUGG
DISTOMAT DI 3	DIODO INFRA VERMELHO DE ARSENITO DE GÁLIO	400	10	± 5-10	8,8	WILD HEERBRUGG

TABELA III - MEDIDORES DE JUNTA

INSTRUMENTO	PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO	BASE DE LEITURA (mm)	CAMPO DE LEITURA (mm)	SENSIBILIDADE (mm)	FABRICANTE
ALONGÂMETRO	MECÂNICO	300/400/500	5	0,001	LNEC-LISBOA
ALONGÂMETRO TIPO IPT	MECÂNICO	1500 a 2500	1000	0,5	IPT-DMGA
DEFORMETER	MECÂNICO	250/500	5	0,002	HUGGENBERGER
FISSUROMETER	MECÂNICO OU ELÉTRICO		5 100	0,001 0,01	INTERFELS
MULTI-POSITION STRAIN GAUGE	MECÂNICO	50/250	5	0,002	SOILTEST
TELESCOPE DEFORMETER	MECÂNICO	1200	100	0,05	INTERFELS
PORTABLE ROD MICROMETER	MECÂNICO	150-175 150-1525	25 1375	0,01 0,01-0,1	SOIL INSTRUMENTS
PORTABLE TUBE EXTENSOMETER	MECÂNICO	150-250 150-1350	100 100	0,01 0,01-0,05	SOIL INSTRUMENTS
TRANSMITTER MDS-56	CORDA VIBRANTE	114	6	0,006	MAUIAK

TABELA IV - EXTENSÔMETROS DE SUPERFÍCIE DE GRANDE BASE					
INSTRUMENTO	PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO	COMPRIMENTO DE MEDIDA (m)	CAMPO DE LEITURA	SENSIBILIDADE (mm)	FABRICANTE
DISTONETER JSETH	FIO INVAR TENSIONADO ENTRE DOIS PONTOS DE ANCORAGEM	1,0 ~ 30	100 mm + COMPR. FIO	0,01	INSTITUT FÜR STRASSEN UND UNTERTAGBAU (ZURICH)
CONVERGENCE METER	TRENA DE AÇO TENSIONADA ENTRE DOIS PONTOS DE ANCORAGEM	1,5 - 30	50 mm + COMPR. TRENA	0,015 - 0,3	INTERFELS
TAPE EXTENSOMETER	TRENA DE AÇO TENSIONADA ENTRE DOIS PONTOS DE ANCORAGEM	0,6 - 15 0,6 - 22	50 mm + COMPR. TRENA	0,12	TERRAMETRICS
TAPE EXTENSOMETER RM-200	TRENA DE AÇO TENSIONADA ENTRE DOIS PONTOS DE ANCORAGEM	3 - 13	10 m	0,12	SOILTEST
TAPE EXTENSOMETER RM-250	TRENA DE AÇO TENSIONADA ENTRE DOIS PONTOS DE ANCORAGEM	3 - 27	24 m	0,12	SOILTEST
REED INVAR TAPE EXTENSOMETER RM-100/105/110e115	SISTEMA DE TUBOS TELESCÓPICOS	0,9 - 7,5	50 mm + COMPR. TUBOS	0,02	SOILTEST

TABELA V - EXTENSÔMETROS DE HASTE							
INSTRUMENTO	Nº MÁXIMO DE ANCORAGENS	TIPO DE ANCORAGEM	DIÂMETRO DA SONDAJEM (mm)	* CAMPO DE LEITURA (mm)	SENSIBILIDADE DE (mm)	FABRICANTE	
SINGLE ROD EXTENSOMETER	1	INJETADA	25	10	0,01/0,1	INTERFELS	
ROD EXTENSOMETER	1	MECÂNICA	3,5 a 5,0	25	0,025	SOILTEST	
DPRX MECHANICAL EXTENSOMETER	2	MECÂNICA	50	25/75/100	0,025/0,075/0,5	SLOPE INDICATOR	
EXTENSÔMETRO MÚLTIPLO DE HASTES	6	INJETADA	76	50	0,01	IPT-DMGA	
ROCMETER	6	INJETADA	76	50	0,01	HUGGENBERGER	
MULTIPLE POSITION ROD EXTENSOMETER	6	INJETADA C/RESINA	5,7	25	0,025	SOILTEST	
MULTIPLE ROD EXTENSOMETER	6	INJETADA	84	100	0,01	SOIL INSTRUMENTS	
MULTIPLE ROD EXTENSOMETER	8	INJETADA	60	10	0,01/0,1	INTERFELS	

\* Campo de leitura sem reinstalação

TABELA VI - EXTENSÔMETROS DE FIO						
INSTRUMENTO	Nº MÁXIMO DE ANCORAGENS	TIPO DE ANCORAGEM	DIAMETRO DA SONDAGEM (mm)	CAMPO DE LEITURA (mm)	SENSIBILIDADE DE (mm)	FABRICANTE
EXTENSÔMETRO MÚLTIPLOS DE FIOS	6	MECÂNICA	76	20	0,01	IPT-DMGA
RECTILINEAR EXTENSOMETER	6	INJETADA OU MECÂNICA	50 a 100	50	0,05	SLOPE INDICATOR
BOREHOLE ELONGAMETER	8	INJETADA	75	5/75	0,02/0,4	TELEMAC
MULTIPLE POSITION EXTENSOMETER	8	MECÂNICA OU INJETADA	35/57	50/89	0,01	TERRAMETRICS

