

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE INCLINÔMETRO FOTO-MECÂNICO DESENVOLVIDO NA UFPR.

Photo-mechanic inclinometer analysis

PAULO C. L. KRELLING
CARLOS AURÉLIO NADAL

Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas
Universidade Federal do Paraná-SCT/Dept.Geomática
Caixa postal 19011 – Centro Politécnico – Jardim das Américas
CEP 81531-990 – Curitiba – Paraná – Brasil
e-mail: pkell@ufpr.br; cnadal@ufpr.br

RESUMO

Considerando-se que a resolução e a precisão das medidas de deslocamentos, além de outros fenômenos de origem física, são levados em consideração no controle de estruturas de engenharia civil este procedimento requer métodos geodésicos e/ou geotécnicos. Este trabalho apresenta os princípios físicos, os resultados de testes e calibrações de um inclinômetro foto-mecânico, desenvolvido na Universidade Federal do Paraná, destinado a aplicações geodésicas e/ou geotécnicas. Este dispositivo foi totalmente criado e desenvolvido no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR. Destinado originalmente para o monitoramento de barragens, observou-se que ele poderá ser aplicado em qualquer tipo de obra de Engenharia Civil. Adotou-se como premissas para seu desenvolvimento o uso de mecânica simples de alavancas, exigência de conectividade, possibilidade de comunicação remota via internet, alta frequência na coleta de dados, grande capacidade de armazenagem de dados, sincronicidade com outras fontes de informações e baixo custo de produção, além da facilidade de obtenção de seus componentes. Os testes com o protótipo apresentaram resultados promissores, com resolução média de 1mm/100m e precisão de 2mm/100m na detecção de inclinação de estruturas e com frequência de 1kHz.

Palavras-chave: Inclinômetro; Clinômetro; Controle Estrutural.

ABSTRACT

Deformation monitoring and control surveying takes in account equipment resolution and precision besides other physical phenomena that make the use of

geodetic and/or geotecnic methods necessary. This work shows the physical principles, tests results and calibration method of a new photo mechanic inclinometer. This equipment was developed at Universidade Federal do Paraná. designed to monitor the structural integrity of a dam safety monitoring, it was very helpful for any structural observation in civil engineering. At it uses simple mechanic principles, conectivity, remote communication, hight frequency data acquisition capability, large data storage and low cost production, it appears to be a very good monitoring new instrument. Tests have shown quite promissing results, as a resolution of 1mm/100m and precision of 2mm/100m when used to monitor structural inclination and with 1kHz frequency.

Keywords: Inclinometer; Clinometer; Structural Control.

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento de deslocamentos em estruturas de obras de engenharia civil tem papel fundamental na análise de sua estabilidade, verificação de uso e determinação de sua vida útil. Deve ser efetivada em condições reais de carregamento [PRETORIUS, C. J. et al. , 2001] bem como dos efeitos de temperatura e vento.

Usualmente classifica-se tal monitoramento como geodésico ou geotécnico. [KRELLING, 2006], [DEPARTAMENT OF ARMY (1994, p.9.9)]. No primeiro caso procura-se determinar o comportamento da estrutura em relação a referenciais externos a ela (georeferenciamento de movimentos, por exemplo [FAGGION, P, NADAL, C. A. NADAL, VEIGA, L, (2004)]) enquanto no segundo caso procura-se determinar eventuais deslocamentos relativos a um referencial interno à própria estrutura (deslocamentos diferenciais).

Para o desenvolvimento do monitoramento observam-se direta ou indiretamente distâncias e/ou ângulos. Através de formulação matemática adequada pode-se determinar as dimensões da movimentação e sua orientação segundo um referencial, informações necessárias para a engenharia avaliar os efeitos dos esforços envolvidos, verificar se o comportamento estrutural está dentro dos limites previstos e, conseqüentemente, tentar “prever” a evolução ao longo do tempo.

