

# INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO DE TALUDES EM SOLO GRAMPEADO

## INSTRUMENTATION AND MONITORING OF NAILED SOIL SLOPES

Nunes, Anna Laura L. S., COPPE - UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, [alaura@coc.ufrj.br](mailto:alaura@coc.ufrj.br)  
Sayão, A.S.F.J.; Springer, F.O.; Lima, A.P.; Saré, A.R., PUC-Rio, Brasil, [sayao@civ.puc-rio.br](mailto:sayao@civ.puc-rio.br)  
Dias, P.H.V., SEEL, Rio de Janeiro, Brasil, [phdias@seel.com.br](mailto:phdias@seel.com.br)

### RESUMO

Este artigo apresenta detalhes da instrumentação de taludes escavados em maciços de solo gnáissico reforçado com grampos (pregos). A instrumentação é composta de medidores de deslocamento horizontal convencionais (inclinômetros) e não convencionais (*tell tales*) e de medidores de deformação do tipo *strain gages* colados ao longo das barras de aço dos grampos. São apresentados os detalhes de projeto e de execução dos diversos instrumentos, os ensaios de calibração e a verificação de desempenho, bem como a técnica de interpretação dos resultados. Especial atenção é dada aos cuidados exigidos para a proteção contra a corrosão e danos mecânicos dos dispositivos de leitura. Os resultados obtidos da monitoração dos dois taludes, durante e após a escavação grampeada, indicaram a adequação dos instrumentos.

### ABSTRACT

This paper presents details of a instrumentation project of two high nailed excavations in gneissic residual soil. Instrumentation included inclinometer and tell-tales for monitoring horizontal displacements of the soil mass. Strain gages were also placed on the steel bars for obtaining tension and bending along the nails. Design concepts and construction details are described, together with details of the calibration and monitoring program. The technique for interpretation of results is also presented. Special attention is given to the protection against corrosion and mechanical damages of the reading devices. Monitoring of nailed slopes during and after excavation indicated a good performance of the instruments.

### 1. INTRODUÇÃO

O grampeamento de maciços de solo ou rocha mostra-se uma técnica eficiente em obras emergenciais, temporárias ou permanentes, em locais onde a restrição de espaço, cronograma e orçamento são fatores condicionantes. Uma das vantagens do grampeamento é que reforça o material *in situ*, sendo aplicável para a estabilização de taludes potencialmente instáveis ou para escavações sub-verticais. O processo de instalação dos grampos injetados consiste, em geral, na execução prévia de um furo, inserção de barra de aço e injeção de nata cimentante para preenchimento do furo. A face externa do talude pode ser revestida por concreto projetado com tela metálica, sem função estrutural. O monitoramento dos deslocamentos do maciço e/ou dos grampos é um fator importante para a avaliação do comportamento do reforço durante e após a execução do grampeamento. Detalhes sobre projeto e execução de solos grampeados são reportados por Clouterre [1], Schlosser et al. [2], GEO [3] e Ortigão & Sayão [4].

Este artigo apresenta detalhes da instrumentação de dois taludes de grande altura, escavados em maciço de solo gnáissico reforçado com grampos. A instrumentação é composta de medidores de deslocamento horizontal convencionais (inclinômetros) e não convencionais (*tell tales*) e de medidores de deformação do tipo *strain gages* colados ao longo das barras de aço dos grampos.

As medidas de cargas de tração dos grampos instrumentados com *strain gages* foram utilizadas para controlar a velocidade e a técnica de escavação dos taludes.

## 2. ÁREA DOS TALUDES GRAMPEADOS

Os taludes grampeados foram escavados em área geologicamente complexa, no Morro do Palácio, em Niterói, cidade próxima ao Rio de Janeiro. Esta área situa-se dentro de uma zona de falha, que resultou em vários tipos de dobras e foliações e evoluiu para uma tectônica direcional. Isto produziu extensas zonas de cisalhamento dúctil-frágil, que recortam o Estado do Rio de Janeiro. No mapeamento, constatou-se a presença de rochas gnáissicas, com granulação fina a média e coloração cinza a vermelha. Intercalações de quartzitos e lentes de gnaisses calcissilicáticos são freqüentes (Gomes Silva [5]). O mapeamento geológico-geotécnico da área indica um padrão de foliações, fraturas subverticais, acamamentos e xistosidade subhorizontais, que favorece a percolação de água, ocasionando a alteração das rochas em grandes profundidades ( $\pm 15\text{m}$ ). A Figura 1 revela o perfil de alteração da encosta durante os estágios iniciais da escavação.

No projeto de reforço da encosta, foram considerados os cortes de taludes sub-verticais intermediários, com alturas variando de 6 a 10m. Os grampos de reforço foram executados em furos com diâmetro de 100mm e comprimento variando entre 4 a 24m, com inclinação de  $10^\circ$  com a horizontal. Foram utilizadas barras de aço CA75, nervuradas e com diâmetro nominal de 22mm. Uma calda de cimento Portland, com fator água-cimento de 0,50, foi utilizada para preenchimento dos furos. Os taludes grampeados foram recobertos por tela metálica e concreto projetado com cerca de 15cm de espessura, sem função estrutural.



