



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FERNANDA DE FARIA BIANCONCINI

***INSTRUMENTAÇÃO DE TALUDES
MÉTODOS DE MEDAÇÃO DIRETA DE
MOVIMENTO***

Trabalho de Formatura

Orientador: Lineu Azuaga Ayres da Silva

EPMI
TE-1998

B44i

Sysno 1582150

M1994E

DEDALUS - Acervo - EP-EPMI



31700005902

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Dr. Lineu Azuaga Ayres da Silva pela ajuda e incentivo ao trabalho.

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente colaboraram para a execução deste trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. OBJETIVO..... | 1 |
| 2. INTRODUÇÃO | 2 |
| 3. MONITORAMENTO | 4 |
| 4. MÉTODOS DE INSTRUMENTAÇÃO..... | 7 |
| 5. MÉTODOS DE MEDAÇÃO DIRETA DE MOVIMENTOS | 10 |
| 5.1. Topografia..... | 10 |
| 5.2. Sistemas Eletrópticos..... | 11 |
| 5.2.1. Malha de Levantamento | 12 |
| 5.3. Fotogrametria Aérea e Terrestre | 14 |
| 5.4. Extensômetros de Superfície e Medidores de Fendas | 14 |
| 5.4.1. Extensômetros de Superfície | 15 |
| 5.4.1.1. Extensômetro de trena | 15 |
| 5.4.1.2. Extensômetro a laser..... | 16 |
| 5.4.1.3. Extensômetro de fio..... | 17 |
| 5.4.2. Medidores de Fenda..... | 19 |
| 5.5. Instrumentação de Subsuperfície | 22 |
| 5.5.1. Extensômetro de Furo de Sonda | 22 |
| 5.5.2. Inclinômetro..... | 31 |
| 6. MÉTODOS DE MEDAÇÃO INDIRETA DE MOVIMENTOS..... | 36 |
| 6.1. Medidores de pressão e nível d'água..... | 36 |
| 6.2. Medidores de cargas e de pressões | 36 |
| 6.3. Medidores de microruídos..... | 37 |
| 7. INSTRUMENTOS..... | 38 |
| 7.1. Definições | 38 |
| 7.2. Seleção..... | 39 |
| 8. TRATAMENTO DE DADOS | 41 |
| 9. CONCLUSÃO | 42 |
| 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 43 |

1. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo estudar a instrumentação de taludes.

Em virtude da complexidade e diversidade de métodos e equipamentos, este trabalho foi restrito a descrição dos métodos de medição direta de movimentos de talude, caracterizando e descrevendo os principais instrumentos existentes e utilizados no respectivo programa de monitoramento.

Esta diversidade se justifica pela enorme quantidade de empresas fabricantes de instrumentos, capazes de mensurar qualquer variação nos parâmetros estudados, e pela variedade de modelos destes. A variedade de modelos existe em razão de concorrência entre as empresas fabricantes e do avanço tecnológico a que estes equipamentos estão sujeitos.

Dessa forma, não faz parte do escopo deste trabalho estudar outros métodos, que não os diretos, existentes, bem como os instrumentos capazes de mensurar as variáveis implicadas nestes.

Também não faz parte dos objetivos deste trabalho, definir e avaliar as diferentes formas de tratar os dados obtidos, nem os softwares disponíveis.

Cabe ao engenheiro, ou equipe, responsável tomar todas as decisões sobre o programa de monitoramento, formas de instrumentação, instrumentos que possam vir a ser utilizados e análise das variáveis mensuradas.

2. INTRODUÇÃO

Em qualquer obra de engenharia é esperada alguma instabilidade no terreno, sendo a escala dos movimentos variável. Os maiores movimentos são precedidos de pequenos, mas mensuráveis indícios, como ruídos e/ou mudança no nível do lençol freático.

Definir o quanto esta escala é aceitável é extremamente difícil porque as variações são muito subjetivas, podendo ser variável em diferentes locais num mesmo terreno. Uma variação de 1 ou 2 cm/dia, por exemplo, numa operação de carregamento na frente de lavra pode ser considerada normal, mas, esta mesma variação numa estrada ou em uma construção próxima ao pit é perigosa e requer reparos constantes.

A evolução do estudo dos problemas de estabilidade de taludes, primeiro em solos e depois em rochas, iniciou-se com a quantificação dessa estabilidade por meio do cálculo de um fator numérico, que permite avaliar a respectiva segurança.

Os métodos de análise da estabilidade de taludes podem ser divididos em dois grupos principais.

Os métodos de equilíbrio limite têm sido aplicados extensivamente, havendo numerosas técnicas de cálculo disponíveis. Visam determinar o fator de segurança correspondente a uma dada situação previamente levantada em termos geométricos e geotécnicos.

A teoria de elasticidade, que não fornece soluções simples acerca da distribuição de tensões e deformações no interior de taludes, recorre a métodos numéricos de análise para determinar tal distribuição e simular em computador o seu comportamento geomecânico.

Assim, pode-se dispor de uma poderosa ferramenta de projeto em que a deformabilidade dos maciços rochosos é devidamente considerada, fato que não acontece nos métodos de equilíbrio limite. Como essa deformabilidade é essencialmente controlada pela presença e atitude das descontinuidades estruturais, os métodos numéricos procuram modelar estas últimas, das formas mais realistas possíveis, incorporando coeficientes de rigidez nas análises de estabilidade.

Com o acúmulo de experiências adquiridas no projeto e na observação do comportamento de numerosos taludes, tanto em mineração como em construção pesada, verificou-se a tendência de estudar os problemas de estabilidade não só com o enfoque técnico (geomecânico), mas também do ponto de vista econômico, visando procurar em cada caso, as circunstâncias que otimizam a escavação e a utilização dos taludes.

Conhecidos os modelos matemáticos que regulam a estabilidade de talude, é feita em computador uma parametrização envolvendo as variáveis influentes no problema, e os resultados numéricos obtidos são reunidos sob a forma gráfica, em ábacos ou monogramas de fácil acesso. Geralmente os ábacos são desenvolvidos para situações típicas, válidas para a maioria dos problemas práticos. A sua grande vantagem consiste na determinação rápida do fator de segurança de um dado talude, e estimar sem dificuldade as suas variações com mudanças efetuadas na geometria, nas condições de água subterrânea, ou nas propriedades mecânicas do terreno.

A evolução das técnicas experimentais de caracterização geomecânica dos maciços rochosos, o desenvolvimento dos métodos analíticos e a divulgação do uso de computadores permitiu implantar, na engenharia de taludes, as análises probabilísticas de estabilidade, como já vinha sendo aplicado em outros ramos da Engenharia.

A aplicabilidade das análises probabilísticas é essencialmente interessante por ser possível quantificar, simultaneamente, a variabilidade dos parâmetros físicos e geomecânicos dos maciços rochosos, assim como a confiabilidade que se deve atribuir à segurança estrutural, dentro de um enfoque que leva à seleção de um talude ótimo, sob os pontos de vista de estabilidade e de economia.

3. MONITORAMENTO

Monitoramento é a supervisão da engenharia de estruturas, feita visualmente ou com ajuda de instrumentos e deve ser executado pelas seguintes razões:

- Registrar os valores naturais e variações dos parâmetros geotécnicos, tais como nível do lençol freático, condições do terreno e ocorrência de eventos sísmicos, antes da execução de um projeto de engenharia;
- Assegurar a segurança durante a construção e operação do empreendimento, protegendo pessoas e equipamentos;
- Checar a validade das premissas, modelos conceituais e valores das propriedades do solo e do maciço rochoso, usado no cálculo do projeto;
- Controlar a implementação do tratamento do terreno e trabalhos remediáveis através da adoção de providências que visem corrigir mudanças geométricas, adoção de reforços ou alguma ação sobre o controle da água subterrânea.

A importância do monitoramento não é restrita apenas à obras que apresentam comportamentos não previstos, indicando a necessidade de medidas reparadoras ou acerto das hipóteses de projeto, mas também quando há condições seguras face às solicitações extremas atuantes, ou discordância entre as hipóteses de cálculo e a realidade.

A adoção de um programa de monitoramento muitas vezes resulta num acréscimo nos custos de construção e operação de um empreendimento, mas o custo de reparação de uma ruptura não planejada é muito maior que o custo total deste programa, sem contar que vidas humanas podem estar envolvidas.

Dessa forma, o planejamento do monitoramento, instrumentação e os métodos de medição, deve ser iniciado no desenvolvimento do projeto e deve responder a quatro questões fundamentais:

- Por que monitorar
- O que monitorar
- Onde monitorar
- Como monitorar

A Tabela 1, abaixo, apresenta um “checklist” que poderá ajudar a solucionar pequenas dificuldades no planejamento de um programa de monitoramento.

