

## 5. PROTÓTIPOS DE MEDIDORES DE DESLOCAMENTO

### 5. PROTÓTIPOS DE MEDIDORES DE DESLOCAMENTOS

As medidas de deslocamentos internos em obras geotécnicas são em geral realizadas com os instrumentos citados no Capítulo 4. Dentre estes instrumentos, o medidor hidrostático de recalques é o mais utilizado em barragens de enrocamento no Brasil. Da mesma forma, o extensômetro horizontal de hastes múltiplas é um dos principais aparelhos utilizados para medir deslocamentos horizontais em projetos de instrumentação.

Uma das semelhanças entre os dois instrumentos citados é o fato de serem instalados no corpo do aterro da barragem. Sendo assim, a possibilidade de calibração e manutenção após a instalação fica severamente comprometida. Com a instalação durante o período de construção, muitos destes instrumentos têm sua vida útil limitada, devido a falhas de montagem ou de projeto.

Com vistas a incrementar o conhecimento sobre a influência de detalhes de projeto e instalação destes dois instrumentos, foram montados dois protótipos em escala natural, compatível com as dimensões das barragens de enrocamento atualmente existentes. A montagem foi realizada no Laboratório de Solos de FURNAS, em Aparecida de Goiânia – GO.

#### 5.1. Protótipo do Medidor Hidrostático de Recalques

O princípio de funcionamento deste instrumento foi apresentado no Capítulo 4. A montagem dos protótipos foi realizada sobre estrutura metálica, coberta com lona plástica, com 5,50 metros de altura. Foram construídos dois suportes em barras de ferro em “U” soldadas (metalon), ambos com perímetro de 10,0 metros e altura de 5,0 metros. A tubulação para circulação de água, fabricada em polietileno semitransparente, foi fixada no metalon através de suportes apropriados. A declividade dos tubos foi da ordem de 1%, semelhante à usual em obras de barragens.

As células de recalque foram fabricadas obedecendo aos mesmos critérios adotados para os instrumentos instalados em barragens. Foi construído também um suporte, com cabo de aço e roldana, que permite a movimentação vertical das células. A Figura 39 exhibe o protótipo construído como parte do projeto de pesquisa.



Figura 39 - Protótipo do Medidor Hidrostático de Recalques.

No primeiro suporte, foi instalada tubulação de circulação de água, com comprimento de 380 metros. No segundo suporte, a tubulação, constituída do mesmo material, contava com 50 metros de comprimento. Esta diferença de

comprimentos objetivou determinar as diferenças de comportamento do instrumento para distâncias grandes e pequenas entre a célula de recalque e o painel de leitura.

No suporte maior, com 380 metros de tubulação, foram instaladas duas células de recalque. A primeira célula contava com tubulação de diâmetro interno igual a 6,4mm, duplo tubo de leitura, tubo de aeração e tubo de drenagem, simulando a situação na qual o tubo de drenagem é levado até o painel de leitura na barragem. Este caso é típico de instalação da célula em solos argilosos (núcleo de barragens). A outra célula de recalque contava com tubulação de diâmetro interno igual a 4,3mm, porém sem os tubos de aeração e drenagem.

No suporte com 50 metros de tubulação, foram instaladas também duas células de recalque, contando apenas com duplo tubo de leitura. Para a primeira célula foi utilizada tubulação de diâmetro interno igual a 6,4mm e para a segunda célula o diâmetro interno da tubulação foi de 4,3mm.

Os painéis de leitura, para ambos os suportes, foram confeccionados a partir de um suporte em metalon, com chapa de alumínio para fixação de trenas metálicas milimetradas, e registros para escoamento controlado da água.

A água, destilada e deaerada, foi bombeada para a tubulação a partir do conjunto de saturação usualmente adotado no campo, constituído por bomba de pressão e vácuo, câmaras de pressurização de ar e água, manômetro e vacuômetro. A Figura 40 mostra o conjunto para circulação de água, enquanto que o esquema apresentado na Figura 41 exhibe a configuração de montagem de todo o sistema do protótipo.

Na série de testes efetuados, a água foi injetada com a mangueira de abastecimento conectada na extremidade superior do tubo. A adoção deste procedimento procurou reproduzir as condições de injeção de água no campo, onde a água é injetada na parte superior do painel de leitura.