Figura 1 - Perfil de alteração da área de escavação

## 3. PROJETO DA INSTRUMENTAÇÃO

A escavação de taludes de grande altura reforçados com grampos é, geralmente, um processo rápido, executado em bancadas de 1 a 2m de altura, no máximo. Em função dos esforços causados por este tipo de escavação, os cortes podem ser executados em nichos em uma mesma bancada. Entretanto, a massa de solo é solicitada pelo rápido desconfinamento e isto pode gerar tensões elevadas nos grampos recém instalados no talude. Com a escavação, a massa tende a

sofrer deslocamentos maiores no topo do talude, aumentando a tração nos grampos (Guilloux & Schlosser [6]; Schlosser et al. [7]; Clouterre [1]). Os esforços gerados podem originar superfícies de ruptura na massa de solo grampeada, em escala local e global.

O desenvolvimento dos esforços oriundos da escavação e do reforço com grampos pode ser monitorado através de instrumentação específica. Usualmente tem-se a instalação de tubos de inclinômetro ao longo da altura do talude, permitindo a medição dos deslocamentos horizontais com a profundidade. Marcos superficiais também são empregados para acompanhamento dos vetores de deslocamento. Além disto, piezômetros e/ou tensiômetros podem ser instalados para determinar a poropressão do maciço. A literatura raramente reporta medições específicas de carga nos reforços, ou uso de *tell tales* para monitoramento dos deslocamentos horizontais de pontos em uma mesma cota do talude.

Desta forma, este trabalho apresenta uma proposta de instrumentação do talude grampeado. Utilizou-se um conjunto de transdutores compostos por inclinômetros e *tell tales*, para medição dos deslocamentos horizontais, e extensômetros elétricos do tipo *strain gages* colados nas barras de aço dos grampos, para medição das deformações e estimativa das cargas nos reforços. Esta concepção privilegia a redundância de medidas efetuadas com transdutores diversos que possam informar em tempo hábil a possibilidade de ruptura do talude, além de fornecer indicadores relativos à velocidade de avanço da escavação do talude.

O posicionamento adotado para a instalação deste conjunto de medidores é esquematizado na Figura 2. Inclinômetros, *tell tales* e grampos instrumentados com *strain gages* devem se situar em uma mesma seção transversal ao longo da altura do talude. Para redundância e confirmação das medidas, adotou-se duas colunas adjacentes de grampos instrumentados. O furo para *tell tales* foi executado a meia distância das duas colunas de grampos. Os grampos instrumentados foram instalados nas cotas onde eram previstas as maiores solicitações de projeto, isto é, nos topos dos taludes intermediários de cada bancada. Foram também instrumentados os grampos situados a um terço da altura a partir da base do talude.

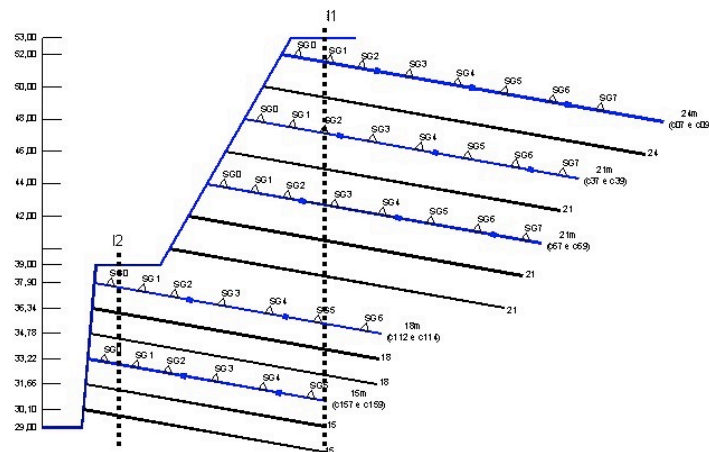


Figura 2 - Esquema da instrumentação no talude grampeado (Sayão et al. [8] e Springer [9])

### 3.1 Inclinômetros

O inclinômetro é um instrumento que serve para medir deslocamentos horizontais dentro do terreno. A seqüência de leituras no tempo permite determinar a progressão dos movimentos do talude e localizar a profundidade de uma eventual superfície de ruptura. A utilização de

inclinômetros é prática bastante conhecida em obras geotécnicas. Os procedimentos de instalação são apresentados em detalhes na literatura (Dunncliff [10]; Ortigão & Sayão [4]).

É importante ressaltar que o fundo do furo com o tubo de acesso atingiu uma profundidade que garantiu a ancoragem do tubo, imune aos efeitos da escavação do talude. O furo foi executado com 100mm de diâmetro, permitindo a inserção do tubo de acesso (80mm) e o posterior preenchimento com calda de cimento-bentonita (1:10). Durante a instalação, o tubo foi orientado de forma que as ranhuras concordassem com as direções principais da obra.

O torpedo padrão de 25 mm de diâmetro é do tipo deslizante e percorre o tubo de baixo para cima. O sensor é guiado por pequenas rodas que garantem o alinhamento do instrumento no centro do tubo (Figura 3). Os deslocamentos são calculados através da equação:

$$\delta_h = L \sum \sin\theta \quad (1)$$

onde:  $\delta_h$  = deslocamento horizontal; L = distância entre medidas;  $\theta$  = leitura do inclinômetro.