Tabela 3-1

| | |
|----|---|
| 1 | O problema pode ser definido em termos técnicos? Qual as condições do local de investigação? Houve investigações anteriores? |
| 2 | Qual a finalidade do programa de monitoramento? Os dados coletados servirão a projetos futuros? |
| 3 | Qual(ais) a(s) variável(eis) a ser(em) mensurada(s) e por que? Qual o seu menor valor aceitável? |
| 4 | Quais as condições ambientais? Qual o período de acompanhamento? Os dados coletados serão processados e avaliados? |
| 5 | Quem se responsabilizará pela aquisição, instalação e manutenção dos instrumentos? A quem recorrer em caso de mal funcionamento e eventuais emergências? A quem caberá às medições, o processamento e a análise dos dados? |
| 6 | Qual o critério a ser usado na seleção dos instrumentos? Quais as características a serem consideradas? Simplicidade, durabilidade, precisão, preço, comparação com equipamentos similares? A instalação dos instrumentos interferirá nos demais trabalhos? |
| 7 | Quais os fatores que influenciam as variáveis mensuradas? Podem estes fatores ser mensurados e minimizados? |
| 8 | Como são feitas as leituras? Onde os instrumentos devem ser localizados? Devem ser recalibrados no caso de mudar sua localização? |
| 9 | Qual a margem de erro das medidas? |
| 10 | Quais as partes críticas do projeto? O layout dos instrumentos pode ser mudado de acordo com as mudanças no projeto? O que significa um mal funcionamento de um instrumento dentro do programa? |
| 11 | Especificar e planejar a instalação e, registrar os procedimentos. Providenciar uma lista com todos os instrumentos e materiais utilizados. |
| 12 | Organizar a tomada de dados, o processamento e análise. Prever a periodicidade da manutenção e, se necessário, a troca dos instrumentos. |

4. MÉTODOS DE INSTRUMENTAÇÃO

Os métodos de instrumentação, no campo da geomecânica, evoluíram rapidamente nas últimas décadas e constituem hoje, um campo de especialização capaz de atingir um nível de sofisticação muito grande.

Franklin e Denton, em 1973, apresentam uma síntese dos métodos, englobando instrumentos para solo e para maciços, face à grande semelhança entre os dois tipos:

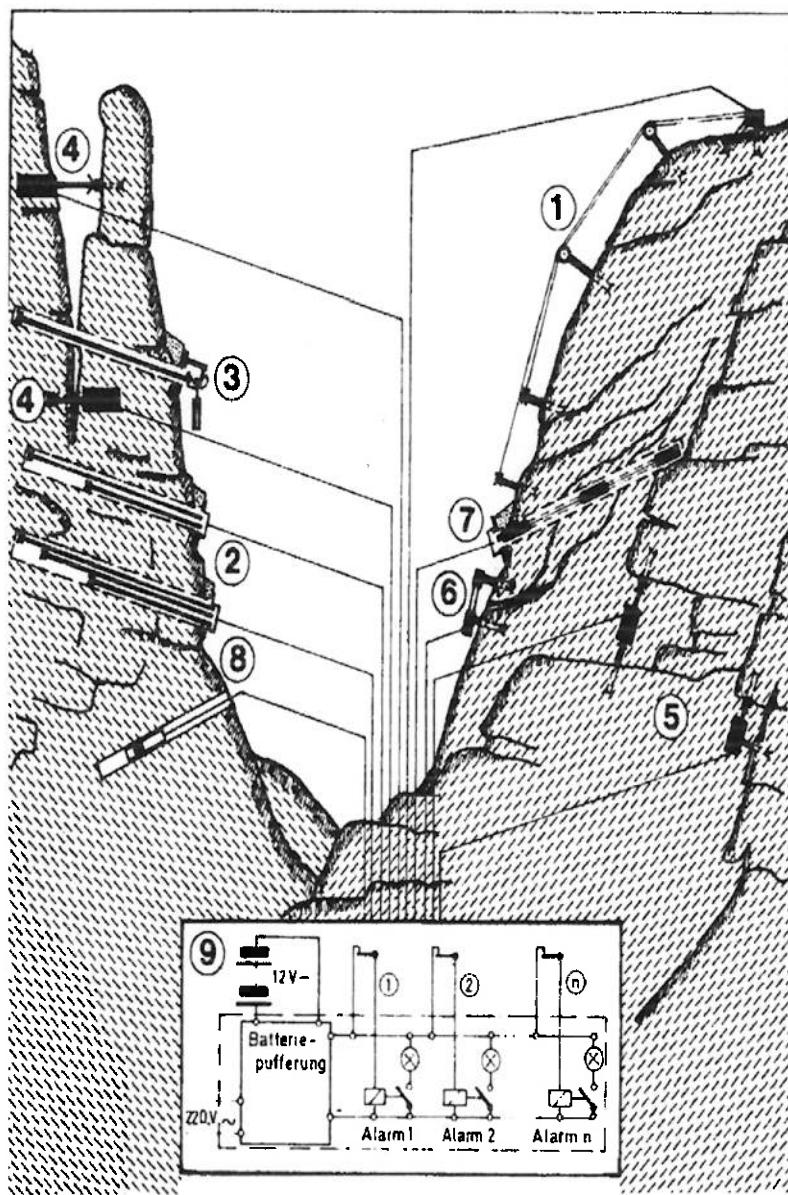
1. Métodos de medição direta de movimentos

- Topografia;
- Sistemas eletrópticos;
- Fotogrametria aérea e terrestre;
- Extensômetros de superfície e medidores de fenda;
- Instrumentação de subsuperfície.

2. Métodos de medição indireta de movimentos

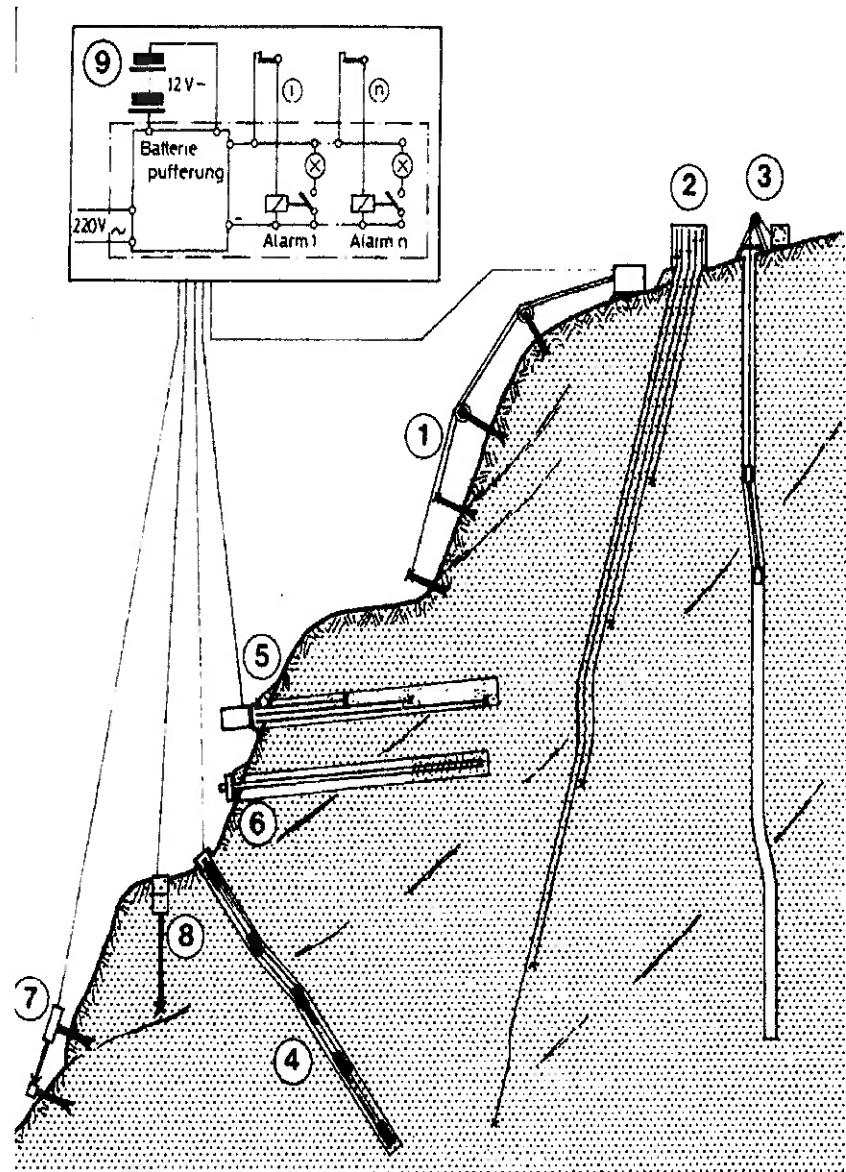
- Medidores de pressão e nível de água;
- Medidores de carga e de pressões;
- Medidores de microruídos.