A tenda montada para abrigar o protótipo era fechada na parte superior. Por isso, havia um gradiente de temperatura. Na parte inferior a temperatura era

semelhante à temperatura ambiente, em campo aberto. Já na parte superior, observou-se um acréscimo de 5 a 8 graus centígrados de temperatura.

A condição de exposição dos tubos das caixas suecas a grande variação de temperatura causou significativa oscilação do nível da água, nas extremidades dos tubos de leitura, devido à dilatação e à retração do material dos tubos. O gráfico da Figura 42 ilustra este efeito. Observa-se que após acrescentar uma coluna de água no tubo de leitura ocorreu o retorno do nível d'água até a cota do topo do tubo. Mas a seguir, o nível continuou rebaixando até cerca de 150mm, enquanto a temperatura encontrava-se em elevação. A partir daí ocorreu a elevação do nível d'água, com a queda da temperatura no interior da tenda que abrigava os protótipos.

Para reduzir este efeito ao mínimo compatível com a situação de campo, onde os tubos embutidos no aterro não sofrem variação térmica significativa, recomenda-se a montagem dos protótipos em ambientes com temperatura aproximadamente constante ou controlada.

Da série de testes de circulação de água e das leituras efetuadas, constatou-se que o tempo de estabilização da leitura, após o acréscimo de uma coluna d'água da ordem de 30 a 40 centímetros, foi da ordem de 3 minutos para os tubos de 6,4mm de diâmetro interno e de 5 minutos para os tubos de 4,3mm de diâmetro interno.

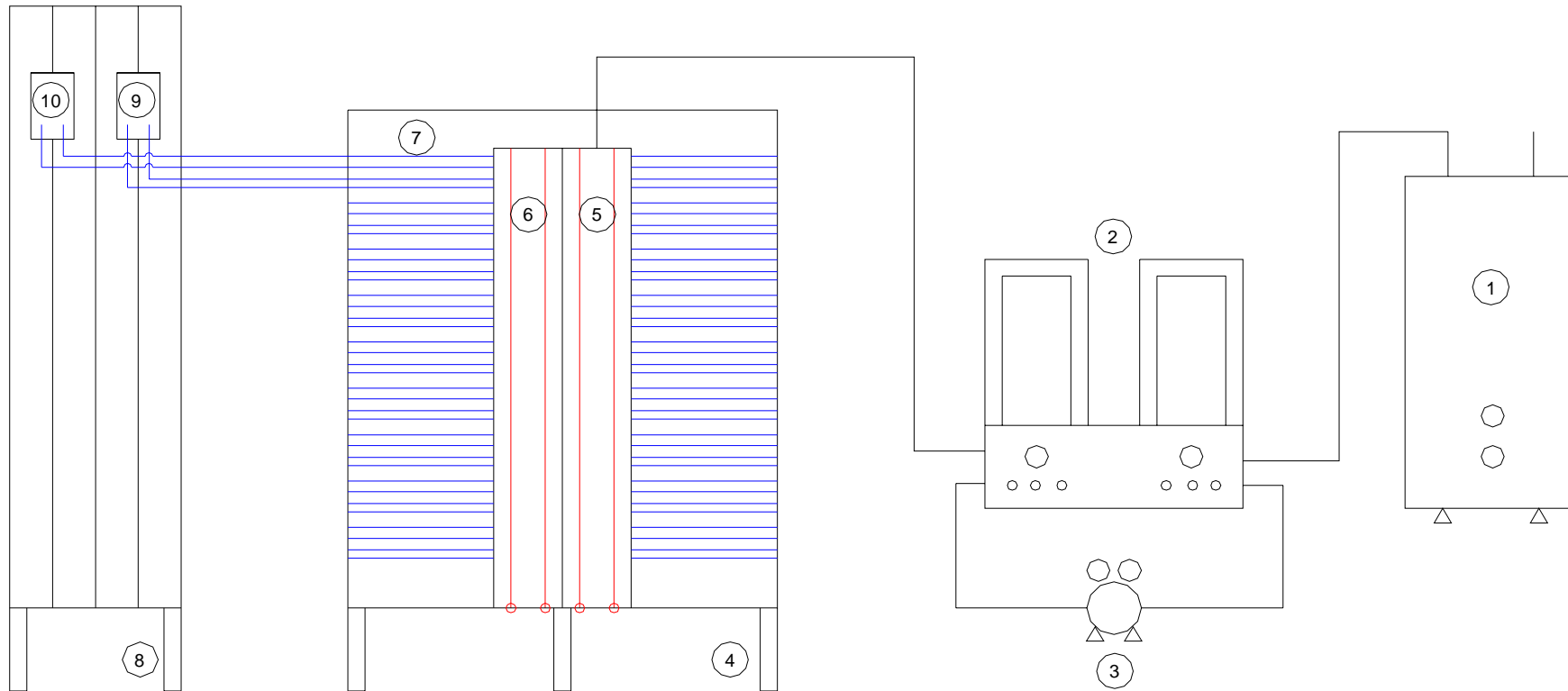
Para tempo de observação maior, constatou-se o rebaixamento do nível da água nas duas extremidades da tubulação, ficando abaixo do topo do tubo no interior da célula de recalque.