Figura 3 - Inserção do inclinômetro para monitoramento dos deslocamentos horizontais

Os inclinômetros são equipamentos robustos e raramente sofrem perturbações do meio no qual são inseridos. Entretanto, alguns cuidados foram tomados para evitar o vandalismo dos tubos de acesso: (i) colocação de tampa na extremidade do tubo de acesso; (ii) construção de uma caixa de proteção chaveada no entorno do tubo (Figura 4) e (iii) atenção na execução das perfurações subhorizontais dos grampos para evitar os danos nos tubos verticais dos inclinômetros.



Figura 4 - Caixa de proteção e tampa do tubo de acesso do inclinômetro

### 3.2 Tell tales

*Tell tales* são dispositivos que medem os deslocamentos horizontais de pontos diversos ao longo da cota na qual são instalados. Trata-se de um fio tensionado, fixo na extremidade interna (ponto de medida) e livre na extremidade externa (face dos talude). Neste trabalho, foram utilizados dispositivos simples e de baixo custo. O fio de aço tem resistência à tração de 10kgf (comumente utilizado para pesca), com recobrimento de poliéster para proteção anticorrosiva. O bom desempenho e a trabalhabilidade deste tipo de *tell tale* foram indicados pelos resultados no campo (Becker & Nunes [11] e [12]) e no laboratório (Scherren [13]; Aguiar et al. [14]).

Os *tell tales* foram instalados em furos de mesmo diâmetro dos furos dos grampos. O comprimento do furo ultrapassou a posição das superfícies potenciais de ruptura do talude, indicadas nas análises de equilíbrio limite. A Figura 4 apresenta o esquema de um conjunto de 3 *tell tales* instalados em um único furo de 100mm de diâmetro, com comprimentos variados e garantidos pelas ancoragens das extremidades. Observa-se que o furo foi completamente preenchido com calda de cimento para fixação dos tubos de PVC. A calda possuía um fator água/cimento de 0,5, igual à empregada para execução dos grampos. Ressalta-se que os fios de aço permanecem livres no interior dos tubos.

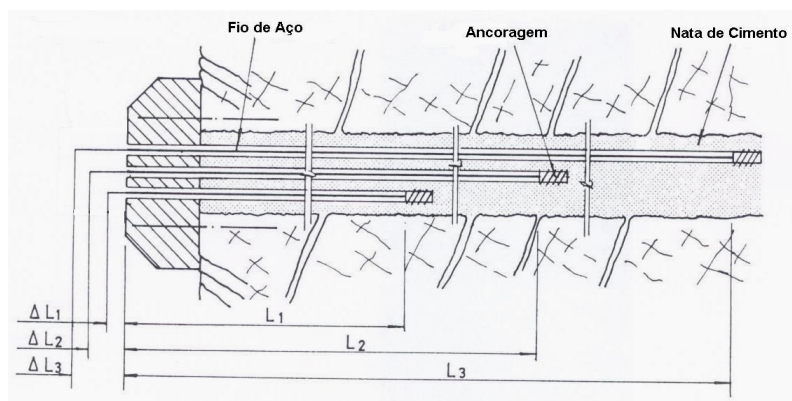


Figura 4 - Esquema do conjunto de 3 *tell tales* de comprimentos diversos em um único furo

O detalhe da fixação do fio em barra de aço e a sua ancoragem no furo são indicados na Figura 5a. A barra é inserida na extremidade do tubo de PVC, responsável pela minimização do atrito e proteção do fio de pesca. O tubo de PVC de diâmetro nominal de 12,7mm (1/2") tem o mesmo comprimento do fio de pesca e sua extremidade atinge a face do talude. A Figura 5b indica o posicionamento dos 3 tubos com os fios na saída do furo. Nas extremidades externas dos fios foram acoplados pesos metálicos de 0,5 a 1,0kgf com a função de garantir a tensão dos fios de *tell tales* (Figura 5c).

É recomendável a construção de uma caixa protetora para as extremidades externas dos *tell tales*. Esta caixa pode servir como anteparo para a escala milimetrada onde são realizadas as medidas. A Figura 6 ilustra o conjunto formado por 4 *tell tales* na caixa de leitura metálica construída neste projeto. Observa-se a escala em mm no fundo da caixa e as pequenas agulhas indicadoras da progressão dos deslocamentos horizontais. Ressalta-se que as roldanas de encaminhamento dos fios devem ser confeccionadas em material resistente à corrosão e livres de atrito para não restringir o movimento. Um detalhe importante é a fixação das roldanas na haste de suporte, para impedir movimentos laterais que possam perturbar as medições dos *tell tales* vizinhos. Os *tell tales* são medidores mecânicos de baixo custo, robustos, imunes a oscilações elétricas e térmicas e de fácil montagem e operação. Entretanto, apresentam resolução limitada a 0,5mm em função da escala milimétrica utilizada.