As Figuras seguintes ilustram os principais instrumentos utilizados.



| | |
|---|---|
| 1 | Extensômetro de Superfície |
| 2 | Extensômetro de Furo de Sonda |
| 3 | Indicador de Movimento Mecânico |
| 4 | Indicador de Movimento Elétrico |
| 5 | Blocos de Rocha |
| 6 | Medidores de Fenda |
| 7 | Inclinômetro |
| 8 | Medidor de microruído |
| 9 | Sistema Central e Dispositivo de Alarme |

Figura 4.1 - Instrumentos



| | |
|---|---|
| 1 | Extensômetro de Superfície |
| 2 | Extensômetro de Furo de Sonda |
| 3 | Inclinômetro |
| 4 | Inclinômetro |
| 5 | Extensômetro de Furo de Sonda |
| 6 | Medidor de Pressão |
| 7 | Medidor de Fenda |
| 8 | Nível Hidráulico |
| 9 | Sistema Central e Dispositivo de Alarme |

Figura 4.2 - Instrumentos

5. MÉTODOS DE MEDAÇÃO DIRETA DE MOVIMENTOS

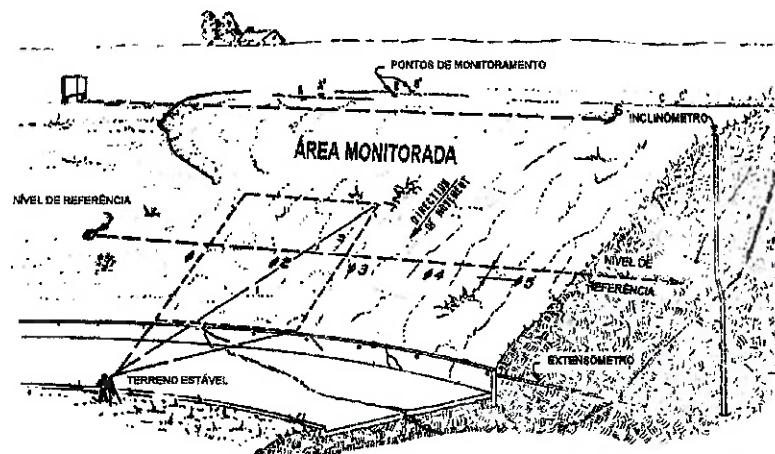


Figura 5.1 - Instalação Típica

5.1. Topografia

O objetivo do uso de técnicas topográficas é detectar deslocamentos verticais e horizontais em maciços rochosos, que permitam a identificação de áreas instáveis e no caso de rupturas já ocorridas, funcionem como uma medida de segurança em trabalhos de reconstrução.

São técnicas econômicas e de confiabilidade. Levantamentos a pequena distância, mas cuidadosos, podem ser rapidamente executados com trena e caminhamento, efetuando-se medidas de colinearidade entre marcos previamente alinhados; com teodolitos ou sistema laser, e medindo-se a distância entre esses marcos por meio de trena. O nivelamento também constitui técnica de emprego satisfatório.

As técnicas são empregadas basicamente da seguinte forma:

- Medição da colinearidade entre marcos previamente alinhados, por meio de teodolito;
- Nivelamento geométrico ou trigonométrico, que fornece excelente precisão em termos de deslocamentos verticais, porém exige maior tempo na execução; pode ser feito através de nível ou teodolito;
- Determinação das coordenadas de um marco através do método da triangulação, quando dispõe-se de teodolito, ou de forma direta, utilizando-se de distânciômetros eletrônicos e prismas;
- Medição de abertura de trincas de tração com paquímetros ou mesmo trena.

5.2. Sistemas Eletrópticos

O funcionamento desses aparelhos se baseia no emprego de um feixe de luz modulada projetado em alvos reflectores instalados na face do talude. Com isso alcançam medidas extremamente precisas de distância. Alguns instrumentos atingem distâncias de até 80 km, mas, para grandes distâncias a precisão tem limitações devido às condições atmosféricas e de pressão.

Um exemplo de uso deste sistema é o usado na Mina de Timbopeba, da empresa SAMITRI S.A. Mineração Trindade, desde 1994. O equipamento utilizado é um distânciômetro a infravermelho (DI 200, da Wild) com conexão de teodolito e caderneta eletrônica. O distânciômetro transfere automaticamente ao teodolito a distância oblíqua medida e o microprocessador do teodolito realiza todos os cálculos de redução e as correções.

As características do aparelho são: desvio típico: 1 mm + 1 ppm;
atenuação do sinal: totalmente automática;
interrupção do sinal: sem influência;
unidade de medição: até 2000m = 0,0001m
mais de 2000m = 0,001m

5.2.1. Malha de Levantamento

A malha de levantamento consiste na definição da localização de miras e estações das quais ângulos e distâncias em relação às miras serão medidos. Tanto triangulação com teodolito como trilateração com um EDM pode ser usado.

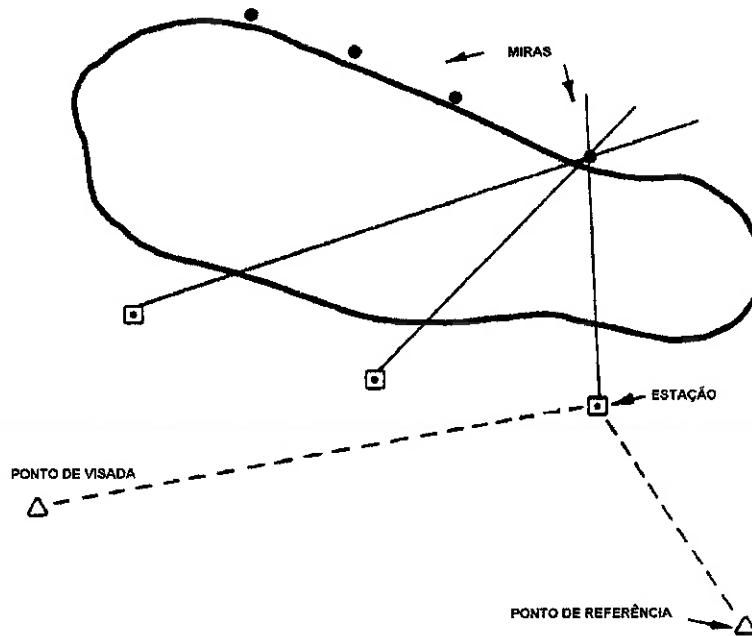


Figura 5.2 - Instalação Superficial (planta)

No planejamento da malha, deve-se tomar cuidado para assegurar um número suficiente de miras para a coleta dos dados necessários, de modo que as leituras possam ser feitas com um número mínimo de aparelhos instalados.

Se uma instalação de instrumentação EDM completa é utilizada, cada leitura é feita em, aproximadamente, três minutos. Assim, 30 a 40 miras podem ser levantadas em meio turno.

Se um medidor de distâncias EDM e um teodolito são usados em conjunto, cada leitura levará cinco minutos.

As estações de observação devem ter bases fixas, porque desvios nos dados de levantamento podem ser resultado da não colocação do equipamento exatamente na mesma posição das leituras anteriores, além de sofrerem influência de pequenos movimentos superficiais. Bases fixas são melhor estabelecidas com concreto ou estrutura metálica. Uma chapa base do instrumento deve ser fixada no topo da base para servir de plataforma para o instrumento.

É recomendado que as estações sejam instaladas uma semana antes de se iniciarem as leituras.

A precisão das medidas no levantamento é função da precisão dos equipamentos utilizados e da distância medida. Se ocorrer movimentação significativa, é necessário ajustar o instrumento ou relocar a estação.

5.3. Fotogrametria Aérea e Terrestre

São métodos de menor precisão que os topográficos ou os sistemas eletrópticos, mas de muita valia no estudo do comportamentos de grandes massas.

Uma sequência de fotografias é tirada em determinados intervalos de tempo, após se terem fixado ou escolhido alguns pontos significativos na área de interesse. A comparação das diversas sequências permitirá avaliar se houve ou não movimentos e até mesmo medir sua grandeza. Fotos terrestres, tiradas a uma distância de 100 metros de um objeto, permitem precisão de medidas de até 20 a 30 milímetros, quando usadas num estereocomparador.

5.4. Extensômetros de Superfície e Medidores de Fendas

Estes instrumentos são geralmente instalados após o desenvolvimento e a locação das fendas de tração na face superior do talude, e servem mais como elementos indicadores de iminência de ruptura. Tanto a espessura como os movimentos tangenciais da fenda podem ser observados através de instrumentos de fácil confecção ou bastante elaborados, utilizando inclusive fios e barras de invar, transdutores e sistemas de leituras elétricos.

5.4.1. Extensômetros de Superfície

5.4.1.1. Extensômetro de trena

Em 1974, de Whittaker e Forrester usaram um método de medição em superfície com trena, entre estações no campo.

A precisão de tal método depende dos marcos de referência, da trena e das correções aplicadas.

O extensômetro de trena mede a distância entre pinos de referência adjacentes, fixados em furos rasos feitos no solo. Tubos de aço são concretados no solo para formar estações fixas. As pontas dos tubos são cuidadosamente usinadas internamente para serem conectadas caixas especiais que contêm os prendedores da trena e os dispositivos de tensionamento.

O extensômetro é uma trena de aço inoxidável com furos de precisão igualmente espaçados. A ponta fixa é presa no outro pino e contém uma unidade de tensionamento da trena e um dispositivo de leitura digital. A tensão correta na trena é atingida quando uma mola interna é ajustada para fazer com que duas marcas de referência se coincidam. A leitura é feita pela posição do furo da trena, somada com a leitura mostrada no relógio digital

A trena pode ser tensionada e lida em uma única operação, tensionando a mola do extensômetro com uma carga específica, e quando a tensão correta for alcançada o instrumento está pronto para ser lido.

A carga de tensionamento é observada pela coincidência de duas linhas finamente marcadas. O extensômetro tem duas escalas, a primeira paralela ao parafuso principal no eixo de tensionamento da trena com um comprimento de 200 mm; a segunda é circular, gira segundo o eixo do parafuso e graduada de 0 a 200. Uma rotação do eixo equivale a 2,0 mm.