\* Campo de leitura sem reinstalação



TABELA VII - INCLINÔMETROS

INSTRUMENTO	TIPO DE TRANSDUTOR	DIMENSÕES DO TUBO GUIA (mm)	CAMPO DE LEITURA		SENSIBILIDADE		FABRICANTE
			mm/m	GRAU	mm/m	SEG.	
SLOPE READER	NÍVEIS ELETROLÍTICOS	φ 51	± 17 ± 87 ± 175	+ 1° + 5° + 10°	0,005 0,1 0,4	1" 20" 70"	EASTMAN
P - 600 INCLINOMETER	CORDA VIBRANTE	50 x 50	± 116 ± 792	+ 6° + 45°	0,5 4,5	100" 900"	GEONOR
INCLINÔMETRO GS - ISG	EXTENSÔMETRO ELÉTRICO DE RESIST.	φ 86			0,4	72"	GEOSISTEMAS
MDS - 83	CORDA VIBRANTE	φ 90	± 116 ± 290 ± 577	+ 6° + 15° + 30°	0,03 0,08 0,16	6" 16" 32"	MAIHAK
200 B INCLINOMETER	RESISTÊNCIA VARIÁVEL	φ 86	± 210	+ 12°	0,9	180"	SLOPE INDICATOR
DIGITILT	SERVO ACELERÔMETROS	φ 32/38/48/70	± 577 ∞	+ 30° + 90°	0,05	10"	SLOPE INDICATOR
INCLINOMETER	EXTENSÔMETRO ELÉTRICO DE RESISTÊNCIA	φ 50	± 360 ± 467	+ 20° + 25°	0,2 2,0	36" 360"	SOIL INSTRUMENTS
SLOPE METER C - 350	EXTENSÔMETRO ELÉTRICO DE RESISTÊNCIA	45 x 45	± 577	+ 30°	0,075	15"	SOILTEST
MPF BOREHOLE CLINOMETER	CORDA VIBRANTE	φ 90	± 290	+ 15°	0,95	190"	TELEMAC
MINI PROBE MP-20,21 e 22	SERVO ACELERÔMETROS	φ 40	± 467 ± 792 ∞	+ 25° + 45° + 90°	0,04 - -	8" - -	TERRA TECHNOLOGY
TERRA PROBE TP-2, TP-22	SERVO ACELERÔMETROS	φ 71/86	± 467 ± 792 ∞	+ 25° + 45° + 90°	0,04 - -	8" - -	TERRA TECHNOLOGY

TABELA VIII - CLINÔMETROS

INSTRUMENTO	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	CAMPO DE LEITURA		SENSIBILIDADE		FABRICANTE
		mm/m	GRAUS, MIN.	mm/m	SEGUNDOS	
STAND CLINOMETER	NÍVEL DE BOLHA DE PRECISÃO	58	3°	0,01	2"	HUGGENBERGER
CLINOMETERS MDS-81/82	CORDA VIBRANTE	± 175	± 10°	0,01	2"	MAIHAK
		± 360	± 20°	0,025	5"	
		± 840	± 40°	0,005	10"	
TALYVEL	INDUTÂNCIA MAGNÉTICA	± 2,50	± 8'	0,10	20"	RANK TAYLOR HOBSON
		± 0,50	± 2'	0,02	4"	
		± 0,25	± 1'	0,01	2"	
DIGITILT TILTMETER	RESISTÊNCIA VARIÁVEL	± 577	± 30°	0,05	10"	SLOPE INDICATOR
PORTABLE CLINOMETER	NÍVEL DE BOLHA DE PRECISÃO	± 75	± 4°	0,01-0,1	2"-20"	SOIL INSTRUMENTS
TILTMETER STAND C-355	EXTENSÔMETRO ELÉTRICO DE RESISTÊNCIA	± 577	± 30°	0,075	15"	SOILTEST
FIXED CLINOMETER MP-100	CORDA VIBRANTE	± 1,9 ± 10	± 6' ± 32'	0,001 0,01	0,2" 2"	TÉLFMAC

TABELA IX - DEFLETÔMETROS

INSTRUMENTO	DIÂMETRO DA SONDAGEM (mm)	EXTENSÃO MÁXIMA (m)	CAMPO DE LEITURA		SENSIBILIDADE		FABRICANTE
			mm/m	min.	mm/m	seg.	
MULTIPLE POSITION DEFLECTOMETER	76 - 100		± 12	40'	0,03	6"	TERRAMETRICS
SINGLE OR CHAIN DEFLECTOMETER	115 - 135	60	± 10	35'	0,1-0,01	20"-2"	INTERFELS
IN-PLACE INCLINOMETER	115	TEORICAMENTE ILLIMITADA	± 80	274'	0,008	1,6"	SLOPE INDICATOR
SHEAR STRIP	76	61/122	-	-	2-50	7°-170°	TERRAMETRICS