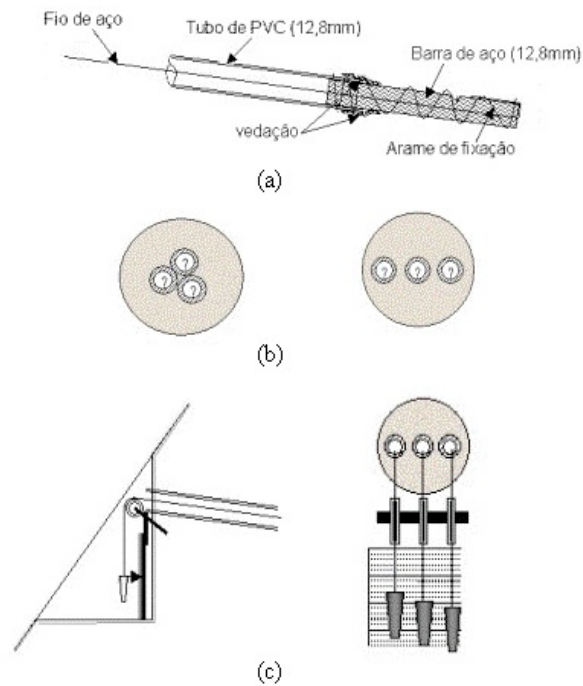


Figura 5 - Esquema de 3 *tell tales* em furo: (a) Extremidade fixa de 1 fio; (b) Seção transversal dos fios ao longo e na saída do furo; (c) Vistas lateral e frontal da extremidade livre dos fios.



Figura 6: Conjunto de *tell tales* na caixa metálica

### 3.3 Barras de aço instrumentadas

As barras de aço que constituem os grampos podem ser instrumentadas com extensômetros de resistência elétrica (*strain gages*). A maior vantagem de emprego deste tipo de transdutor reside no menor custo quando comparado aos outros dispositivos de medida, tais como os transdutores de deformação de corda vibrante e LVDTs. São capazes de fornecer medidas com precisão de  $10^{-6}$  mm/mm. Entretanto, os *strain gages* exigem cuidados especiais quanto à colagem, conexão elétrica, proteção térmica, elétrica e mecânica.

A maioria dos fabricantes oferece a opção de *strain gages* para aço com resistência de 120 ou 350 Ohms. Estes são mais sensíveis, porém de maior custo que os primeiros. Ambos devem ser alimentados por uma fonte estável. Neste trabalho, optou-se por *strain gages* de 120 Ohms, com fator de medida (*gage factor*) de 2,0, fabricados no Brasil.

A disposição dos *strain gages* na barra deve privilegiar a região de maiores esforços. Desta forma, concentrou-se um maior número de medidores na metade inicial da barra, próximo à cabeça do grampo. Neste projeto, os comprimentos das barras variaram de 6 a 24m. Portanto, adotou-se um espaçamento típico, apresentado para a barra de 24m na Figura 7, onde 3 *strain gages* são distribuídos nos primeiros 6m, espaçados de 2m entre eles. No restante da barra, o espaçamento entre os *strain gages* é de 3m.

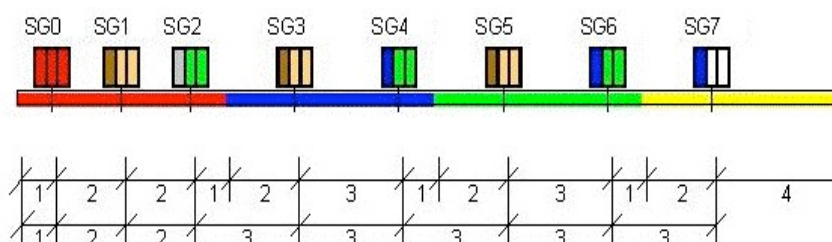


Figura 7 - Disposição dos *strain gages* na barra composta de 4 segmentos de 6m

Os procedimentos para fixação dos *strain gages* na barra de aço exigem a preparação prévia da região onde serão colados. Trata-se de uma barra nervurada CA75 de diâmetro nominal externo de 22mm e efetivo de 20mm. As nervuras de 2mm altura foram eliminadas na região de colagem através de usinagem. O polimento fino foi obtido por politriz manual, variando-se a espessura das lixas. Ressalta-se que é inevitável uma pequena redução do diâmetro da barra à cerca de 19mm.

Os *strain gages* e terminais foram colados com resina do tipo cianoacrilato. As conexões às pontes de *Wheatstone* foram realizadas através da ligação de 3 fios, a fim de se eliminar o efeito do comprimento do cabo no desbalanceamento da ponte (Fig. 8). Todas as ligações são em ponte completa, realizadas em uma caixa externa com os circuitos elétricos correspondentes a cada *strain gage* da barra (Nunes & Castilhos [15]; Nunes et al. [16]). Após a conexão dos terminais, o conjunto foi protegido com a aplicação de camadas sucessivas de verniz isolante, película de adesivo epóxi Araldite de cura rápida e resina Quilosa Sintex. Estes procedimentos são fundamentais para garantir a minimização de perdas dos *strain gages*, provocadas por falta de isolamento elétrico, umidade e corrosão do circuito elétrico e choques mecânicos resultantes do transporte e instalação das barras.