Um esquema de funcionamento deste instrumento e um modelo de extensômetro da GEOKON Incorporated, podem ser vistos nas figuras subsequentes.

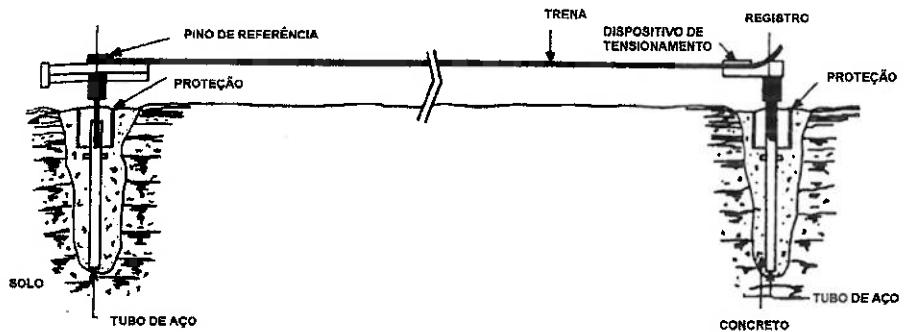


Figura 5.3 - Esquema do Extensômetro de trena

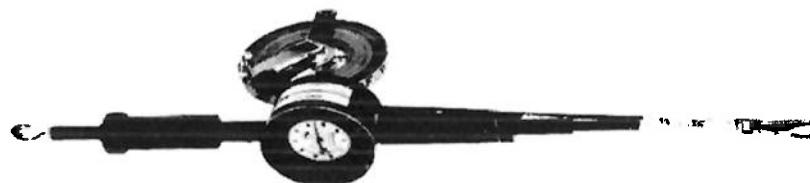


Figura 5.4 - Modelo 1600 da GEOKON

5.4.1.2. Extensômetro a laser

Muitos extensômetros para medição de deformações com bases distantes são usadas por geólogos e geofísicos. Para este caso, lasers são uma solução atrativa.

O princípio do extensômetro a laser é mostrado na Figura abaixo. Os pilares das extremidades são colunas de granito preto, de 2 a 4 metros de comprimento, fixadas verticalmente no solo em furos de 1 a 2 metros de profundidade. Na parte mais superficial do furo, a coluna é isolada do solo por um material plástico. O caminho óptico do laser está contido em um tubo com vácuo de 800 metros de comprimento, suspenso por um sistema de roletes. Detalhes de como extrema sensibilidade é alcançada, gravações de dados de redução, são mostrados por Berger e Wyatt (1973).

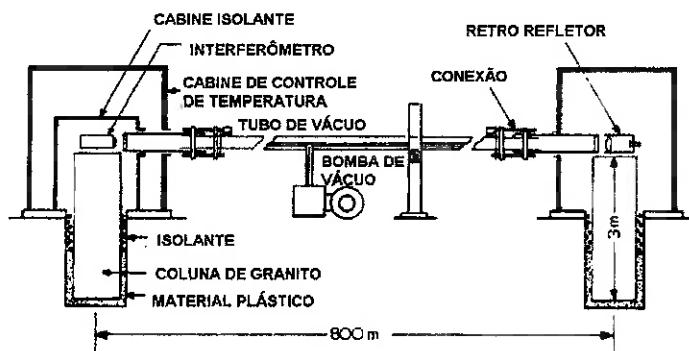


Figura 5.5 - Extensômetro a Laser

5.4.1.3. Extensômetro de fio

Um extensômetro de fio, portátil, pode ser usado para monitoramento em áreas de ativa instabilidade e fornecer dados para o sistema de levantamento. Esse equipamento pode ser rapidamente instalado e é facilmente removido.

Um extensômetro simples, que pode ser montado na própria mina, é mostrado na Figura abaixo.

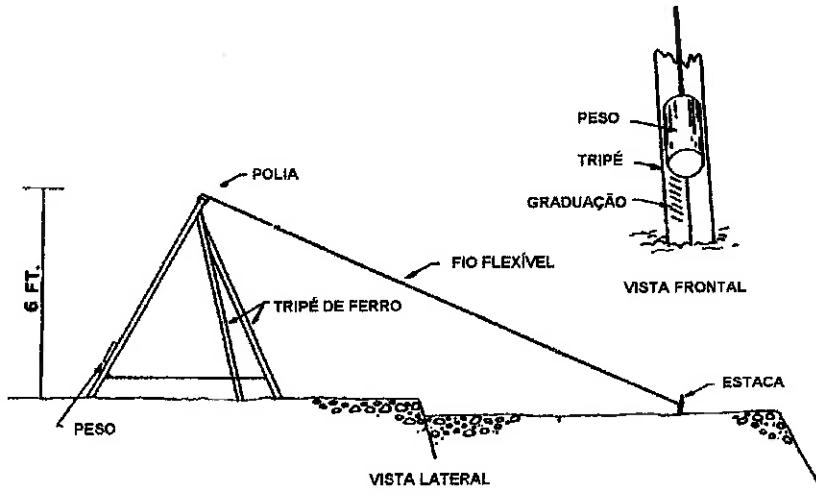


Figura 5.6 - Extensômetro de Fio

O extensômetro deve ser posicionado numa região estável, atrás da última fenda de tração visível, e o fio estendido até a região instável, como é mostrado na Figura abaixo.

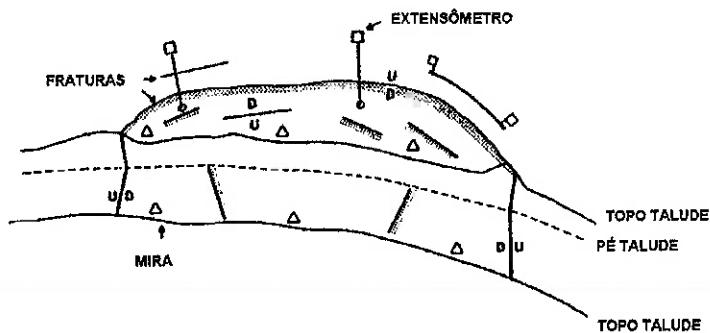


Figura 5.7 - Planta de Instalação

A um extensômetro de fio pode ser acoplado um dispositivo de segurança, afixando um interruptor alguns centímetros acima do peso de tensionamento do fio. Deslocamentos significativos acionarão o interruptor e luzes ou sirenes ligadas ao interruptor avisarão do

deslocamento. Um registrador contínuo do tipo tambor adaptado ao extensômetro pode fornecer excelentes dados quanto à sensibilidade do talude às detonações, movimentação de equipamentos e chuva.

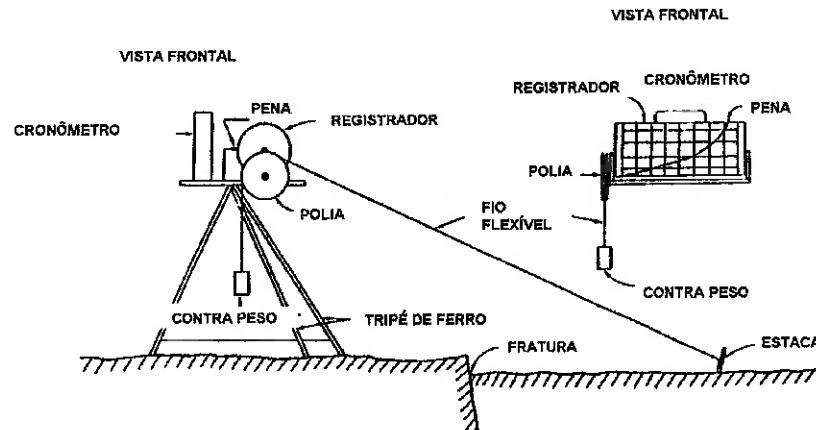


Figura 5.8 - Dispositivo de Segurança

O comprimento do fio do extensômetro deve se limitar a aproximadamente 60 metros, pois a flexão pode produzir leituras imprecisas. Um contrapeso de 15 a 20 kg é necessário para tal comprimento, dependendo da resistência do fio à tração. Cabo de comando de avião, ou fio similar, confeccionado para apresentar baixa dilatação ao tensionamento, é recomendado para este dispositivo. Variações de temperatura podem ser consideradas e correções podem ser feitas, se necessário.

5.4.2. Medidores de Fenda

Há muitos métodos de medição de aberturas de fendas e todos se baseiam em fixar pontos de ambos os lados da fenda e tirar a medida das distâncias entre os mesmos.

Quando são feitas medidas curtas, o extensômetro de haste ou de tubo pode ser usado. O micrômetro de haste, mostrado na Figura, associa um micrômetro com partes de um extensômetro. Peças especiais são apoiadas nas esferas das pontas dos pinos de referência. No campo, o aparelho é montado com o comprimento requerido e inserido entre os pinos, e o micrômetro ajustado até que as suas extremidades façam contato com as esferas dos pinos. As leituras são feitas diretamente no micrômetro.