Na Figura 43, apresentam-se os gráficos relativos à recuperação do nível d'água em tubo de leitura com 6,4mm de diâmetro interno. Na Figura 44, apresentam-se os gráficos para tubo de leitura com 4,3mm de diâmetro interno.



Figura 40 - Aparelho composto de bomba de pressão e vácuo e câmaras pressurizadas para circulação de água.

5. PROTÓTIPOS DE MEDIDORES DE DESLOCAMENTO



1) Reservatório de água destilada e deaerada

2) Aparato para circulação da água (capacidade 4 litros)

3) Bomba de pressão e vácuo

4) Estrutura de suporte da tubulação

5 e 6) Painéis de leitura das tubulações de 3/8" e 1/4"

7) Tubulação de água (380 metros, 2 tubos de 3/8" e 2 tubos de 1/4")

8) Estrutura de suporte das células de recalque

9 e 10) Células de recalque para tubulação de 3/8" e de 1/4"

Figura 41 - Esquema do Sistema do Protótipo do Medidor Hidrostático de Recalques.

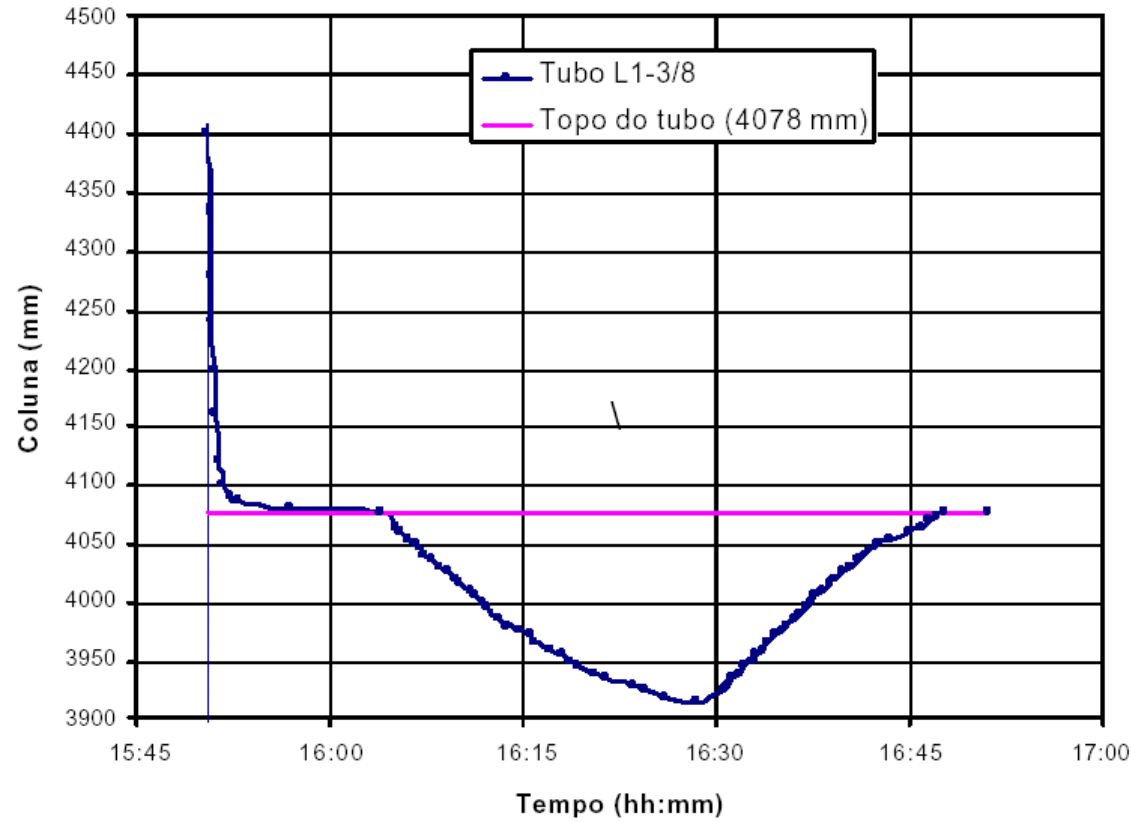


Figura 42 - Variação na leitura causada pela dilatação térmica dos tubos (Oliveira, 2004).