TABELA X - PIEZÔMETROS E MEDIDORES DE NÍVEL D'ÁGUA

PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO	TIPO DE FILTRO	CAMPO DE LEITURA (kgf/cm <sup>2</sup> )	SENSIBILIDADE (kgf/cm <sup>2</sup> )	FABRICANTE
TUBO ABERTO ("STAND PIPE")	TUBO DE PVC PERFORADO + AREIA	0 - ∞	0,01 m. c. a	OBRA
TUBO ABERTO (TIPO CASAGRANDE)	CERÂMICA OU BRONZE SINTERIZADO	0 - ∞	0,01	OBRA, SOILTEST, GEONOR
HIDRÁULICO	CERÂMICA OU METAL SINTERIZADO	0 - 50	0,01	GLOETZL
HIDRÁULICO	CERÂMICA	0 - 30	0,03	SOIL INSTRUMENTS
PNEUMÁTICO	PEDRA POROSA			GEOSISTEMAS
PNEUMÁTICO	CERÂMICA OU METAL SINTERIZADO	0 - 20	0,004	GLOETZL
PNEUMÁTICO	AÇO INOX	0-17,6/56,4	0,017/0,056	TERRA TECHNOLOGY
PNEUMÁTICO	PEDRA POROSA	0-4,2/140	0,02/0,14	SINCO
PNEUMÁTICO	CERÂMICA	0 - 30	0,03	SOIL INSTRUMENTS
RESISTÊNCIA ELÉTRICA	AÇO INOX SINTERIZADO	0-1,75/14	0,007/0,056	CARLSON, TERRAMETRICS
RESISTÊNCIA ELÉTRICA	AÇO INOX	0-17,6/140	0,044/0,35	TERRA TECHNOLOGY
CORDA VIBRANTE	CERÂMICA OU BRONZE SINTERIZADO	0 - 2/20	0,002/0,02	TELEMAC
CORDA VIBRANTE	CERÂMICA	0 - 2/30	0,002/0,03	MAIHAK

TABELA XI - CÉLULAS DE CARGA PARA TIRANTE

INSTRUMENTO	PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO	CARGA MÁXIMA (TON.)	PRECISÃO (% ESCALA TOTAL)	FABRICANTE
PHOTOELASTIC ROCK BOLT LOAD CELL	FOTOELÁSTICA	13,5	0,5	TERRAMETRICS
CÉLULA DE CARGA PARA TIRANTE	MECÂNICA	20/30/60	2,0	IPT-DMGA
DISK LOAD CELL	MECÂNICA	40/90/120/170/ 230	2,0	INTERFELS
RING - TYPE FORCE TRANSDUCER NDS-05	CORDA VIBRANTE	20/50/100/200/ 300	0,2 - 0,03	MAIHAK
PRESTRESSING CABLE DYNAMOMETER	CORDA VIBRANTE	50/250/500	0,1 - 0,2	TELEMAC
HOLLOW LOAD CELL	CORDA VIBRANTE	10/25/50/100/ 150/200	0,2	SOIL INSTRUMENTS
ROCK BOLT LOAD CELL	RESISTÊNCIA ELÉTRICA	20/40/150/300/ 600/1250	0,05 0,02	TERRAMETRICS
LOAD CELL FOR ANCHORS	HIDRÁULICA	25/50/75/100/ 200	1,0	GLOETZL

TABELA XII - MEDIDOR DE RUIDOS

INSTRUMENTO	NÚMERO DE CANAIS	DETECTOR	AMPLIAÇÃO E CAMPO DE FREQUEN - CIA	SAÍDA	FABRICANTE
GEOMONITOR MS-1	1	GEOFONE DE CRISTAL INSTALADO EM FURO DE SONDAGEM	$1,5 \times 10^6$ $1,5-50.000\text{Hz}$	FONES DE OUVIDO	SLOPE INDICATOR
GEOMONITOR MS-2	até 8	GEOFONE DE CRISTAL INSTALADO EM FURO DE SONDAGEM	$1,5 \times 10^6$ $1,5-50.000\text{Hz}$	REGISTRO EM FITAS	SLOPE INDICATOR

TABELA XIII - PERISCÓPIOS PARA SONDAGEM

INSTRUMENTO	DIAMETRO EXTERNO (mm)	PROFUNDIDADE LIMITE (m)	AMPLIAÇÃO DA IMAGEM	RETICULO (mm)	SONDAGEM MÍNIMA	FABRICANTE
BOREHOLE PERISCOPE PB-34	56	34	x 1,5		BX	EASTMAN INTERNATIONAL E INTERFELS
U.S.B.M. BX	51	6		1,2	BX	U.S. BUREAU OF MINES
U.S.B.M. AX	25	3	x 2 a 4	1,2	AX	U.S. BUREAU OF MINES
RM-597	32	7,5	x 1,1 a 5,5	1,2	EX	SOILTEST
RM-595	32	3	x 0,5 a 1,2	1,2	EX	SOILTEST

TABELA XIV - CÂMARAS FOTOGRÁFICAS PARA SONDAGEM

INSTRUMENTO	DIMENSÕES DA CÂMARA (mm)		ENERGIA FORNECIDA	SONDAGEM MÍNIMA	PROFUNDIDADE LIMITE (m)	FABRICANTE
	φ EXT.	COMPR.				
BIRDWELL	115	1220	115 v 60 Hz	φ 6"	2400	SEISCO CORP., TULSA, OKLAHOMA
LAVAL	121	890	110 v 60 Hz	φ 6"		AV ELECTRONICS, INC, FRESNO, CALIFORNIA
REPUBLIC NX	70	760	110 v 60 Hz	φ 3"	2100	REPUBLIC RES. ST. PAUL, MINNESOTA
PENNDRILL	143	1530	110 v 60 Hz	φ 6"	360	PENNSYLVANIA DRILLING CO., PITTSBURGH, PA.



TABELA XV - CÂMARAS DE TELEVISÃO PARA SONDAGEM

INSTRUMENTO	DIMENSÕES DA SONDA		PESO (Kg)	FONTE DE LUZ	SONDAGEM MÍNIMA	PROFUNDIDADE LÍMITE (m)	FABRICANTE
	φ EXT. (mm)	COMPR. (mm)					
LAVAL	120	1270	20	LÂMPADA IN - CANDESCENTE (110v-60Hz)	φ 6"	90	AV. ELECTRONIC, INC., FRESNO, CALIFORNIA
EASTMAN FB-500	64	1370	30	LÂMPADA IN - CANDESCENTE (220v-60Hz)	φ 3"	500	EASTMAN INTERNATIONAL E INTERFELS
OCEANOGRAPHIC	76	510	10	CÉLULA DE NEÔNIO (110v)	φ 4"	1200	OCEANOGRAPHIC ENGINEERING, SAN DIEGO, CALI- FORNIA
LAWRENCE	64				φ 3"		LAWRENCE RADIATION LAB., LIVERMORE, CALIF.