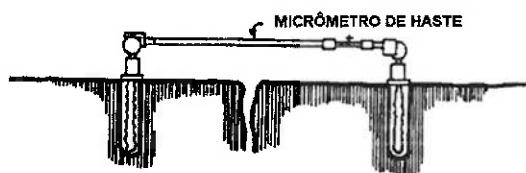


Figura 5.9 - Micrômetro de Haste



Figura 5.10 - Modelo Série 4400 da GEOKON

O princípio do micrômetro de tubo é similar ao micrômetro de haste, exceto a medida entre os pinos que é feita com um calibrador especial (relógio comparador). Um extensômetro, com cabeça entalhada é colocado em um dos pinos, comprimindo a mola do extensômetro. A base côncica da outra extremidade é colocada no segundo pino. O relógio comparador é, então, inserido no êmbolo até encontrar a esfera do pino de referência, como mostrado na Figura.



Figura 5.11 - Micrômetro de Tubo

Em outra montagem do extensômetro de haste, uma extremidade da haste é presa num dos pinos, um sistema de monitoramento é montado sobre o outro pino e ligado à outra extremidade da haste. O movimento relativo entre o pino preso à haste e a outra extremidade da haste é medido por um relógio comparador ou um transdutor elétrico. Esta montagem é esquematizada na Figura.

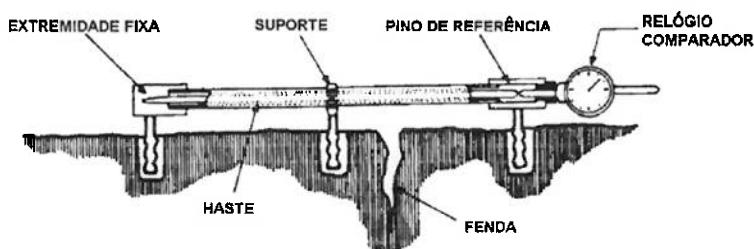


Figura 5.12 - Extensômetro de Haste

Instrumentos simples e portáteis podem ser utilizados para medir expansão e contração de fendas. O medidor DEMEC (Demountable Mechanical) foi inventado por Morice e Base (1953). Ele consiste de uma barra de aço Invar com dois pontos de medição, um fixo e outro movimentando em uma régua. Um relógio comparador e sistema de alavanca mede distâncias, normalmente, da ordem de 150 mm, entre dois pinos fixos, com precisão de 1,0 mm para uma medição de 150 mm.

Movimentos tridimensionais podem ser determinados medindo mudanças na elevação dos pinos, bem como mudanças na posição horizontal. Um clinômetro portátil, Figura, com um

entalhe em forma "V" na base de uma de suas extremidades, é colocado em um dos pinos de referência. Um êmbolo especial de forma cônica é colocado no outro pino. O êmbolo pode ser ajustado para colocar a haste do clinômetro na posição horizontal. Um relógio comparador inserido através do êmbolo, registra a diferença de elevação entre os dois pinos. Este dispositivo mede uma variação de mais ou menos 75 mm, com uma precisão acima de 0,01 mm. A precisão do micrômetro de haste e do extensômetro de tubo é da faixa de 0,1 a 0,01 mm.

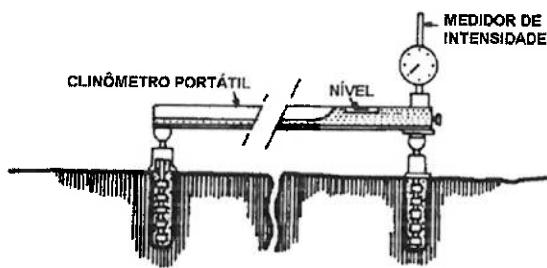


Figura 5.13 - Clinômetro

5.5. Instrumentação de Subsuperfície

5.5.1. Extensômetro de Furo de Sonda

Este aparelho mede o gradiente de deformação, ou deslocamento entre pontos de ancoragem, no interior de um furo de sonda.

De acordo com o número de pontos de ancoragem, os extensômetros podem ser simples (apenas um ponto), de dupla posição (dois pontos) e múltipla posição (mais de dois pontos).

O extensômetro múltiplo é constituído basicamente de ancoragens fixadas na parede do furo de sonda e ligadas por fios ou hastes metálicos à extremidade do aparelho na superfície. Esta extremidade de leitura é uma peça cilíndrica que recebe as pontas livres das hastes ou fios, como mostrado na Figura abaixo.

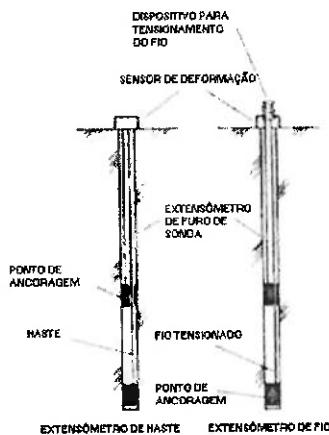


Figura 5.14 - Tipos de Extensômetros

Esta leitura pode ser efetuada por um relógio comparador, no próprio local ou por dispositivo eletrônico, à distância. Em comparação com o dispositivo mecânico, este dispositivo elétrico proporciona leituras mais rápidas e precisas, mas é mais caro. Muitas vezes estes dois sensores trabalham em conjunto.

Este instrumento é instalado no interior de um furo de sonda, ao longo do qual são escolhidos os pontos de ancoragem para a observação dos seus respectivos deslocamentos. Os pontos de ancoragem podem ser escolhidos de forma a monitorar as diversas camadas presentes no talude, permitindo assim acompanhar seus deslocamentos relativos. A ancoragem é sujeita a tensões, que devem ser reduzidas, devido a força provocada pela tensão dos fios ou hastes e é fixa com calda de cimento, calda química ou resina epoxy. Um esquema deste extensômetro e ancoragem pode ser visto na Figura.

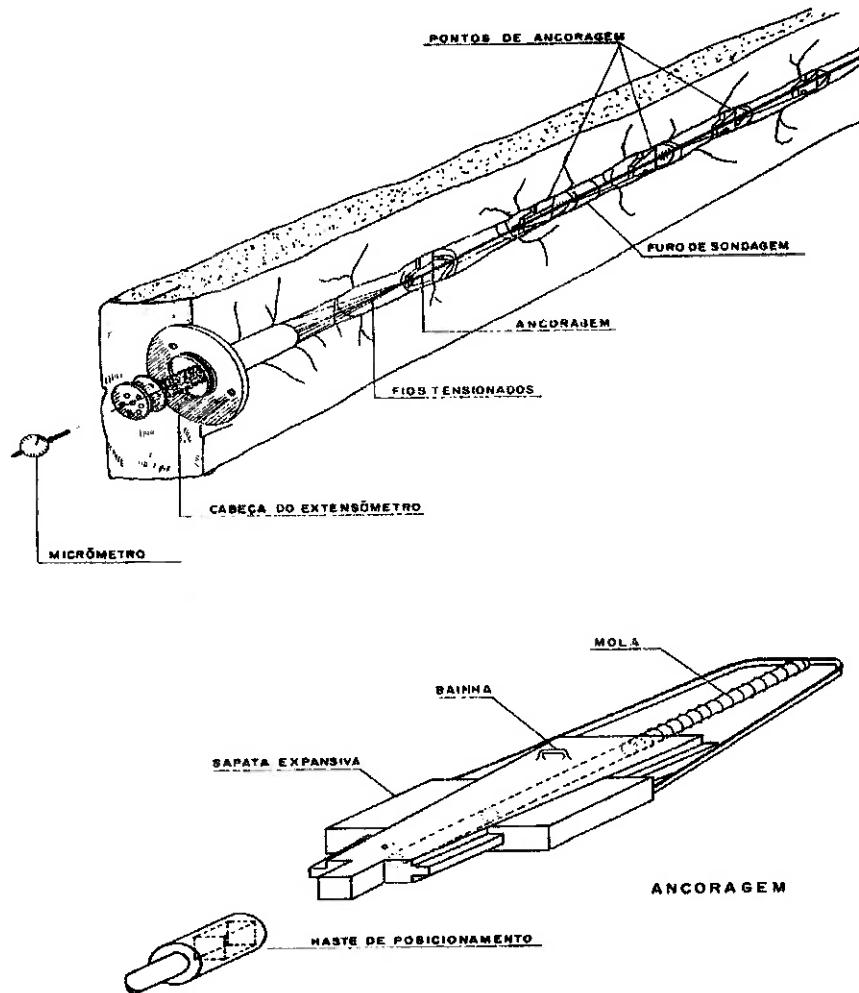
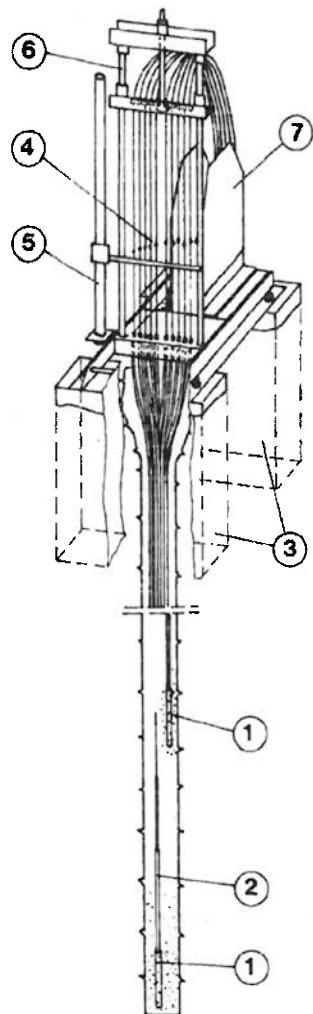


Figura 5.15 - Extensômetro e Ancoragem

O uso de fios ou hastes depende da aplicação, precisão requerida e o comprimento da instalação.