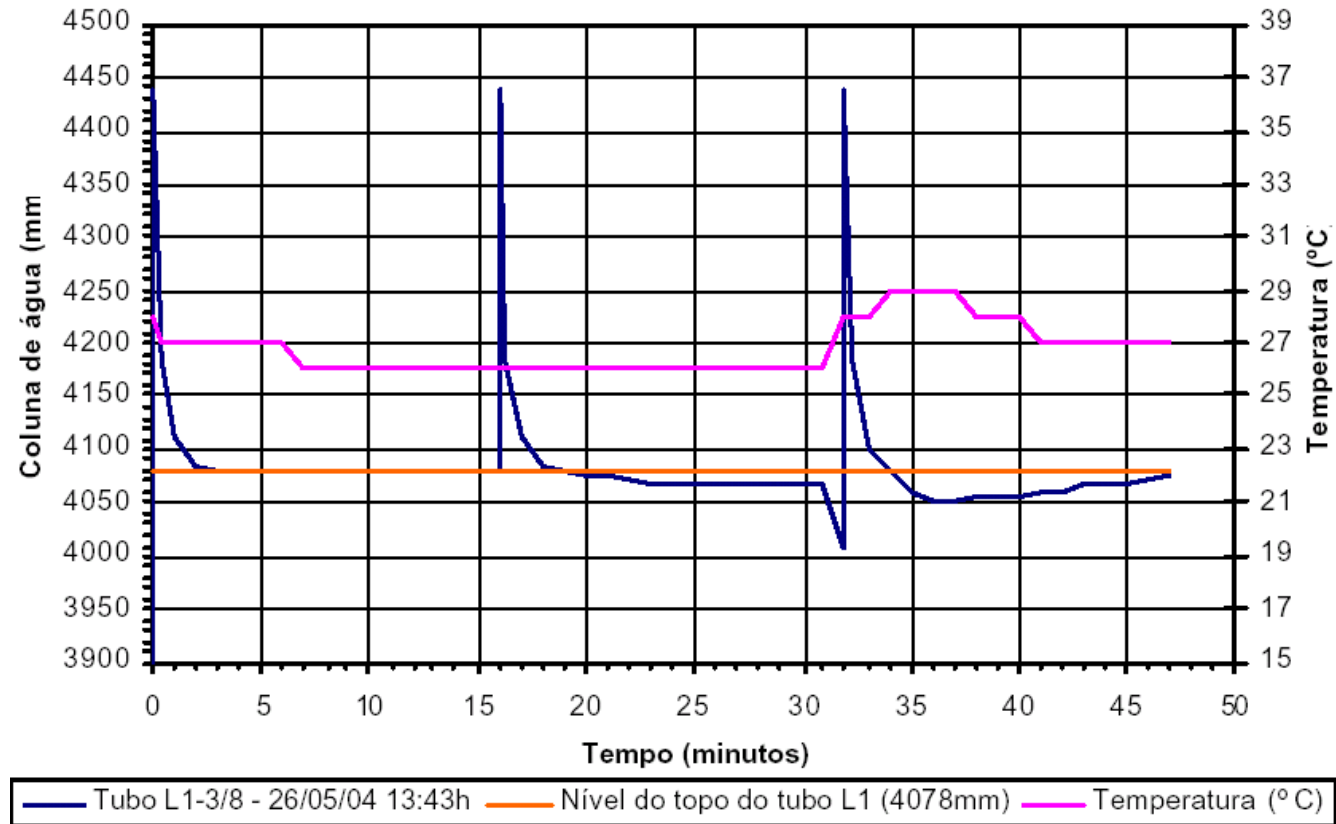


Figura 43 - Teste de estabilização do nível d'água em tubo com DI=6,3mm (Oliveira, 2004).