Existem diversos equipamentos aplicáveis para tais operações: do ponto de vista geodésico [HECK (1984) apud CHAVES (1994, p.54)] a instrumentação envolve goniômetros, distanciômetros, níveis, gravímetros, gps, sistemas inerciais, etc; do ponto de vista geotécnico, além dos já citados, pode-se aplicar inclinômetros, diastímetros mecânicos, micrômetros, extensômetros, LVDTs - “Linear Variable Differential Transformer” (algumas vezes traduzido como “transdutor linear de deslocamentos”), interferômetros, acelerômetros, sismógrafos, entre outros equipamentos.

O uso de inclinômetros biaxiais oferece a vantagem da possibilidade de tornar geodésica a monitoração geotécnica, através da transformação entre sistemas de

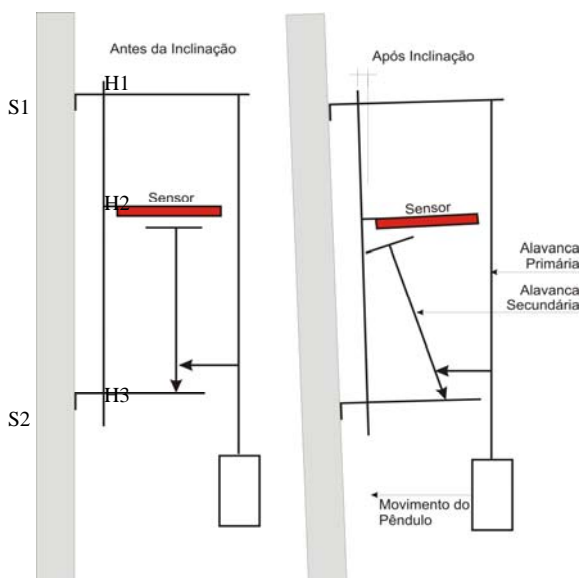
coordenadas, de movimentações simultaneamente observadas em dois sensores semelhantes dispostos interna e externamente à estrutura.

O desenvolvimento de um sensor biaxial, como é o caso deste inclinômetro, com as possibilidades de sincronização, de ajuste do intervalo de observação segundo as necessidades do observador, de fácil conectividade, de comunicação remota, de alta capacidade de armazenagem de dados e alta precisão e resolução é, portanto, uma solução adequada à maioria das monitorações em estruturas.

2. O INCLINÔMETRO FOTO-MECÂNICO

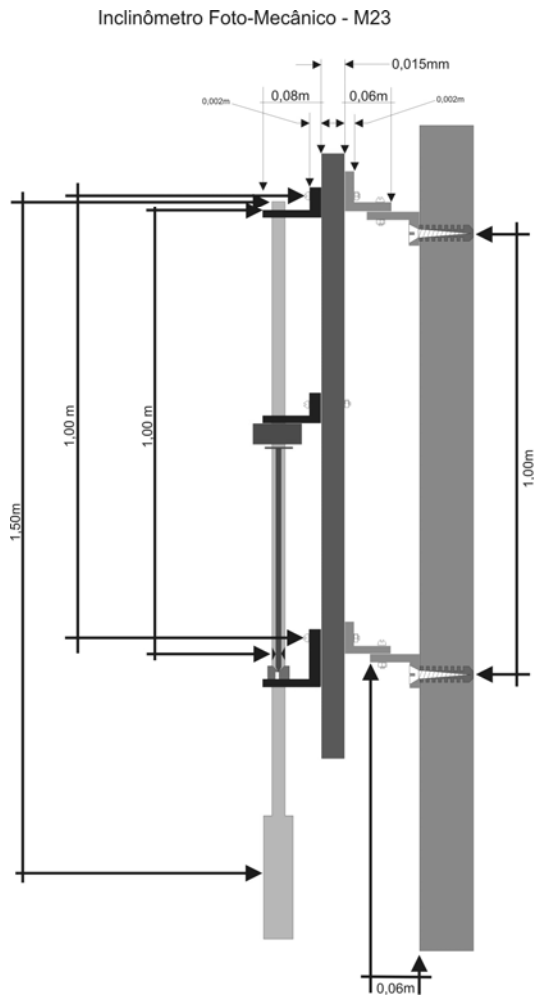
O protótipo desenvolvido na UFPR é constituído de um sensor óptico e um dispositivo mecânico para ampliação do movimento experimentado pela estrutura do equipamento, de maneira que seja perceptível por aquele sensor. São duas alavancas interconectadas que deslocam uma superfície estimuladora diante do sensor óptico. Apesar de ser um equipamento simples, de fácil construção e baixo custo de produção, seu projeto demandou muitas horas de pesquisa e testes. Durante a fase de desenvolvimento teve-se em mente, como princípio de projeto (entre outros), que deveria ser de simples montagem, manutenção e que deveria ainda apresentar resistência aos ambientes de observação e durabilidade.