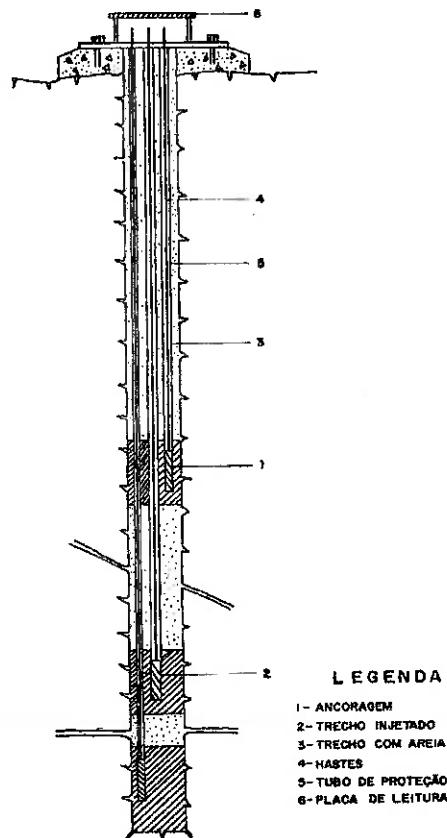
Os fios usados possuem diâmetro de 0,5 a 1,5 milímetros. As tensões a que estão sujeitos são variadas através de uma rosca. A precisão pode ser reduzida se a tensão for modificada durante as leituras, por isso, não são recomendáveis para furos de sonda maiores de 10 metros. Apenas quando as variações medidas são muito grandes a falta de precisão pode ser admitida. Um extensômetro de fio é mostrado na Figura abaixo.



| | |
|---|--|
| 1 | Ponto fixo |
| 2 | Tubo de proteção dos fios |
| 3 | Fundação de concreto |
| 4 | Fios tensionados de 1 m de comprimento |
| 5 | Régua graduada (1 mm de precisão) |
| 6 | Mecanismo de tensionamento |
| 7 | Depósito de fios |

Figura 5.16 - Extensômetro de Fio

As hastes não apresentam o problema de tensão nos fios. Entretanto, devem ter um tamanho suficiente para prever mudanças na extensão, e o seu peso pode ser um problema em instalações longas. Para pequenas instalações, a área mínima da seção deve ser 20 mm², e para instalações maiores de 30 metros, deve ser 100 mm². Um extensômetro de haste é mostrado na Figura abaixo.

**Figura 5.17 - Extensômetro Múltiplo de Haste**

Não há um extensômetro que atenda à todas as aplicações. A precisão é um item usado para uma classificação arbitrária, mas que deve discutir as aplicações dos instrumentos, como mostra a Tabela.

| precisão | 0.0025 mm | 0.025 mm | .025 mm | 25 mm |
|------------------------------|---------------------|---|---------------------------|--|
| sensibilidade do instrumento | 0.0025 mm - 0.01 mm | 0.025 mm - 0.10 mm | 0.25 mm - 1.0 mm | 2.5 mm - 10 mm ou mais |
| aplicação | teste in situ | abertura subterrânea em rocha dura, taludes em madiços e escavação, fundações | túnel, escavações em solo | grandes instalações associadas a grandes taludes |
| fundo escala | mínimo | 25 mm | 25 mm | 50 mm |
| | máximo | 50 mm | 150 mm | 300 mm |
| comprimento da instalação | acima de 10 m | acima de 30 m | acima de 100 m | acima de 200 m |

Tabela 5-1 - Classificação dos Extensômetros

A localização, o comprimento e o número de pontos de ancoragem são determinados conforme as condições geotécnicas do projeto. Outros itens a serem considerados são localização e natureza de outros instrumentos a serem instalados; procedimentos e cronograma de outras atividades de construção antes, durante a após a instalação; e volume de rocha a ser escavado.

Um exemplo de utilização do extensômetro múltiplo, mostrado na Figura, é o monitoramento na fundação da Barragem de Promissão.

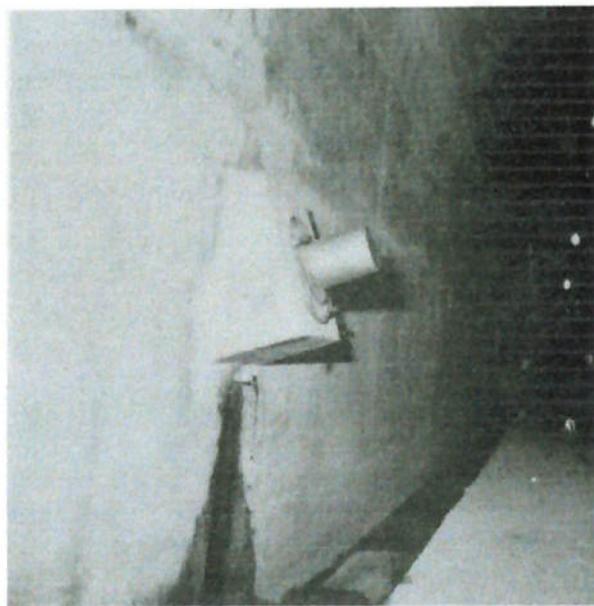
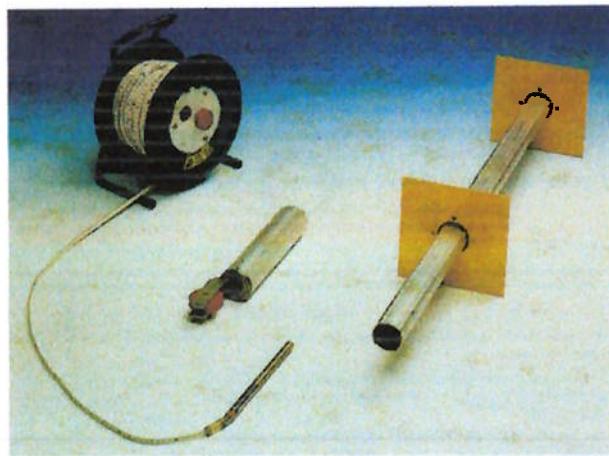


Figura 5.18 - Extensômetro da Barragem de Promissão

Uma variação do extensômetro múltiplo é o extensômetro magnético.



O extensômetro magnético, como mostra a Figura abaixo, consiste em um investigador atado a um fio metálico enrolado em uma bobina com sensores, luminoso e auditivo, e várias aranhas magnéticas posicionadas ao longo do comprimento do furo. Os elementos magnéticos são acoplados ao tubo guia e fixados no próprio solo e se movem caso haja movimento no terreno.

As leituras são obtidas introduzindo o investigador até encontrar as aranhas magnéticas. Quando o investigador entra num campo magnético os sensores da bobina são ativados. Dois sinais são emitidos: o primeiro indica a região do elemento magnético e o segundo a sua localização exata. O operador olhando a graduação no fio metálico, registra a profundidade do magneto.

Quando o tubo é ancorado em terreno estável, a profundidade dos elementos magnéticos são medidas usando como referência um elemento magnético localizado no fundo do tubo. As profundidades são determinadas comparando a profundidade de cada aranha magnética com a sua profundidade inicial.

Se o tubo não for ancorado em terreno estável as profundidades das aranhas magnéticas usam como referência a boca do furo, facilmente visualizada.

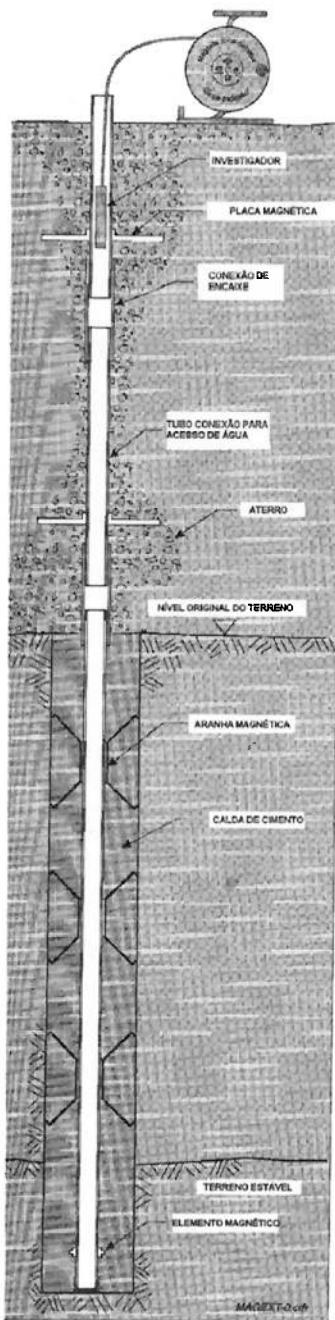


Figura 5.19 - Extensômetro Magnético

O esquema abaixo ilustra a instalação de um extensômetro.