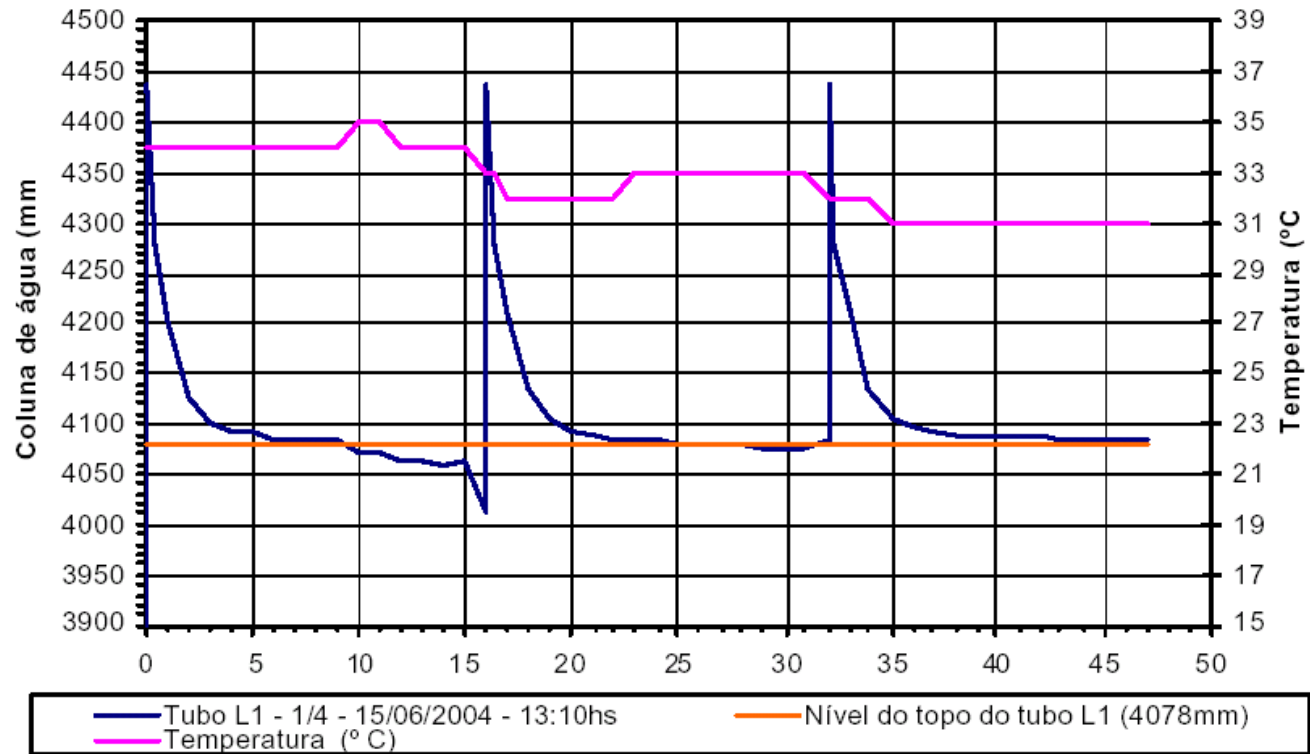


Figura 44 - Teste de estabilização do nível d'água em tubo com DI=4,3mm (Oliveira, 2004).

## 5.2. Protótipo do Extensômetro de Hastes Múltiplas

O protótipo do extensômetro de hastes múltiplas aqui estudado é similar ao modelo adotado nas barragens de enrocamento de Xingó, Machadinho, Itá e Itapebi. O funcionamento deste instrumento foi descrito no item 4.2.2.1 desta dissertação.

Uma faixa de terreno com 160,0 metros de extensão e 1,20 metros de largura, regularizada com brita, foi selecionada para a instalação do protótipo, conforme Figura 45. O processo de montagem foi iniciado a partir do painel de leituras, a partir do qual foram instaladas as placas cilíndricas e o aparato para a movimentação das mesmas.



a) instalação do protótipo

a) detalhe do disco espaçador

Figura 45 - Instalação e detalhe do protótipo.

Durante a montagem, houve dificuldade para manter as hastes separadas e distribuídas paralelamente. Algumas hastes se entrelaçaram no espaço entre dois discos espaçadores. Desta forma, houve a necessidade de se desenvolver um dispositivo para servir de guia durante a montagem, garantindo o correto posicionamento das hastes no interior do tubo.