Figura 1 - Esquema geral de funcionamento.



Como pode ser observado na figura 1, o equipamento é composto por uma estrutura linear vertical fixada à parede por dois suportes (S1, S2). A esta estrutura são presas três hastas horizontais (H1, H2, H3) com a função de apoio. A superior (H1) sustenta um pêndulo, denominado de alavanca primária; a segunda (H2, intermediária) sustenta o sensor óptico e a terceira (H3, inferior) serve de apoio para uma segunda haste vertical denominada de alavanca secundária. A figura 2 contém o projeto do último protótipo desenvolvido e testado.

Figura 2 - Projeto do inclinômetro foto-mecânico.



Com a movimentação da estrutura a alavanca primária desloca-se em relação à estrutura do equipamento (movimento do pêndulo segundo duas direções perpendiculares entre si, sendo uma paralela e outra perpendicular à sua estrutura) e este deslocamento é transmitido diretamente à alavanca secundária através de um ponto de contato entre ambas, onde se encontra uma conexão magnética. Este movimento é amplificado graças à relação entre os comprimentos dos braços da alavanca secundária, determinada pela posição do ponto de contato entre as alavancas.

As leituras efetuadas pelo sensor óptico são decodificadas, sendo que as diferenças entre as leituras subseqüentes em relação a uma primeira utilizada como inicial correspondem ao movimento experimentado pelo equipamento. As conversões das diferenças, obtidas em pulsos pelo sensor, para valores em milímetros são possíveis mediante a determinação de parâmetros específicos para cada equipamento, obtidos por processo de calibração.

Os parâmetros obtidos no processo de calibração do equipamento são: o ângulo de rotação do sistema de coordenadas do equipamento em relação a perpendicular à estrutura em estudo e o FAE - fator de ampliação específico do equipamento, utilizado posteriormente para conversão das leituras em pulsos para mm.

3. TESTES COM O EQUIPAMENTO PROTÓTIPO

3.1 Dilatações dos componentes

Um dos efeitos mais marcantes sobre as observações é a dilatação dos componentes do equipamento devida à variação da temperatura. Nos ambientes de barragens a variação térmica no interior dos muros (galerias de inspeção) onde este instrumento é instalado é usualmente pequena, da ordem de no máximo 5° C. No exterior das barragens estas variações podem ser maiores e sujeitas a sazonalidades. Nos testes desenvolvidos admitiu-se uma variação de 25°C e analisou-se a situação para quatro materiais que poderiam ser utilizados no protótipo: alumínio, latão (empregado para a construção do protótipo em estudo), cobre e ferro. Os resultados obtidos nos cálculos considerando os diferentes coeficientes dos materiais utilizáveis podem ser observados na tabela 1 [KRELLING, 2006], que apresenta o efeito da dilatação dos componentes do equipamento sobre a distância horizontal observada, considerando uma distância vertical de 100m. Como pode ser notado o efeito total de todas as dilatações possíveis sobre os componentes do aparelho, cumulativamente, atingem o valor máximo correspondente ao deslocamento de 0,60mm em 100m de altura, para o caso mais desfavorável em que utilizamos alumínio como material.