TABELA XVI - CUSTO APROXIMADO DOS PRINCIPAIS INSTRUMENTOS UTILIZADOS EM MECÂNICA DAS ROCHAS (JULHO DE 1976)

INSTRUMENTO	PREÇO FOB EM CRUZEIROS
TEODOLITO DE PRECISÃO	10.000,00 - 20.000,00
NÍVEL DE PRECISÃO	10.000,00 - 20.000,00
MEDIDOR DE JUNTA TIPO ALONGÂMETRO	~ 20.000,00
MEDIDOR DE CONVERGÊNCIA	15.000,00 - 20.000,00
EXTENSÔMETRO MÚLTIPLO COM 3 HASTES (30 m)	~ 17.000,00
INCLINÔMETRO (1)	25.000,00 - 70.000,00
TUBO GUIA DO INCLINÔMETRO	30,00/m1
DEFLETÔMETRO	
PIEZÔMETRO PNEUMÁTICO (2)	~ 1.200,00
PIEZÔMETRO DE CORDA VIBRANTE (3)	~ 7.000,00
CÉLULA DE CARGA PARA TIRANTE (50 ton)	5.000,00 - 12.000,00
DETECTORES DE MICRO RUÍDOS	15.000,00 - 65.000,00
DISTANCIÔMETRO ELETRO-ÓTICO	34.000,00 - 150.000,00

(1) Custo do equipamento completo incluindo torpedo, cabo e aparelho de leitura.

(2) Os equipamentos de leitura (portáteis) custam de Cr\$. 3.000,00 a Cr\$. 8.000,00.

(3) O aparelho de leitura custa cerca de Cr\$ 50.000,00.

## VIII. - BIBLIOGRAFIA

### VIII.1 - INSTRUMENTAÇÃO DE TALUDES

- BARRON, K.; HEDLEY, D.G.F. e COATES, D.F. (1971) - "Field Instrumentation for Rock Slopes", Proc. I Int. Conf. on Stability in Open Pit Mining (Capítulo 9), Vancouver, Canada (pg. 143 a 167).
- CARVALHO, O.S. (1975) - "Estabilidade de Taludes, Otimização do Projeto por Meio de Instrumentação Geomecânica", Revista "Construção Pesada", nº 56 - São Paulo.
- DURR, D.L. (1974) - "An Embankment Saved by Instrumentation", Transp. Research Record 482, TRB, National Research Council - Washington, D.C.
- FRANKLIN, J.A. e DENTON, P.E. (1973) - "The Monitoring of Rock Slopes", The Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol.6, nºs. 3 e 4 - Londres e Edinburgh.
- HARTMANN, B. (1967) - Discussões do 1º Congresso Internacional da ISRM, Vol. III, pg. 444 a 447 - Lisboa, Portugal.
- HARTMANN, B. (1968) - "Slope Stability Instrumentation", Proc. 9º Symp. on Rock Mechanics - Colorado, U.S.A. (pag. 235 a 243).
- HOEK, E. e BRAY, J.W. (1974) - "Monitoring and Interpretation of Slope Displacements", pag. 247 do livro Rock Slope Engineering, The Inst. of Mining and Metallurgy, Londres.
- KENNEDY, B.A. e NIERMEYER, K.E. (1970) - "Slope Monitoring Systems Used in the Prediction of a Major Slope Failure at the Chuquicamata Mine, Chile", South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg (pg. 215 - 225).
- KENNEDY, B.A. (1971) - "Methods of Monitoring Open Pit Slopes", 13º Symp. on Rock Mechanics, Illinois (pg. 537-572).
- PATTON, F.D. e HENDRON JR., A.J. (1974) - "Monitoring Slide Movements", General Report on "Mass Movements", Anais do 2º Congresso Int. da IAEG, Vol. 2, Tema V-São Paulo, SP (pg. 52-53).
- RAMOS, J.M.S.; ABRÃO, P.C. e GUIMARÃES, P.F. (1974) - "Slope Stability Studies at CVRD Cauê Mine - Itabira, Brazil", Anais do 2º Congr.Int.da IAEG, Vol.2, Tema V-24 - São Paulo, S.P.
- TICE, J.A. e SAMS, C.E. (1974) - "Experiences With Landslide instrumentation in the Southeast", Transp. Research Record 482, TRB, National Research Council - Washington, D.C.
- WILSON, S.D. (1967) - "Investigation of Embankment Performance", Jour

nal of the Soil Mech. and Found. Division, Proc. ASCE Vol.93, nº SM4 (pg. 135 a 156).

WILSON, S.D. (1969) - "Observational Data on Ground Movements Related to Slope Instability", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Proc. ASCE Illinois, U.S.A. (pg. 1519 a 1544).

WILSON, S.D. (1974) - "Landslide Instrumentation for the Minneapolis Freeway", Transp. Research Record 482, TRB, National Research Council-Washington, D.C.

### VIII.2 - INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA

ASHKENAZI, V. (1974) - "The Measurements of Spatial Deformation by Geodetic Methods", Proc. Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering-Londres (pg. 1 - 12).

CUNIETTI, M.; MARAZIO, A. e VERONESE, F. (1973) - "Considerations Générales Sur le Contrôle du Comportment des Barrages Moyennant Procédés Géodésiques", Revista L'Energia Elettrica, nº 3.