Foi também desenvolvido um dispositivo de movimentação das hastes (Figura 46), com relógios comparadores acoplados a duas hastes diametralmente opostas, as quais foram responsáveis pela movimentação do disco. Este sistema apresentou limitações, pois a movimentação baseada em manivela e a diferença de deslocamento das hastes causaram pequenas imprecisões no deslocamento das placas.



Figura 46 - Detalhes do dispositivo de movimentação das hastes e painel de leitura.

As simulações efetuadas com este protótipo foram:

- a) Comparação dos deslocamentos lidos no terminal de leituras com o deslocamento imposto às hastes;
- b) Movimentação das placas e respectivas hastes com o auxílio dos simuladores de deslocamento.

Com as hastes posicionadas corretamente, e alinhadas em paralelo, o sistema apresentou desempenho adequado no que se refere ao deslocamento manual das placas em ambos os sentidos de deslocamento horizontal.

Os valores de deslocamento impostos às placas foram determinados pela média dos deslocamentos dos dois relógios comparadores, posicionados um de cada lado da placa. O deslocamento medido foi obtido através do painel de leitura. A Figura 47 apresenta um gráfico do comportamento da placa EH-06.

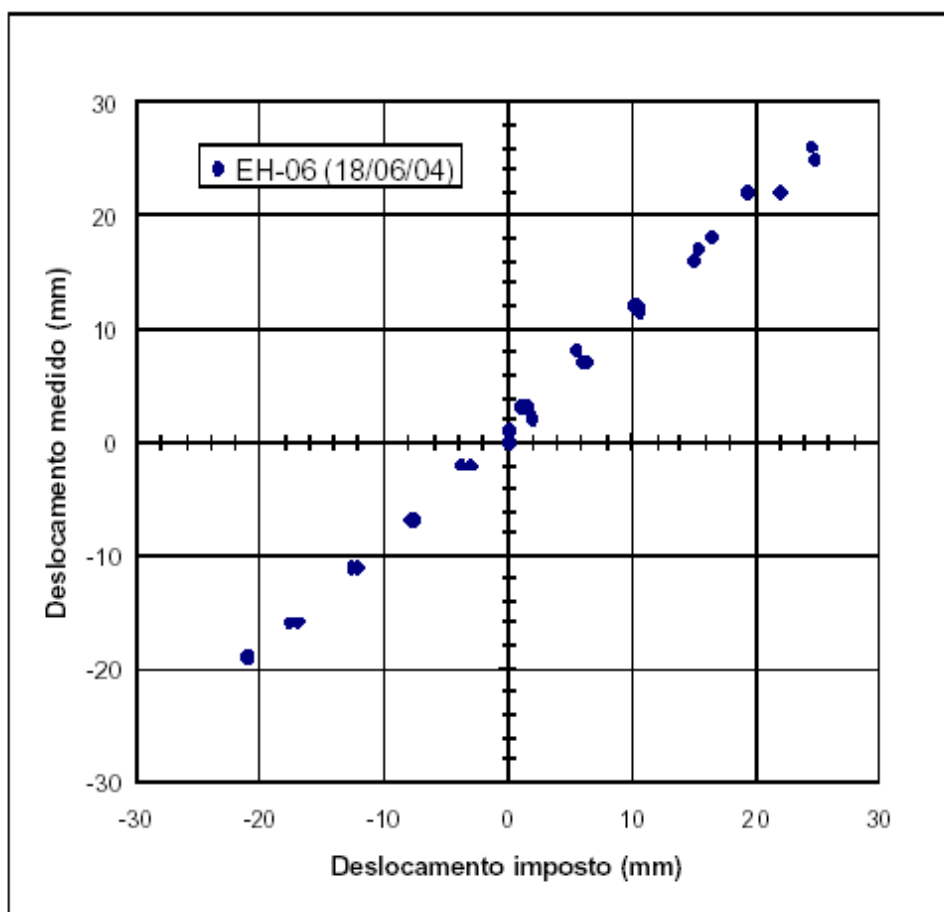


Figura 47 - Relação entre os deslocamentos impostos e medidos para o protótipo.

As simulações mostraram boa compatibilidade entre deslocamentos impostos às placas e deslocamentos observados no terminal de leitura.

Devido a montagem do protótipo em local exposto ao sol, observou-se influência da temperatura nas hastes. Em situações reais, esta influência é mínima, pois o extensômetro fica sob o aterro.