A alteração da arquitetura do equipamento, no entanto, permite minorar este efeito e até mesmo eliminá-lo, uma vez que as dilatações simultâneas dos

componentes não alterarão o ponto de conexão entre alavancas, que é justamente o maior causador do efeito acima mencionado (0,34mm/100m para o caso do alumínio).

TABELA 1 - EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE DISTÂNCIA HORIZONTAL OBSERVADA (em mm / 100m).

Material	SUPORTE	ALAVANCA PRINCIPAL	BRAÇO MENOR	BRAÇO MAIOR	FIXADORES	EFEITO TOTAL
Alumínio	0,34	0,11	0,01	0,089	0,06	0,60
Latão	0,30	0,10	0,01	0,08	0,05	0,52
Cobre	0,26	0,09	0,01	0,07	0,04	0,47
Ferro	0,19	0,06	0,01	0,05	0,03	0,34

3.2 Testes do sensor óptico

O sensor óptico é o responsável pela geração de pulsos em número proporcional ao deslocamento, em conjunto com os demais componentes do aparelho. Sobre ele recai a responsabilidade pelas leituras durante movimentação do estimulador que serão convertidas em deslocamento da estrutura. A sua resolução ótica (RSO - Resolução do Sensor Óptico) é quem determinará, juntamente com a resolução pretendida para o equipamento, as dimensões dos braços da alavanca secundária. A simples troca de alavancas permite alterar a resolução do equipamento conforme o interesse do usuário

Foi feita uma calibração manual (contando os pulsos deslocando-se o sensor óptico sobre uma superfície solidariamente a uma barra de paralaxe) e outra empregando um interferômetro (figura 3) utilizado para calibração de equipamentos de medida (miras de Invar para nivelamentos de precisão, por exemplo).

A diferença entre as médias das leituras provenientes das observações nas duas situações, em pulsos, não ultrapassou duas unidades. Isto equivale a dizer que o erro máximo entre as duas formas de calibração do sensor óptico atingiria 2mm/100m. Pôde-se observar, durante o processo de calibração, que há irregularidade dos intervalos de leitura do sensor óptico o que acarreta o erro médio observado entre um e 2 pulsos. Os impactos deste erro de leitura são apresentados na tabela 2.

Figura 3 – Carro do interferômetro com sensor ótico acoplado.

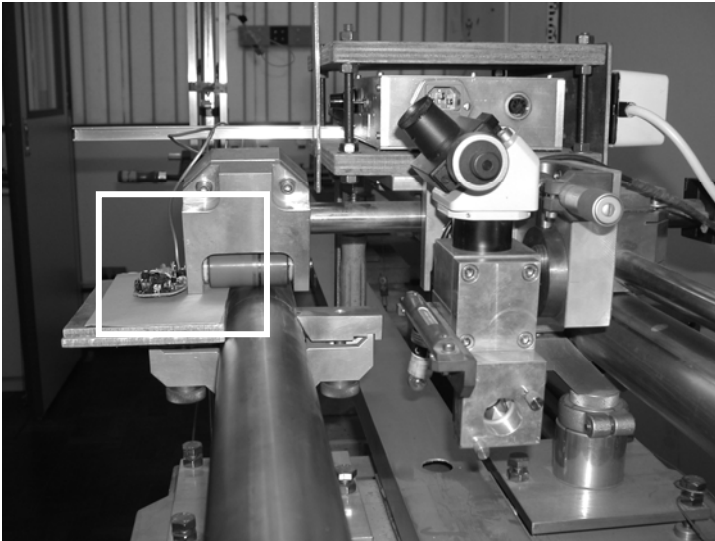


TABELA 2 – IMPACTOS DOS ERROS DE LEITURA SOBRE OS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO PARA O EQUIPAMENTO TESTADO.