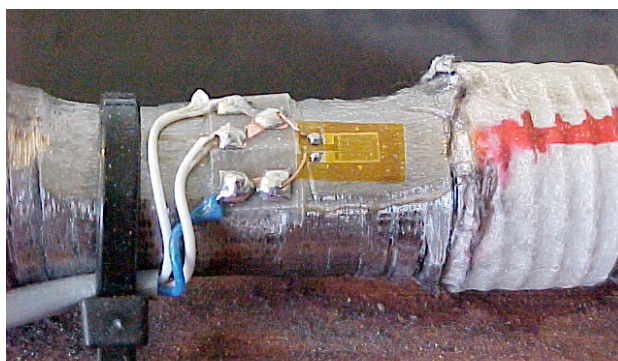


Figura 8 - Colagem e ligação do *strain gage* e circuito externo de ponte de *Wheatstone*

Os *strain gages* foram conectados em ponte completa de *Wheatstone* utilizando-se cabos de rede independentes para cada segmento de barra de aço de 6m. Este detalhe foi importante para facilitar o transporte e a instalação dos grampos no campo. Os danos destas operações podem inutilizar toda a instrumentação da barra. Outro detalhe essencial residiu no emprego de cabos blindados. Apesar de mais onerosos, os cabos com blindagem reduzem os efeitos parasitas nas leituras de deformação realizadas no canteiro de obras com geradores e outros equipamentos elétricos em funcionamento. O transporte e a instalação das barras instrumentadas nos furos do talude são operações de risco para *strain gages* e cabos. A flexão das barras pode danificar os *strain gages* ou provocar o fissuramento da proteção com resina, permitindo o contacto de água ou umidade com os circuitos elétricos. Este risco foi reduzido com berços de madeira para acomodação das barras para transporte e instalação. O uso de espaçadores plásticos também é vital para que a barra com *strain gages* e cabos não sofra atrito com a face interna do furo no momento da inserção.

#### 4. ENSAIOS DE CALIBRAÇÃO E DE DESEMPENHO

Os dispositivos de leitura utilizados no projeto foram calibrados conforme as recomendações usuais (Dunncliff [10]). O torpedo e caixa de leituras dos inclinômetros foram previamente testados em laboratório. Os *tell tales* foram verificados quanto à resistência à tração do fio de aço fornecida pelo fabricante (Scherren [13]). As barras de aço instrumentadas com *strain gages* foram calibradas através de procedimento especial. As barras eram introduzidas no interior de tubo metálico e fixadas em uma das extremidades. Um macaco hidráulico e célula de carga de 200kN eram acoplados na outra extremidade da barra (Figura 9a). A calibração foi realizada em estágios de carga crescentes de 10kN e as leituras nos *strain gages* foram monitoradas até a estabilização. Utilizou-se o mesmo sistema de aquisição de dados e caixa de pontes de *Wheatstone* disponível para monitoramento dos grampos no campo. A Figura 9b apresenta os resultados típicos da calibração de uma barra instrumentada de 4m de comprimento, em função da carga de tração aplicada e deformações dos *strain gages*, espaçados de 0,50m, a partir do trecho livre.

Observa-se que as deformações são calculadas a partir das leituras (em Volts) registradas pelo sistema de aquisição de dados. Esta conversão é expressa por (Perry & Lissner [17]):

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R \cdot GF} = \frac{4 \cdot \Delta L}{(V_{exc} + 2 \cdot \Delta L) GF} \quad (2)$$

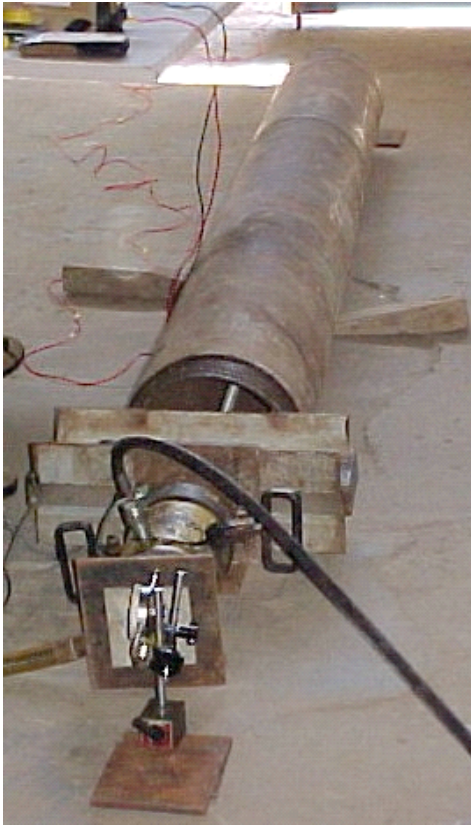
onde:  $\varepsilon$  = deformação do *strain gage*;  $\Delta R$  = variação de resistência do *strain gage*; R = resistência nominal do *strain gage*; GF = *gage factor* do *strain gage*;  $\Delta L$  = variação de voltagem do *strain gage*;  $V_{exc}$  = voltagem de excitação (Ponte de *Wheatstone*).