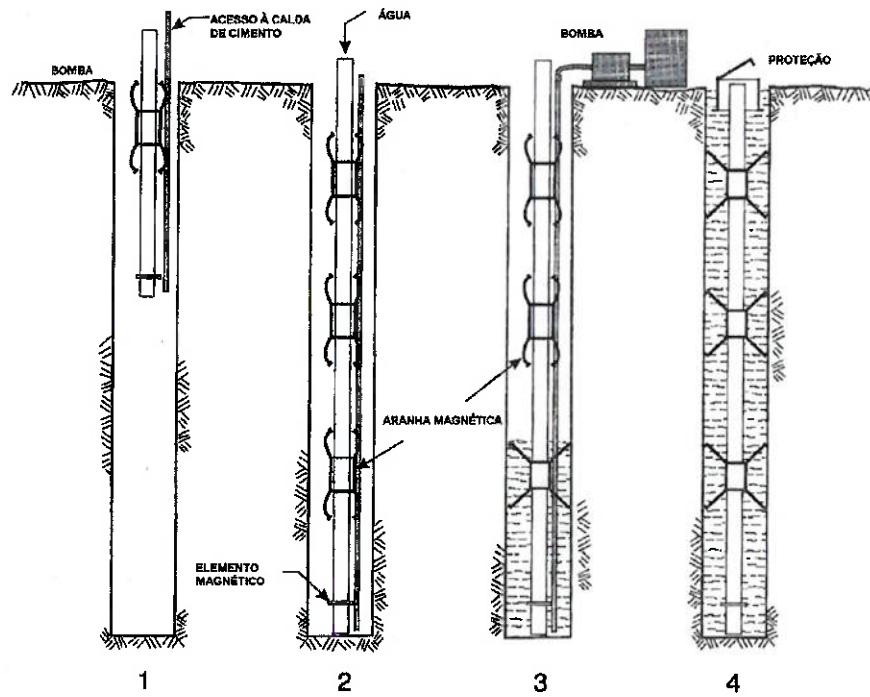


Figura 5.20 - Esquema de Instalação

5.5.2. Inclinômetro



Os inclinômetros consistem em instrumentos de alta precisão, onde através de sua utilização, tem-se conseguido avaliar os movimentos laterais que ocorrem em barragens, elementos de fundações, escoramento e deslizamento de terra.

Durante os últimos vinte anos, vários tipos de inclinômetros tem sido desenvolvidos sendo, na sua maior parte, da construção básica com tubos acoplados com luvas telescópicas e inserido em perfurações. Um exemplo deste tubo, da empresa RST pode ser conferido na Figura abaixo.



Figura 5.21 - Tubo do Inclinômetro

O interior destes tubos, geralmente construído em PVC, plástico ABS ou ainda alumínio, é percorrido por um sistema de medição de ângulo para determinar a inclinação de cada trecho numa direção desejada obtendo-se, desta forma, as variações progressivas destes ângulos causadas pelo movimento do solo ou pelas deformações das estruturas. O sensor emite um sinal elétrico, que é lido por um console específico, a distância.

Para a instalação do tubo guia faz-se, inicialmente, um pré-furo de diâmetro superior a 4" até penetrar 3 ou 4 metros em rocha sã ou terreno firme, com o objetivo de se utilizar o fundo como referência. Feita a preparação dos tubo-guia e antes da descida dos mesmos no furo, injeta-se um volume inicial de calda de cimento através de tubos de PVC. Inicia-se a descida dos tubos-guia, fixando cada segmento com rebites frágeis e vedados com massa de calafetar. Após a colocação do último segmento de tubo injeta-se novamente calda de cimento para completar o chumbamento em rocha sã, através de uma mangueira plástica que desceu fixada ao primeiro segmento. A areia para o preenchimento do espaço anelar existente entre o tubo e o solo é lançada uma hora, pelo menos, após a colocação da calda e compactada através de uma haste de aço.

Para a execução das leituras é introduzido o sensor nos tubos e, após verificação se as rodinhas estão se deslocando em canaletas opostas, faz-se leituras para várias profundidades na direção destas e na direção perpendicular.

Usualmente são realizadas duas séries de leituras, através de uma rotação de 180° no sensor, assegurando uma maior precisão devido a redução de erros causados por irregularidades na superfície de duas canaletas e, por permitir a comparação das duas leituras para a detecção de erros grosseiros.

Na prática, leituras diametralmente opostas tem sinais contrários e a máxima diferença permitida é da ordem de 10 unidades de leitura. Caso isto não ocorra deverá ser repetida a leitura nas quatro direções. O instrumento é calibrado para leitura de $2 \operatorname{sen}\theta$, onde θ é o ângulo de inclinação do tubo guia.

As Figuras mostram o princípio de funcionamento do inclinômetro.

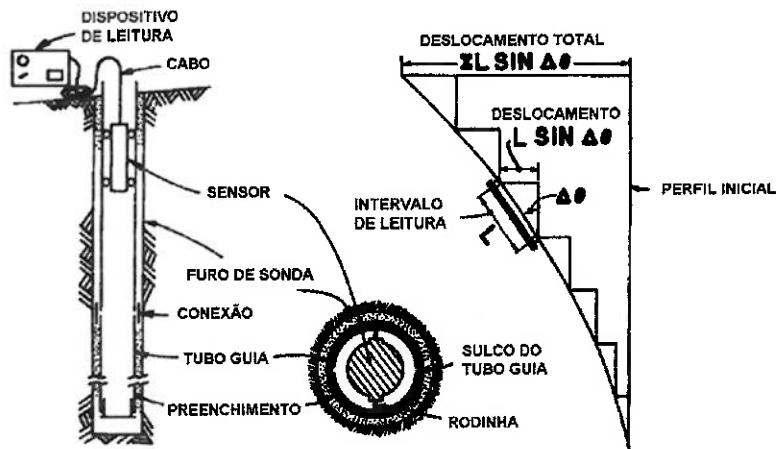
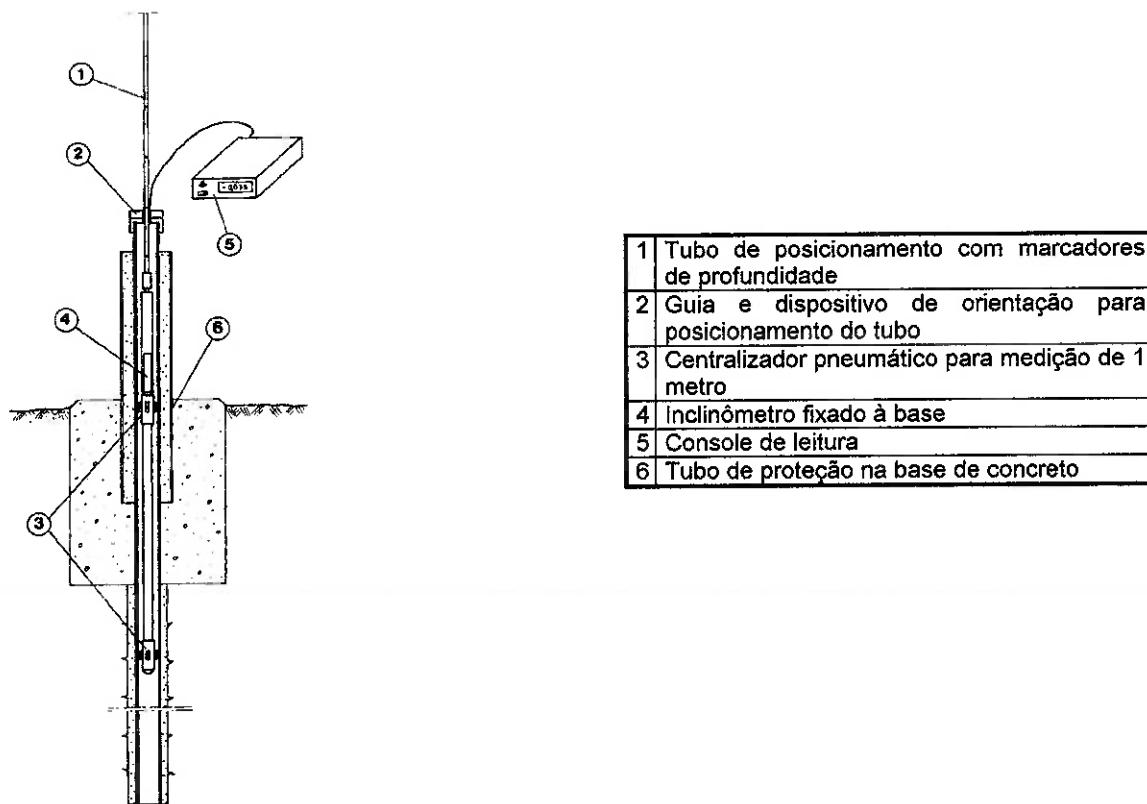


Figura 5.22 - Princípio de Funcionamento



Dois tipos de instrumentos de leitura, apresentados abaixo, são normalmente usados, um instrumento manual que apresenta os eixos A e B simultaneamente em unidades de engenharia, ou um instrumento de apresentação detalhada dos dados e análises envolvidas nos cálculos. Uma das principais vantagens que o automático possui sobre o manual é que, no primeiro, se a bateria é totalmente descarregada, os dados não são perdidos.