	Erro de Leitura Introduzido	Eixo Atingido	Sobre a Inclinação a 100 m (mm)	Sobre o Ângulo de Rotação (rad)	Sobre o FAE
Diferenças em relação ao valor inicial	+1 pulso	Y	1,02	0,02	0,33
	+1 pulso	X	0,38	0,00	0,00
	+2 pulsos	Y	1,67	0,00	0,07
	+2 pulsos	X	0,39	0,00	0,16

O erro de leitura apresenta influência sobre o ângulo de rotação conforme a orientação dos eixos do sistema de coordenadas do sensor em relação à superfície. Se considerarmos um sistema em que o eixo x, por exemplo, seja perfeitamente paralelo à superfície em estudo, o efeito do erro de leitura segundo a direção y será nulo sobre o ângulo de rotação enquanto o erro segundo a direção x será máximo. Na hipótese daquele eixo estar a 45 graus o efeito será igual para erros segundo as direções x e y. Par a situação de paralelismo do eixo y à superfície o erro de leitura

em y nulo sobre o ângulo de rotação enquanto o erro de leitura segundo o eixo x será máximo. Percebe-se, portanto, que o erro de leitura tem influência no ângulo de rotação dependente do próprio ângulo.

O sensor ótico utilizado é um mouse ótico. Este tipo de equipamento emprega o reconhecimento de imagem para avaliar o deslocamento sofrido pelo artefato, comparando imagens subseqüentes por ele coletadas. Existem diversos tipos de mouses e, por conseqüência, diferentes capacidades de leitura. A freqüência de leitura e comparação das imagens (da ordem de kHz) limita a velocidade de deslocamento mensurável pelo mouse e pode ser um fator limitante no seu emprego. Especificamente para o caso da avaliação de deslocamentos estruturais, aquela capacidade extrapola estas necessidades. No mercado existem mouses com sensores a laser cuja resolução variável de 200 a 3600 dpi (e até maiores) e velocidade de deslocamento entre 40 e 65 polegadas por segundo. Por este motivo este sensor é perfeitamente aplicável no instrumento em desenvolvimento.

3.3 Deslocamento do sensor óptico: constante de K

Esta constante tem valor característico para cada aparelho e é devida ao deslocamento experimentado pelo sensor óptico produzido pela inclinação da estrutura do equipamento onde está fixada a haste que suporta aquele sensor. Com a inclinação da superfície o ponto de apoio da alavanca primária move-se e, conseqüentemente, há um movimento relativo entre ela e a estrutura do equipamento. Se o sensor permanecesse imóvel o deslocamento observado seria proporcional à variação de inclinação. Como o sensor está preso à estrutura do equipamento ele também se desloca, introduzindo uma leitura afetada deste deslocamento. Esta constante exerce influência sobre o valor das leituras da inclinação correspondente a 0,17mm a 100m de distância, para o protótipo analisado. Se, simultaneamente ao efeito de K, fosse considerado ainda um erro na RSO - resolução do sensor óptico - de 3 pulsos, o efeito conjunto sobre a distância horizontal observada atingiria o máximo de 0,94 mm/100m sobre a inclinação, 0,00rad sobre os parâmetros de rotação e 0,078mm/100m sobre o FAE no equipamento estudado. A tabela 3 apresenta os efeitos para diferentes valores da RSO.

Se forem considerados os efeitos conjuntos da variação de 25°C na temperatura, de um erro na calibração do sensor óptico de 3 pulsos além do efeito da constante k, o somatório não ultrapassará 2mm/100m.

TABELA 3 – EFEITO DA RESOLUÇÃO DO SENSOR ÓPTICO E CONSTANTE K (mm / 100m).