EGGER, K. (1970) - "Mediciones Geodésicas de Precisión em Muros de Presas", Artigo publicado na revista "Der Vermessungstechniker", nº 1.

ICOLD (1972) - "Note on the Application of Geodetic Methods to the Determination of the Movements of Dams", Bulletin nº 23 da ICOLD (Int. Commission on Large Dams).

KERN "Precision Measurement Equipments" - Suíça

WATT, I.B. (1971) - "Control for Early Warning of Potential Danger in Open Pit", Proc. Symp. on the Theoretical Background on the Planning of Open Pit Mines with special reference to Slope Stability. Publicação do South African Inst. Min. Met.

WILD - "La Nivelacion" e "El Teodolito y su Empleo", Publicações da Wild Heerbrug, Suíça.

WILD "El Método Geodésico para la Determinación de Deformaciones de Diques de Embalse", Publicação da Wild para o Serviço Topográfico Federal de Wabern-Berna Suíça.

### VIII.3 - EXTENSÔMETROS MÚLTIPLOS

BRUGMAN, B.J. (1968) - "Deformation Measurement in Rock With Wight Point Extensometer", Symp. on Rock Mechanics, ISRM - Madri,

Espanha (pg. 65-69).

- DUTRO, M.B. e STEWART, D.R. (1968) - "Multiple Position Borehole Extensometers", Instruction Manual, Terrametrics, Inc.
- DUTRO, H.B. e DICKINSON, R.O. (1974) - "Slope Instrumentation Using Multiple-Position Borehole Extensometers", Transp. Research Record 482 TRB, National Research Council-Washington, D.C.
- HARTMANN, B. (1967) - Discussões do Tema IV do 1º Congresso Internacional da ISRM, Vol. II - Lisboa (pg. 444 - 447).
- HEDLEY, D.G.F. (1969) - "Design Criteria for Multi-Wire Borehole Extensometer Systems", I Canadian Symp. on Min. Surveying and Rock Deformation Measurements - Fredericton, Canada.
- NASCIMENTO, U; FALCÃO, J.C.B. e PINELO, A (1974) - "Extensometric Rods in Slope Observation", Anais do 2º Congresso Int. da IAEG., Vol. 2, Tema V-20 - São Paulo, SP.
- SILVEIRA, J.F.A. (1974) - "Aplicação de Extensômetros Múltiplos na Observação de Deformações em Maciços Rochosos", Seminário apresentado no curso de pós-graduação PMI-871, Escola Politécnica da USP.

#### VIII.4 - INCLINÔMETROS

- BUTLER, D.K. (1974) - "Laboratory Calibration and Field Performance of Inclínometers", Field Testing and Instrumentation of Rock, ASTM STP 554 (pag. 73-80).
- COOK, R.W. e PRICE, G. (1973) - "Horizontal Inclínometers for the Measurement of Vertical Displacement in the Soil Around Experimental Foundations", Proc. Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering - Londres (pg. 112-125).
- CORNFORTH, D.H. (1973) - "Performance Characteristics of the Slope Indicator Series 200-B Inclínometer", Proc. Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering - Londres (pg. 126 - 135).
- COSTA FILHO, L.M. e GATTASS, M. (1975) - "Observações sobre o Comportamento de 2 Inclínômetros", Trabalho apresentado no Simp. de Instrumentação, COPPE/UFRJ-Rio de Janeiro, GB.
- GREEN, G.E. (1973) - "Principles and Performance of two inclinometers for Measuring Horizontal Ground Movements", Proc. Symp on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering - Londres (pg. 166 - 179).

- GREEN, G.E. (1976) - "Suggested Methods for Monitoring Rock Movements Using Inclínometers and Tiltmeters", Publicação da ISRM.
- SHERWOOD, D.E. e CURREY, B. (1973) - "Experience in Using Electrical Tiltmeters", Proc., Symp on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering - Londres (pg. 382 - 395).
- TESCH, W.J. (1973) - "Field Operation of the Bureau of Mines Automatic Recording Borehole Inclínometer Probe", Bureau of Mines Information Circular IC 8585.

#### VIII.5 - INSTRUMENTAÇÃO PARA A OBSERVAÇÃO DE TENSÕES EM MACIÇOS ROCHOSOS

- AGGSON, J.R. (1973) - "Bureau of Mines Borehole Deformation Gage for Determining In Situ Stress", Bureau of Mines Information Circular, IC 8585.
- BONNECHÈRE, F. e FAIRHURST, C. (1969) - "Results of on "In Situ" Comparison of Different Techniques for Rock Stress Determination", Int. Symp. on the Det. of Stresses in Rock Masses, Paper nº 14 - LNEC, Lisboa (pg. 334-358).
- CRUZ, R.V. e GOODMAN, R.E. (1969) - "The Borehole Deepening Method of Stress Measurement", Int. Symp. on the Det. of Stresses in Rock Masses, Paper nº 7 - LNEC, Lisboa (pg. 230-244).
- DENKHAUS, M.G. (1968) - "The Significance of Stress in Rock Masses", Proc. Symp. on Rock Mechanics, Tema III - Madri (pg. 263 - 272).
- HAWKES, I. (1969) - "Photoelastic Strain Gauges and In Situ Rock Stress Measurements", Int. Symp. on the Determination of Stresses in Rock Masses, Paper nº 15 - LNEC, Lisboa (pg. 359 - 375).
- HOOPER, J.A. (1972) - "The Theory and Design of Photoelastic Load Gauges Incorporating Glass Element Transducers", Int. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 9 (pg. 363-401).
- LEEMAN, E.R. (1964) - "The Measurement of Stress in Rock", Journal of the South African Institute of Min. and Met.
- LEEMAN, E.R. e HAYES, D.J. (1966) - "A technique for Determining the Complete State of Stress in Rock Using a Simple Borehole", Anais do 1º Congr. Int. da ISRM - Lisboa.
- LEEMAN, E.R. (1969-a) - "The CSIR Doorstopper and Triaxial Rock Stress Measuring Instruments", Int Symp on the Det. of Stresses in Rock Masses, paper nº 28 - LNEC, Lisboa (pg. 578-616).
- LEEMAN, E.R. (1969-b) - "The Measurement of Stress in Rock: A Riview