Pode-se notar que as deformações registradas pelos 5 *strain gages* são semelhantes para cada nível de carregamento aplicado (Figura 9b). As constantes de calibração de cada uma das retas dos *strain gages* diferem entre si de, no máximo, 5,1% (Proto Silva [18]). Os valores teóricos de deformação calculados pela Eq. 2 podem ser verificados experimentalmente através das deformações da barra em carga, utilizando-se a lei de Hooke (Eq. 3) :

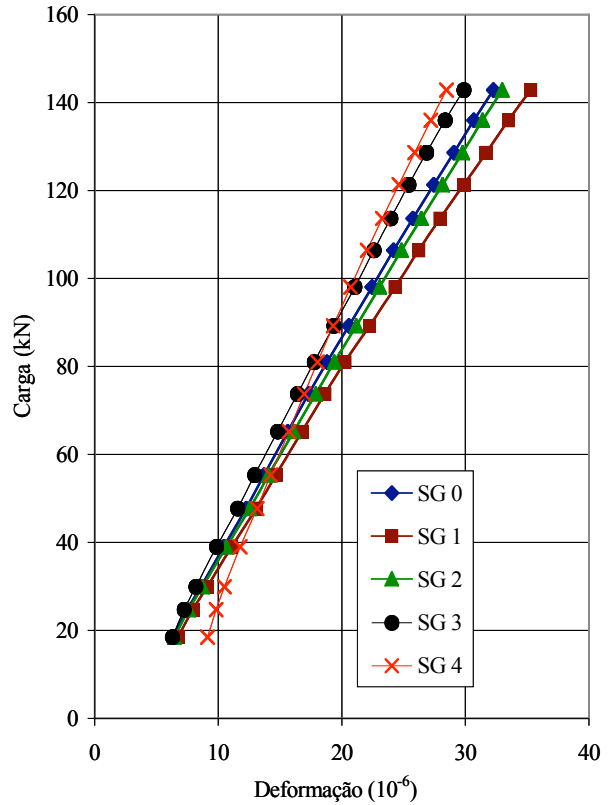
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{P / (\pi D^2 / 4)}{E} \quad (3)$$

onde:  $\varepsilon$  = deformação do *strain gage*;  $\sigma$  = tensão aplicada à barra; E = módulo de elasticidade da barra de aço; P = carga aplicada; D = diâmetro da barra de aço.





(a) Calibração



(b) Resultados

Figura 9 - Calibração e resultados das barras instrumentadas com 5 strain gages

Os valores de deformação do *strain gage* determinados teoricamente pela Eq. 2 e experimentalmente pela Eq.3 (Tabela 1) foram semelhantes em todos os níveis de carregamento aplicados no ensaio de calibração, indicando, portanto, a qualidade e o bom desempenho das barras instrumentadas.

Tabela 1 – Comparação entre os valores de deformação obtidos teórica e experimentalmente

Carga (kN)	Deformação teórica (Eq.2) (10 <sup>-6</sup> )	Deformação experimental (Eq.3) (10 <sup>-6</sup> )
29,9	415	530
55,4	932	981
81,0	1428	1435
106,4	1790	1886
121,3	2110	2150
142,9	2587	2532

## 5. MONITORAMENTO E INTERPRETAÇÃO

Os estágios de escavação dos taludes foram monitorados através das barras instrumentadas, *tell tales* e inclinômetros. A Figura 10 apresenta os resultados típicos do inclinômetro obtidos após escavação de 7,6 e 24,9m de altura. Nota-se que os maiores deslocamentos ocorrem a aproximadamente 11m do topo do talude e atingem um máximo de 11mm para uma altura de escavação de 24,9m.

A Tabela 2 apresenta os deslocamentos horizontais totais, ao fim da escavação de 25m, registrados por 3 conjuntos de 4 *tell tales*, cujas caixas de leitura situam-se a 5,0, 8,5 e 13,5m de profundidade do topo do talude, respectivamente. Os *tell tales* possuem comprimentos de 1,5m (TT1), 7,0m (TT2), 14,0m (TT3) e 28,0m (TT4). Observa-se que os deslocamentos registrados pelos 3 conjuntos de 4 *tell tales* são consistentes entre si, exceto pelos TT2 e TT4 do conjunto da profundidade de 8,5m. Aparentemente, os fios destes *tell tales* foram impedidos de se deslocar, muito provavelmente por dano do próprio fio ou por alguma obstrução no interior do tubo de PVC. Entretanto, somente 2 *tell tales* em um total de 24 ficaram comprometidos. Os outros *tell tales* dos 3 conjuntos indicam deslocamentos horizontais crescentes com a posição de ancoragem. Os valores medidos são compatíveis aos registrados pelo inclinômetro. Ressalta-se que o TT2 e o TT3 estão localizados na região de maiores deslocamentos horizontais medidos pelo inclinômetro (11mm) e seus deslocamentos foram de 9,5 e 17,0mm, respectivamente. A média, portanto, dos dois *tell tales* é igual a 13,3mm e situa-se na mesma ordem de grandeza do inclinômetro. Da mesma forma, o valor de deslocamento total do TT3 é de 6,5mm, valor semelhante ao indicado pelo inclinômetro na mesma profundidade e igual a 8,0mm.