Erro na RSO (pulsos)	Sem K					Com K		
	RSO	FAE	Dif FAE	Rota ção	Inclin	Dif Inclín. (mm/100m)	Rota ção	Dif FAE
-3	383,90	10,06	0,08	0,00	0,00	0,60	0,00	0,08
-2	384,90	10,03	0,06	0,00	0,00	0,34	0,00	0,06
-1	385,90	10,00	0,03	0,00	0,00	0,08	0,00	0,03
Padrão	386,90	9,98	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00
+1	387,90	9,96	0,03	0,00	0,00	0,44	0,00	0,03
+2	388,90	9,93	0,05	0,00	0,00	0,69	0,00	0,05
+3	389,90	9,91	0,08	0,00	0,00	0,94	0,00	0,08

4. COLETOR DE DADOS

O software desenvolvido para coleta de dados possui a tela de inicialização igual à apresentada abaixo (figura 4). Nela pode-se especificar, além do nome do projeto, nome do arquivo onde serão armazenados os dados, tipo de sensor e observações adicionais aos parâmetros para observação. O software foi desenvolvido em (DELPHI 4.0).

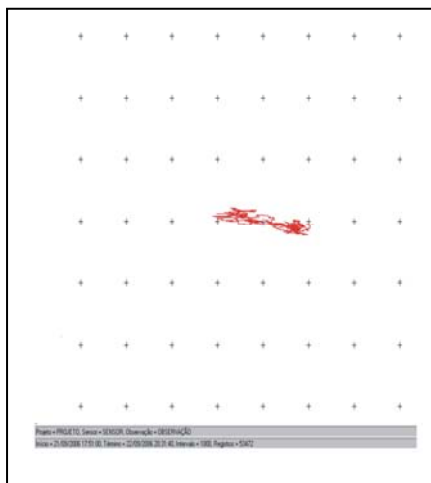
Para facilidade de visualização da movimentação pode-se determinar um grid de fundo cujo espaçamento é fornecido pelo usuário no campo “Espaçamento” (figura 4). As unidades do grid apresentado no monitor (figura 5) são pulsos e a orientação do sistema dependerá da instalação efetuada no local pelo próprio usuário do equipamento, levando em conta o ambiente e as facilidades para colocação de cabos, fontes de alimentação, etc.. A alteração da resolução do monitor permitirá adequada visualização dos deslocamentos experimentados quando estes forem pequenos.

Como a intenção é o uso em observação contínua um sistema de apoio para manutenção do sistema deve ser implantado. A utilização de um “no break” suprimirá problemas de falta de energia e a existência de conexão com a internet permite a disponibilização do arquivo de dados coletados. Este fato permite o acesso remoto ao processo de monitoramento.

Figura 4 - Tela de inicialização.



Figura 5 - Grid para visualização da movimentação.



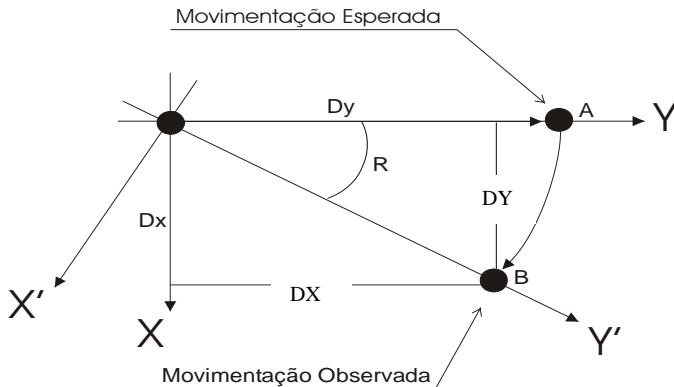
5. CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO

A calibração do equipamento poderá ser feita no próprio local onde foi instalado. Para esta operação é necessária a coleta de dados em duas situações: inicialmente instala-se o equipamento, aguarda-se sua estabilização (temperatura, umidade) e obtêm-se leituras; em seguida introduz-se uma inclinação previamente conhecida (pode-se utilizar uma lâmina de calibração empregada em mecânica, por exemplo) e faz-se nova observação após estabilização do equipamento.