of Recent Developments (and a Bibliography)", Int. Symp. on The Det. of Stresses in Rock Masses, Paper nº 6 - LNEC, Lisboa (pg. 200 - 229).

MIDEA, N.F. (1969) - "Tensões Internas nos Maciços Rochosos", Relatório interno da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do I.P.T.- São Paulo.

NICHOLS, T.C.; ABEL, J.F. e LEE, F.T. (1968) - "A Solid - Inclusion Borehole Probe to Determine Three-Dimensional Stress Changes at a Point in a Rock Mass, "U.S. Geological Survey Bulletin 1258-C.

NIEBLE, C.M. e MIDEA, N.F. (1973) - "Métodos de Determinação de Tensões Virgens em Maciços Rochosos. Estado Atual das Técnicas de Investigação", Anais da 3ª Semana Paulista de Geologia Aplicada - São Paulo - SP.

ROBERTS, A. (1966) - "Photoelastic Instrumentation for Strata Control and Rock Mechanics", Anais do 1º Congresso Int. da ISRM, Vol. II - Lisboa.

ROCHA, M. e SILVÉRIO, A. (1969) - "A New Method for the Complete Determination of State of Stress in Rock Masses", Int. Symp. on the Determination of Stresses in Rock Masses, Paper nº 18 LNEC, Lisboa (pag. 405 - 430).

SUZUKI, K. (1969) - "Theory and Practice of Rock Stress Measurement by Borehole Deformation Method", Int. Symp. on the Det. of Stresses in Rock Masses, Paper nº 4 - LNEC, Lisboa (pg. 173-182).

TALAPATRA, D.C. e UDD, J.E. (1969) - "A Photoelastic Study of Stress Relief by Overcoring", Int. Symp. on the Det. of Stresses in Rock Masses, Paper nº 3 - LNEC, Lisboa (pg. 157 - 172).

TERRAMETRICS (1968) - "Horstman Photoelastic Stressmeter", - TERRAMETRICS Technical Bulletin.

WILLIAMS, F.T. (1973) - "The Behavior of Stress Measuring Devices in Rocks of Various Types", Proc. Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering, Londres (pg. 462 - 474).

#### VIII.6 - INSTRUMENTAÇÃO PIEZOMÉTRICA

ABRÃO, P.C., GUIMARÃES, P.F. e RAMOS, J.M.S. (1975) "Piezometric Investigation at CVRD Cauê Mine, Itabira, Brazil", V Congr. Panamericano de Mec. Solos e Eng. Fund., Tema III - Buenos Aires (pag. 357 - 366).

HOEK, E. e BRAY, J.W. (1974) - "Measurement of Water Pressures" pg.

- 125 do livro Rock Slope Engineering, The Inst. of Mining and Metallurgy, Londres.
- HVORSLEV, M.S. (1951) - "Time Lag and Soil Permeability in Ground Water Observations", Bulletin nº 36, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Miss. U.S.A.
- ORTIGÃO, J.A.R. (1975) - "Piezômetros Hidráulicos Fabricados pelo IPR", Trabalho apresentado no Simp. sobre instrumentação COPPE/UFRJ - Rio de Janeiro, GB.
- PATERSON, A.C. (1973) - "Castlandhill Piezometers", Proc. Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering Londres (pg. 332 - 340).
- PENMAN, A.D.M. (1960) - "A Study of the Response Time of various Types of Piezometers", Proc. Conference on Pore Pressure and Suction in Soils, Butterworths, Londres (pg. 53 - 58).
- S.E.I.L. (1969) - "The Piezofor, Continous Membrane Borehole Piezometer", Piezometric Measurements, Societé d'Études Industrielles in Laboratorie, França.
- VAUGHAN, P.R. (1973) - "The Measurement of Pore Pressures with Piezometers", Proc. Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering - Londres (pg. 411 - 422).
- WARLAM, A.A. e THOMAS, E.W. (1965) - "Measurement of Hydrostatic Uplift Pressure on Spillway Weir With Air Piezometer", Instruments and Apparatus for Soil and Rock Mechanics, ASTM-STP 392 (pg.143-151).