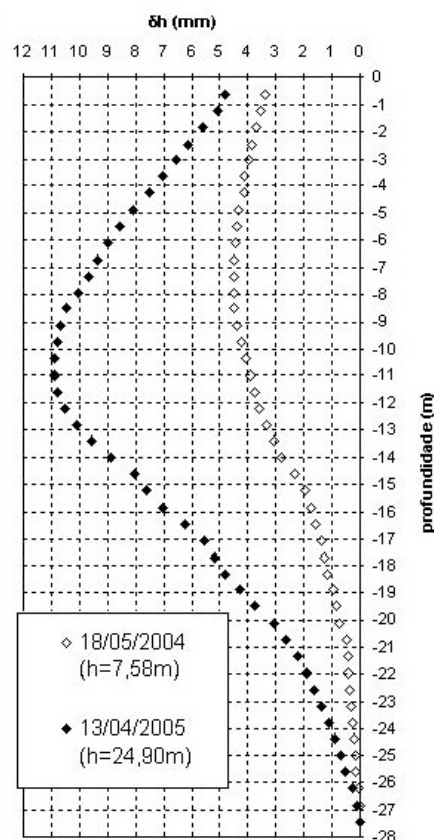


Figura 10 - Resultados típicos do inclinômetro após escavação de 7,6m e 24,9m de altura

Tabela 2 - Deslocamentos horizontais totais dos *tell tales* após a escavação de 24,9m

<i>Tell tale</i>	L (m)	Deslocamento (mm)		
		h = 5,0m	h = 8,5m	h = 13,5m
TT 1	1,5	0,5	0,5	4,5
TT 2	7,0	3,0	1,0	9,5
TT 3	14,0	6,5	13,0	17,0
TT 4	28,0	9,0	0,5	19,5

Os resultados típicos indicados pelos *strain gages* dos grampos são representados pelos valores de carga mobilizada vs comprimento do grampo C39, na profundidade 5,0m (Figura 11). Nota-

se que são apresentados dois estágios de escavação: 7,6m de altura em linha tracejada e 24,9m (escavação total) em linha cheia. Pode-se notar que a barra instrumentada acusou o aumento progressivo das cargas mobilizadas no grampo resultantes dos esforços da escavação. Observa-se na Figura 11 que a maior sollicitação corresponde ao trecho inicial do grampo, a cerca de 5m da cabeça do grampo, corroborando a distribuição de tensões indicada por Clouterre [1]. Os *strain gages* SG2 e SG3 acusam cargas máximas de 118 e 70kN, respectivamente, com valores praticamente nulos nas extremidades. Ressalta-se que os maiores valores de carga nos grampos decorreram da combinação de eventos simultâneos na obra: escavação de bancada maior que 2m de altura, um período de chuvas e instalação tardia dos grampos na bancada já perfurada.

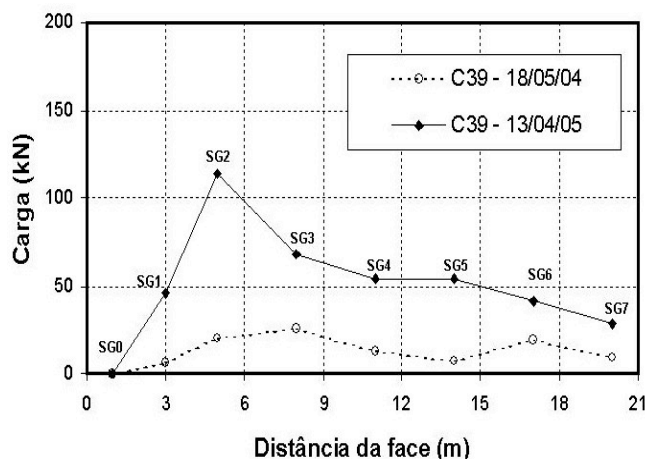


Figura 11 - Resultados de grampo com *strain gages* após escavação de 7,6m e 24,9m de altura

## 6. CONCLUSÕES

O reforço de taludes escavados através da técnica de solo grampeado tem várias vantagens, destacando-se a simplicidade de execução, rapidez e baixo custo. Esta técnica mostra-se eficiente em obras emergenciais, temporárias ou permanentes, em locais onde há restrições de espaço, cronograma e orçamento. A instrumentação é importante para acompanhar os deslocamentos durante e após a escavação. Neste trabalho, o monitoramento foi realizado com inclinômetros e *tell tales*, para medidas de deslocamento horizontal, e barras instrumentadas com *strain gages*, para medidas de deformação e de carga nos grampos. Esta concepção privilegiou a redundância de medidas com instrumentos diversos, permitindo avaliar a eventual possibilidade de ruptura do talude, e fornecendo indicadores da velocidade de avanço da escavação. Os inclinômetros, além da robustez e simplicidade de operação, apresentam a vantagem de serem bastante utilizados em geotecnia. Entretanto, os custos são elevados e os cuidados com a proteção do tubo de acesso são fundamentais para o sucesso do monitoramento.