Na figura 6 o ponto A representa a posição esperada do pêndulo após a introdução da inclinação, caso o deslocamento fosse perfeitamente perpendicular à superfície em estudo, e o ponto B é a posição efetivamente ocupada. Os elementos DX e DY permitem calcular o ângulo R que corresponde à rotação proveniente do não alinhamento do sistema de coordenadas com o suporte.

Para transformar o valor observado no esperado pode-se recorrer à operação de rotação de sistemas de coordenadas. Na figura 6 observa-se o sistema XY. Este sistema representa os valores que as coordenadas observadas de B deveriam ter se Y não estivesse rotacionado de R.

Figura 6 - Movimentações observada e esperada.



Para relacionar os dois sistemas utiliza-se as equações:

$$X' = X \cos (R) + Y \operatorname{sen} (R) \quad (1)$$

$$Y' = -X \operatorname{sen} (R) + Y \cos (R) \quad (2)$$

onde (X ; Y) são valores observados, (X' ; Y') os valores esperados e R ângulo de rotação.

A determinação do fator de ampliação específico (FAE) pode ser feita a partir da relação entre o valor introduzido de inclinação e valor observado. O valor observado é fornecido em pulsos, tanto na direção X quanto na direção Y. Como se

trata de valores relativos à posição inicial a “distância” observada pode ser calculada através de

$$D = (DX^2 + DY^2)^{1/2} \quad (3)$$

onde DX e DY são as variações em pulsos, com resultado em pulsos. A relação entre este número de pulsos convertido para mm (utilizando a resolução ótica determinada para o sensor) e o valor introduzido em mm corresponde ao fator de ampliação específico do equipamento. Este fator é resultante da composição do ganho da alavanca secundária e da posição em que as alavancas se conectam.

No processo obtém-se o FAE - Fator de Ampliação Específico para aquele equipamento bem como parâmetros para a conversão do movimento observado para movimentos respectivamente perpendicular e paralelo à superfície onde foi instalado o artefato. Este procedimento poderá ser repetido diversas vezes ao longo do tempo de observação em um mesmo local e deverá necessariamente ser feito a cada nova instalação do inclinômetro.

O equipamento construído deve obedecer às expectativas de sua aplicação. O seu dimensionamento é feito a partir de informações do sensor óptico (sua resolução) precisão e resolução pretendidas para as observações. Para evitar aumento de custo, a sua construção deverá ser feita de maneira a atingir a maior concordância possível entre projeto e artefato. A mudança de diferentes relações na alavanca secundária permitirá a utilização de um mesmo equipamento para diferentes resoluções. O processo de calibração, no entanto, é quem definirá exatamente quais os parâmetros obtidos para o equipamento construído para a situação específica em que estiver instalado.

6. RESULTADOS OBTIDOS

Relativos ao equipamento produzido:

Resolução atingida	1,32mm/100m
Precisão atingida	melhor que 2mm.
Fator de Ampliação Específico	9,98232
Para obter resolução 1mm/100m	basta alterar relação da alavanca secundária

Relativos aos limites máximos calculados dos erros produzidos por diferentes causas:

Efeito máximo da temperatura	0,601mm/100m
Efeitos do Erro de leitura de 1 pulso	menor que 0,033 sobre o FAE
Efeito exclusivo da Constante K	
sobre inclinação	menor que 0,02 mm/100m
sobre ângulo de rotação	menor que 0,0013490 rad

sobre o FAE	menor que	0,00
sobre componentes	menor que	0,35mm/100m
Efeito máximo conjunto RSO, K e temperatura	menor que	1,10mm/100m