#### VIII.7 - CÉLULAS DE CARGA PARA TIRANTES

- COSTA NUNES e DIAS, V. (1975) - "Alguns Resultados da Verificação - Sistemática da Capacidade de Carga de Ancoragens", Anais do X Seminário Nacional de Grandes Barragens, Curitiba, PR.
- DMGA-IPT (1975) - "Observação de Carga em Tirantes Instalados no Trecho Serra da Rodovia dos Imigrantes", Relatório nº 8.357 do IPT, Divisão de Minas e Geologia Aplicada.
- ISRM (1974) - "Suggested Method for Monitoring Rockbolt Tension Using Load Cells", Commettee on Field Tests, da ISRM, Document nº 2 (pg. 14 a 16).
- LITTLEJOHN, C.S. e BRUCE, D.A. (1975) - "Rock Anchors-Design and Quality Control", 16º Simp. Int. de Méc.Rochas-Mineapolis,U.S.A.
- MARTINS, M.C.R.; MASSAD, E. e NAVARRO NETO, O. (1974) - "A Permanên



- cia de Carga em Tirantes", Anais do V Congr. Brasileiro de Mec. dos Solos, Vol. I, Tema 2 - São Paulo, SP (pag. 117 a 133).
- MORI, M. (1975) - "Observações sobre o Comportamento de Tirantes Permanentes da Rodovia dos Imigrantes - Trecho Serra" Trabalho apresentado no Simp. sobre Instrumentação, COPPE/UFRJ - Rio de Janeiro, GB.
- SILVEIRA, J.F.A. (1975) - "Um Método de Interpretação Quantitativa dos Resultados Obtidos na Observação de Carga de Tirantes em Rocha", Anais do Simpósio sobre Instr. de Campo em Eng. de Solos e Fundações, COPPE - Rio de Janeiro, GB.

#### VIII.8 - INSTRUMENTAÇÃO PARA OBSERVAÇÕES EM FUIROS DE SONDAGEM

- EASTMAN INT. (1974) - "Instruments and Tools for Mining, Water Well and Civil Engineering" - "Drill Hole Television Camera FB-500", Publicações da Eastman Int. Co. G.m.b.H. Hannover, Alemanha.
- LUNDGRÉN, R.; STURGES, F.G. e CLUFF, L.S. (1970) - "General Guide for Use of Borehole Cameras", ASTM - STP 479, pg. 56 - 61.
- LUNDSTROM, L. (1972) - "Inspection of Drillholes by Means of a TV Camera", Int. Soc. for Rock Mech. - Stuttgart, Alemanha.
- MULLER, L. (1963) - "Optische Sondierung", Der Felsbau, Ferdinand Enke-Verlag Stuttgart (pg. 366 - 373).
- OBERT, L. e DUVALL, W.I. (1967) - "Instruments for Observations in Boreholes", Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock, John Wiley & Sons, Inc. - New York (pg. 267 - 271).
- SILVEIRA, J.F.A. (1975) - "A Instrumentação Ótica para Observações em Furos de Sondagem e sua Aplicação na Prospecção e Auscultação de Maciços Rochosos", Anais do X Seminário Nacional de Grandes Barragens - Curitiba - PR.

#### VIII.9 - INSTRUMENTAÇÃO PARA A AUSCULTAÇÃO DE MICRO-RUÍDOS

- BRADY, B.T. (1974) - "Seismic Precursors Prior to Rock Failures in Mines", Bureau of Mines - Denver, Colorado, USA.
- HOOVER, T. e RONALD MEARNES, E.G. (1973) - "Subaudible Rock Noise (SARN) as Measure of Slope Stability", Department of Transportation, California USA.
- LEIGHTON, F. e BLAKE, W. (1970) - "Rock Noise Source Location Techniques", Bureau of Mines Report of Investigations, RI 7432 - USA.

- LEIGHTON, F. e DUVALL, W.I. (1972) - "A Least Squares Method for Improving the Source Location of Rock Noise", Bureau of Mines Report of Investigations, RI 7626 - Colorado, USA.
- OBERT, L. e DUVALL, W.I. (1957) - "Micro-Seismic Method of Determining the Stability of Underground Openings", Bulletin 573, Bureau of Mines - USA.
- STATEHAM, R.M. e VANDERPOOL, J.S. (1971) - "Microseismic and Displacement Investigations in an Unstable Slope", Bureau of Mines Report of Investigations, RI 7470 - USA.

#### VIII.10 - OUTRAS BIBLIOGRAFIAS DE INTERESSE

- ARTHUR, J.R.F. (1973) - "Principles of Measurement", Sessão I do Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering - Londres.
- BEAUJOINT, M.N. e MARTIN, A. (1967) - "Observation du Comportement d'un Talus Naturel", Proc. 1º Congresso Internacional da ISRM. Vol. II - Lisboa (pg. 147 - 151).
- BUFE, C.G. (1971) - "Strain and Tilt Observations Near an Active Fault", Proc. 13º Symp. on Rock Mechanics, Illinois, U.S.A. (pg. 685 - 690).
- BUNDRED, J. (1973) - "In Situ Measurement of Earth Pressure and Anchor Forces for a Diaphragm Retaining Wall" Proc. Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering - Londres (pg. 52 - 69).
- BURLAND, J.B. (1973) - "The Interpretation of Field Observations" - Sessão IV do Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering - Londres.
- BURLAND, J.B. e MOORE, J.F.A. (1973) - "The Measurement of Ground Displacement Around Deep Excavations", Proc. Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering, Londres - (pg.70 - 84).
- DOODD, J.S. e ANDERSON, H.W. (1971) - "Tectonic Stresses and Rock Slope Stability, Proc. 13º Symp. Int. da ISRM, Sessão II - Illinois, USA (pg. 171 - 182).
- FRANCISS, O. (1975) - "Discussões da 5ª Sessão do Simpósio Sobre Instrumentação de Campo em Engenharia de Solos e Fundações, COPPE/UFRJ - Rio de Janeiro.
- FRIES, C.K. (1974) - "Experiences With Slides in Decomposed Schistes

and Phyllites", Proc. 2º Congr. Int. da IAEG, Vol. II, Tema V - PC-2 - São Paulo, SP.

GREEN, G.E. (1973) - "Equipment Design, Installation and Performance", Sessão II do Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering - Londres.