Os *tell tales* são medidores mecânicos de baixo custo, robustos, imunes a oscilações elétricas e térmicas, e de fácil montagem e operação. O inconveniente deste tipo de dispositivo reside na sua resolução limitada a 0,5mm. Os resultados do monitoramento realizado neste trabalho indicaram um desempenho similar ao do inclinômetro.

As barras com *strain gages* mostraram um ótimo desempenho, aliado a custos acessíveis. Os resultados de calibração das barras instrumentadas indicaram um comportamento elástico linear, com histerese desprezível, fornecendo constantes de calibração semelhantes em todos os *strain gages*. Os procedimentos de preparação das barras, e de colagem e proteção dos *strain gages* e circuitos elétricos são trabalhosos. No entanto, mostraram-se adequados, tanto na estabilidade e resolução das medidas, quanto na reduzida vulnerabilidade aos processos de transporte e instalação das barras, saturação do maciço e sollicitação dos grampos instrumentados.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte do CNPq para as pesquisas de mestrado e doutorado realizadas neste trabalho e o apoio da Empresa SEEL Ltda e do Laboratório da COPPE-UFRJ.

## 8. REFERÊNCIAS

- [1] Clouterre (1991). Soil Nailing Recommendations Project National Clouterre. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, ENPC, Paris, France, 301p.
- [2] Schlosser, F.; Unterreiner, P.; Plumelle, C. (1992). French Research Program Clouterre on Soil Nailing. ASCE Specialty Conference on Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, New Orleans, USA, v.2, pp.739-750.
- [3] GEO (1996) Prescriptive Design for Soil Nailing, Geotech. Engineering Office, Hong Kong.
- [4] Ortigão, J.A.R.; Sayão, A.S.F.J. (2004). Handbook of Slope Stabilisation. Springer Verlag, Germany, 478 p.
- [5] Gomes Silva, A.M.B. (2006). Condicionantes Geológico-Geotécnicos de Escavação Grampeada em Solo Residual de Gnaiss, Tese de Mestrado, COPPE-UFRJ, Brasil, 157 p.
- [6] Guilloux, A.; Schlosser, F. (1982). Soil Nailing. Practical Application. Symposium on Soil and Rock Improvements Techniques, Geotextiles, Reinforcement Earth, and Modern Piling Methods, Bangkok.
- [7] Schlosser, F.; Jacobsen, H.; Juran, I. (1983). Soil Reinforcement, General Report, Session no.5, 8<sup>th</sup> European Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering, ISSMFE, Helsink, v.3.
- [8] Sayão, A.S.F.J., Lima, A.P.; Springer, F.O.; Nunes, A.L.L.S.; Dias, P.H.V.; Gerscovich, D.M.S. (2005). Design and Instrumentation Aspects of a 40m High Nailed Slope. 16<sup>th</sup> ICSMGE Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, Japão.
- [9] Springer, F.O. (2006). Ensaios de Arrancamento de Grampos em Solo Residual de Gnaiss, Tese de Doutorado, PUC-Rio, Brasil, 309 p.
- [10] Dunicliff, J. (1988). Geotechnical Instruments for Monitoring Field Performance, John Wiley & Sons, New York, 577 p.
- [11] Becker, L.D.B.; Nunes, A.L.L.S. (2002). Confined Creep of Geotextile in a Compacted Sand Fill. 7<sup>th</sup> Int. Conference on Geosynthetics, IGS, Nice, France, v.5, pp. 1519 - 1522.
- [12] Becker, L.D.B.; Nunes, A.L.L.S. (2003). Fluência de Geotêxteis em Aterro Experimental. 4<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, ABMS - IGS, Brasil, v.1, pp. 101-109.
- [13] Scherren, R.K. (2003). Eficiência de Tirantes em Modelos Reduzidos de Pilares de Minas. Dissertação M.Sc., UFRGS, Brasil, 122p.
- [14] Aguiar, V.R; Nunes, A.L.L.S.; Sayão, A.S.F.J.; Rezende, E.S. (2004). Equipamento para Determinação das Propriedades de Interação Solo-Geossintético. 1<sup>o</sup> Simp. Brasileiro de Jovens Geotécnicos, ABMS, Brasil, CD Room.
- [15] Nunes, A.L.L.S.; Castilhos, C.M. (2002). Mecanismos de Mobilização de Resistência Lateral de Estacas em Arenito. XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - COBRAMSEG, ABMS, São Paulo, Brasil, v.3, pp. 1415 – 1425.
- [16] Nunes, A.L.L.S.; Castilhos, C.M.; Schnaid, F. (2002). Estimativa da Resistência Lateral de Estacas Embutidas em Arenito Botucatu no Rio Grande do Sul. 3<sup>o</sup> Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, ABMS, Joinville, Brasil, pp. 163 –175.
- [17] Perry, C.; Lissner, H.R. (1962). The Strain Gage Primer, Mc Graw Hill Co., N.York, 332p.
- [18] Proto Silva, T. (2005). Resistência ao Arrancamento de Grampos em Solo Residual de Gnaiss, Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, Brasil, 140 p.