7. COMENTÁRIOS

Os resultados obtidos nos testes do protótipo demonstram que mesmo um equipamento de construção simples, mecânica básica, de baixo custo e com ampla disponibilidade de componentes, pode apresentar um elevado padrão de qualidade. Considerando o ambiente econômico dos países, este equipamento apresenta grande potencial para aplicação no monitoramento contínuo de estruturas, sejam elas especiais ou de uso comum. Como os testes demonstram, a resolução e a precisão atingidas com o dispositivo ultrapassam os padrões normalmente exigidos nas obras de engenharia civil (1:1700) e dispensam a criação de túneis verticais para controle da estrutura (como é o caso da aplicação de longos pêndulos). A adoção de sensores melhores (existem sensores com resolução de até 3200 pulsos por polegada) permite ampliar ainda mais a resolução do equipamento bem como sua precisão, além de propiciar a miniaturização do artefato.

As conexões mecânicas foram substituídas por conexões magnéticas o que evita a presença de “folgas” e a necessidade de lubrificações, e conseqüente diminuição da precisão.

A simples alteração do comprimento da alavanca secundária permite a alteração da resolução do equipamento, o que lhe confere versatilidade para emprego em diferentes amplitudes de movimentos, fator inexistente na maioria dos equipamentos de alta precisão destinados a este tipo de monitoramento.

O equipamento permite a armazenagem dos dados em arquivo texto continuamente. Este arquivo poderá ser disponibilizado via internet, utilizando servidores ftp disponibilizados gratuitamente, permitindo acesso remoto. Isto significa dizer que se pode trabalhar com dados de equipamentos instalados em outras cidades, estados, etc.. Para tanto será suficiente ter uma conexão internet e um software para manipulação dos dados como Access e outros. Como cada sensor é identificado pode-se escolher, de uma mesma obra, quais os sensores de interesse para um fim específico.

Como a capacidade de coleta de dados é de alta frequência pode-se admitir que os dados são simultâneos e uma adequada modelagem (de superfície, por exemplo) permitirá a criação de uma animação gráfica dos deslocamentos ocorridos.

8. PERSPECTIVAS

A utilização de sensores ópticos de maior resolução permitirá a diminuição linearmente proporcional das dimensões dos equipamentos.

O software desenvolvido para o protótipo em questão permite a observação de um único equipamento por computador, mas outra versão, em desenvolvimento, permitirá a observação de várias unidades quase “simultaneamente” (intervalo de leitura entre sensores menor que 1/100000s).

O processamento dos dados, utilizando bancos de dados vinculados ao arquivo gerado pelo software coletor, permitirá visualização rápida dos fenômenos além da combinação de diversos sensores a serem considerados conforme o interesse do observador.

Outros tipos de sensores de deslocamentos poderão ser desenvolvidos utilizando o mesmo princípio do sensor óptico, a custo muito baixo e com extrema facilidade para aquisição de componentes, além de dispensar o emprego de técnicos especializados para instalação e manutenção.

9. REFERÊNCIAS

- CHAVES, J. C. *Controle de Deformações em Barragens: Métodos de Monitoramento e viabilidade de utilização do GPS*, São Paulo. 1994. 197f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- DEPARTMENT OF ARMY – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. *Manual 1110-1-1004 Deformation monitoring and control surveying*. Washington, DC, 1994.
- FAGGION, P, NADAL, C. A. NADAL, VEIGA, L, (2004), *Integração da auscultação geodésica com a instrumentação de controle e segurança da barragem de Salto Caxias*, Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, Brasil
- KRELLING, P. C. L., *Concepção de um inclinômetro fot0-mecânico para controle geodésico de estruturas*, Curitiba – PR, 2006. 207p. Tese. (Doutorado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná
- PRETORIUS, C. J. et al. *The intensive geodetic systems used for the monitoring of a 185 metre high arch dam in southern Africa*. In: 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Orange, California. 2001. Anais eletrônicos. Disponível em: <http://www.fig.net/figtree/com6_orange/index.htm> Acessado em: 29/10/2005

(Recebido em abril/08. Aceito em agosto/08).