G.T.C.W.F. (1970) - "Qualques Développements Récents des Moyens d'Auscultation du Massif Rocheux", Proc. 10º Congr. Int. da ICOLD, Q.38, R.49 - Montreal, Canada.

HANNA, T.M. (1973) - "Foundation Instrumentation", Series on Rock and Soil Mechanics, Trans. Tech Publications - Ohio USA.

HENNIES, W.T. (1974) - "A Mecânica de Rochas Aplicada à Estabilidade de Taludes das Minas a Céu Aberto", Tese de Livre Docência apresentada ao Dept. de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP.

HOEK, E. (1972) - "Estimando a Estabilidade de Taludes Escavados em Minas a Céu Aberto", Tradução nº 4 da A.B.G.E. - São Paulo.

HOOKE, V.E. e DUVALL, W.I. (1971) - "In Situ Rock Temperature Stress Investigations in Rock Quarries", Bureau of Mines Report of Investigations, RI 7589.

JAEGER, C. (1971) - "Measurements in Rock Mechanics, Revista Water Power, Janeiro/71.

JUILLARD, H. (1958) - "Observations des Contraintes et Déformation dans les Barrages, leurs Foundations et leurs Appuis", Proc. 6º Congr. Int. da ICOLD - New York, USA.

MIDEA, N.F. e CURY, A. (1975) - "Experiência Sobre a Avaliação do Estado de Tensão em Maciços Rochosos", Anais do X Seminário Nacional de Grandes Barragens - Curitiba - PR.

MULLER, L. (1963) - "Der Felsbau" Ferdinand Elke - Verlag Stuttgart.

MULLER, G. e MULLER, L. (1970) - "Monitoring of Dams With Measuring Instruments, Proc. 10º Congr. Int. da ICOLD, Q.38, R.54 - Montreal, Canadá.

MUÑOZ, A. e GANO, D. (1974) - "The Role of Field Instrumentation in Correction of the "Fountain Slide", Transp. Research Record 482, T.R.B., National Research Council, Washington, D.C.

NASCIMENTO, U. e SIMÕES, A (1955) - "Notes on the Observation of Road and Railways Embankments and Slopes", RELEM - Symp. Sur l'Observation des Ouvrages, Lisboa, LNEC.

NIEBLE, C.M. e FUJIMURA, F. (1970) - "Observação de Deformações na Fundação da Barragens de Ibitinga, Rio Tietê, SP", Anais da 2ª

- Semana Paulista de Geologia Aplicada, Vol. II, Tema 5 - São Paulo, SP (pg. 471 - 506).
- NIXON, I.K., SKIPP, B.O. e WAREHAM, B.F. (1973) "Environmental Factors Affecting the Interpretation of Ground Movement", Proc.Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering - Londres (pg. 318 - 331).
- OBERT, L. e DUVAL, W.I. (1967) - "Instrumentation", Capítulo IX do livro "Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock", - John Wiley & Sons, Inc-New York, USA (pag. 236-274).
- PENMAN, A.D.M. e outros (1971) - "Measuring Movements of Engineering Structures", Current Paper 32/71, Building Research Station, Londres.
- PENMAN, A.D.M. e CHARLES, J.A. (1973) - "Measuring Movements of Embankment Dams", Proc. Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering - Londres (pg. 341 - 358).
- ROCHA, M. (1969) - "Dam Foundation Measurements", Memória nº 334 do LNEC - Lisboa, Portugal.
- ROUSE, G.C. e WALLACE, G.B. (1967) - "Rock Stability Measurements for Underground Openings", Anais do I Congresso Internacional da ISRM, Vol. II - Lisboa (pg. 335 - 340).
- SERAFIM, J.L. (1970) - "Instrumentation for Rock Mechanics", Internationales Buro fur Gebirgsmechanik - Leipzig, Alemanha Ocidental.
- SILVEIRA, J.F.A. (1976) - "A Instrumentação de Mecânica das Rochas em Túneis - Métodos de Observação e Histórico de Casos", Anais do 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Vol. I, pg. 131 a 154 - Rio de Janeiro.
- TEIXEIRA, A.M. e KANJI, M.A. (1970) - "Estabilização do Escorregamento da Encosta da Serra do Mar, na Área da Cota 500 da Via Anchieta", IV Congr. Bras. de Mec. dos Solos, Vol. 1, Tema 1, Tema IV 33 - Rio de Janeiro, GB
- TERZAGHI, K. e PECK, R.B. (1967) - "Performance Observations", Capítulo 12 do livro "Soil Mechanics in Engineering Practice", John Wiley & Son, Inc. - New York, U.S.A.
- VAUGHAN, P.R. (1973) - "The Applications of Instrumentation in Geotechnical Engineering", Sessão III do Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering, Londres.
- WARD, W.H. e BURLAND, J.B. (1973) - "The Use of Ground Strain Measurements in Civil Engineering", Building Research Station, CP nº 13/73 - Watford, Inglaterra.

- WHITTAKER, B.N. e FORRESTER, D.J. (1973) - "Measurement of Ground Strain and Tilt Arising from Mining Subsidence", Proc. Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering - Londres (pg. 437 - 447).
- WILSON, S.D. e HANCOCK JR., C.W. (1965) - "Instrumentation for Movements Within Rockfill Dams", Instrument and Apparatus for Soil and Rock Mechanics, ASTM STP 392 (pg. 115 - 130).
- WILSON, S.D. (1974) - Anais do Simpósio sobre "Instrumentação de Barragens de Terra e Enrocamento", CESP - Ilha Solteira, SP.
- WRIGHTMAN, J. (1973) - "Some Organisation and Benefit Aspects of Instrumentation", Proc. Symp. on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering - Londres (pg. 488 - 496).