Figura 5.23 - Instrumentos de Leitura (empresa RST Instruments)

6. MÉTODOS DE MEDAÇÃO INDIRETA DE MOVIMENTOS

Apesar de não fazer parte do escopo deste trabalho, os métodos de medição indireta de movimentos são aqui citados e esclarecidos.

Qualquer tipo de observação que forneça elementos sobre as condições de estabilidade de uma massa, objeto de estudo, pode representar um método indireto de medição de movimentos. Um registro pluviométrico ou um registro piezométrico do fluxo de água no interior de um talude podem alertar para uma condição de instabilidade mesmo antes que os métodos de medição direta de movimentos o façam, simplesmente porque eles representam, antes de efeitos, causas de instabilidade.

6.1. Medidores de pressão e nível d'água

Os problemas de instabilidade podem estar associados a excessivas carga de água, ou excessiva pressão de água. Os piezômetros são a forma mais simples de instrumentação para medição de pressões da água e podem ser de vários tipos, instalados a distâncias adequadas da face do talude. Os mais simples consistem em furos abertos, permitindo a leitura direta do nível da água. Os mais sofisticados podem utilizar diafragmas sensíveis, que respondem a mudanças muito pequenas de pressão, enquanto que a conversão das leituras em valores de pressão é feita por meio de equipamentos eletrônicos. De qualquer forma, trata-se de aparelhos de primordial importância nas fases de estudo e observação.

6.2. Medidores de cargas e de pressões

A instrumentação de estruturas de contenção e suporte mostra se o sistema foi projetado adequadamente e também pode indicar se o talude está evoluindo para uma situação mais estável ou instável.

Esforços sobre ancoragens podem ser medidos por células de carga. Estas compreendem em geral um ou mais cilindros ou placas metálicas, de modo a suportar a carga a ser medida. As deformações nos cilindros são medidas através de sistemas mecânicos, fotoelétricos, cordas vibrantes, etc. Pressões em muros de contenção são medidas por meio de células de pressão ou macacos planos. Esses dispositivos consistem em duas finas chapas metálicas soldadas e infladas hidráulicamente, sendo que um medidor pode registrar as mudanças de pressão no mesmo.

6.3. Medidores de microruídos

Movimentos de maciços são acompanhados de ruídos, que se tornam audíveis no momento do colapso. Para sua detecção, podem se usar geofones ou detectores, ligados a amplificador e a um registro escrito contínuo. Apesar das tentativas feitas na análise das características dos acontecimentos microssísmicos e de sua possível correlação, em frequência e amplitude, com a natureza dos movimentos rochosos, nenhuma correlação foi encontrada. Apesar disso, foi observado que a quantidade de acontecimentos microssísmicos aumenta rapidamente com o aumento da instabilidade e esse fato tem sido utilizado na predição de escorregamentos. Esta técnica tem sido utilizada também na locação de fenômenos de descompressão em obras subterrâneas e no registro sismológico de terremotos.

7. INSTRUMENTOS

7.1. Definições

- *Sensitividade de deformação* do instrumento é definida como o menor incremento da quantidade medida que pode ser lida na escala de leitura.

$$S_d = \frac{d}{m}$$

onde d = a menor leitura da escala e

m = aumento

- *Sensitividade de deformação infinitesimal* é dada pela divisão da sensitividade de deformação pelo comprimento do padrão.

$$S_s = \frac{d}{m \cdot L}$$

onde L = comprimento do padrão

- *Faixa do instrumento* é dada pela quantidade máxima que o instrumento pode medir.

- *Reprodutibilidade* é a obtenção do mesmo valor numa sucessão de medidas.

- *Precisão* do instrumento é determinada pela medida ou comparação com um padrão. O aparelho pode ser calibrado pelo fabricante, o qual fornece um certificado de calibração . A precisão é expressa em geral como uma porcentagem da faixa máxima de medidas.

- *Erros ao acaso* podem ser positivos ou negativos em relação ao valor verdadeiro e são eliminados se efetuarmos um grande número de medidas.
- *Erros sistemáticos* são constantemente positivos ou negativos em relação ao valor verdadeiro e só podem ser avaliados pela calibração.
- *Medida absoluta* é usada para estabelecer uma medida feita em relação ao zero da escala de medida, e o valor obtido é chamado valor absoluto.
- *Medida relativa* é feita em relação a um valor inicial arbitrário usualmente desconhecido.
- *Flutuação* refere-se a mudança na leitura durante o período de ensaio.

7.2. Seleção

A seleção dos equipamentos deve ser feita visando os seguintes pontos:

- Segurança
- Controle
- Design adequado

É necessário pesquisar os tipos de instrumentos e componentes mais adequados a mensurar uma determinada variável, avaliando não apenas o preço ou a qualidade, mas a precisão, eficácia, durabilidade, simplicidade, a receptibilidade dos sensores e componentes

de leitura durante o tempo de uso, a performance do equipamento, o custo de manutenção e a compatibilidade com outros equipamentos e computadores.

Recomenda-se conhecer outros empreendimentos que utilizam equipamentos similares, como é o funcionamento e o desempenho destes.

Na seleção dos instrumentos deve-se considerar não apenas o custo do hardware mas a dificuldade de instalação dos componentes. Usualmente, o indicador de leitura é o componente mais caro, e é ele que determina a precisão com que um determinado programa será monitorado.

Os equipamentos selecionados devem também levar em consideração as condições climáticas em que deverão trabalhar.

Outra importante consideração é determinar a equipe responsável pela coleta dos dados, se há necessidade de treinamento especial e qual o tempo que deve ser despendido para monitorar os instrumentos.

Dessa forma, o instrumento ideal deve ter as seguintes características:

- confiabilidade
- alta durabilidade
- não provocar alterações no valor da grandeza a ser medida, durante ou após a instalação
- robustez
- alta precisão

- alta sensibilidade
- não ser influenciável por outras grandezas, exceto a de interesse
- instalação simples
- ser de fácil manuseio, de preferência portátil
- não causar interferência na praça de trabalho
- baixo custo

Das características citadas, normalmente, as mais importantes referem-se à confiabilidade e à durabilidade.

Deve-se lembrar que o cuidado na instalação é tão importante quanto a qualidade dos instrumentos.

8. TRATAMENTO DE DADOS

As medidas de deformação são lançadas em gráfico e relacionadas com o tempo, sejam em horas, dias ou meses. A análise sistemática de tais gráficos deveria permitir predizer o comportamento do talude.

Todo projeto deve ser acompanhado de um relatório, justificando detalhadamente os objetivos, instrumentos previstos e período de acompanhamento.

Cada tipo de instalação obedece às especificações emitidas. Caso ocorram alterações no campo, as alterações decorrentes deverão ser executadas com a anuência do responsável. Recomenda-se a emissão de uma folha de acompanhamento com os respectivos dados e execução do perfil de instalação, iniciando-se, assim, o histórico do instrumento.

9. CONCLUSÃO

Como foi demonstrado, realizar um projeto de monitoramento é uma decisão importante para o controle da estabilidade das estruturas, que deve ser tomada e já nas primeiras fases de projeto.

Todos os métodos apresentados devem ser criteriosamente estudados conforme o objetivo e necessidade do projeto. Na maioria das vezes não é possível selecionar apenas um, mas deve ser pensada a viabilidade de utilizá-los em conjunto.

Quanto aos instrumentos, há no mercado uma vasta gama deles, visto que cada fabricante possui uma linha e modelos diferentes. Todas as alternativas devem ser levadas em consideração e devem ser escolhidos aqueles que melhor atendem às necessidades do programa de monitoramento.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FRANKLIN, J. A. ; DUSSEAUL, M. B., **Rock Engineering** New York, 1989
- BRAWNER, C.O., **Third International Conference on Stability in Surface Mining**, 1982
- HANNA, T.H., **Field Instrumentation in Geotechnical Engineering**, Series on Rock and Soil Mechanics Vol.10 Trans Tech Publication Germany, 1985
- HOEK, E. ; BRAY, J., **Rock Slope Engineering**, London Institution of Mining and Metallurgy, (1974)
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas, **Agrupamento de Mecânica de Rochas**, 1975
- ISRM, **Suggested Methods for Monitoring Rock Movements Using a Borhole Extensometers**, 1977
- ISRM, **Suggested Methods for Monitoring Rock Movements Using Inclinemteters and Tiltmeters**, 1977
- HENNIES, W. T., **Mecânica de Rochas aplicada à Mineração** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- GUIDICINI, G., **Estabilidade de Taludes Naturais**, (1970)
- KOVÁRI, K., **Field Measurements in Rock Mechanics** Federal Institute of Technology, A. Balkema Rotterdam, 1979 v.2
- Sakurai, S. **Field Measurements in Geomechanics**, Rotterdam, 1988
- R. S. Technical Instruments LTD, catálogos
- Interfels Gm BH, catálogos
- OYO Corporation, catálogos
- Slope Indicator Company, catálogos
- GEOKON Incorporated, catálogos
- SISGEO S.r.l., catálogos
- Structural Behavior Engineering Laboratories Inc., catálogos
- MTS Systems Corporation, catálogos