

**LUISNEI MARTINI**

**CALIBRAÇÃO DE PRISMAS DE REFLEXÃO TOTAL EM FORMA DE  
FITA ADESIVA, EM ACRÍLICO E SUA APLICAÇÃO NO CONTROLE  
DE DESLOCAMENTOS DE ESTRUTURAS**

**Dissertação apresentada como  
requisito parcial à obtenção do grau  
de Mestre em Ciências Geodésicas,  
Curso de Pós-Graduação em Ciências  
Geodésicas, Setor de Ciências da  
Terra, Universidade Federal do  
Paraná.**

**Orientadores: Prof. Dr. Pedro Luis  
Faggion.**

**Prof. Dr. Luis Augusto  
Koenig Veiga.**

**CURITIBA  
2005**

**LUISNEI MARTINI**

**CALIBRAÇÃO DE PRISMAS DE REFLEXÃO TOTAL EM FORMA DE  
FITA ADESIVA, EM ACRÍLICO E SUA APLICAÇÃO NO CONTROLE  
DE DESLOCAMENTOS DE ESTRUTURAS**

**Dissertação apresentada como  
requisito parcial à obtenção do grau  
de Mestre em Ciências Geodésicas,  
Curso de Pós-Graduação em Ciências  
Geodésicas, Setor de Ciências da  
Terra, Universidade Federal do  
Paraná.**

**Orientadores: Prof. Dr. Pedro Luis  
Faggion.**

**Prof. Dr. Luis Augusto  
Koenig Veiga.**

**CURITIBA  
2005**

*Dedico este trabalho a minha amada e  
querida família: Nei, Luiza, Angélica,  
Angeline e Felix (in memoriam).*

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus pelo Dom da Vida e pelas oportunidades oferecidas.

A minha família, pelo carinho, compreensão, apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

A Daiana, pelo carinho e pela sua compreensão durante a realização deste trabalho.

Aos meus Amigos e a todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho, mas em especial:

- Ao Prof. Dr. Pedro Luis Faggion, pelo privilégio da sua amizade, pela oportunidade oferecida, por sua orientação de maneira segura e muito sincera, pelos seus valiosos conselhos e pelo apoio incondicional nos momentos mais difíceis durante todo este tempo de convívio, desde os tempos da graduação.
- Ao Prof. Dr. Luís Augusto Koenig Veiga, por sua amizade, por sua co-orientação, estando sempre disposto e aberto ao diálogo, de uma maneira inteligente e criativa.
- Aos “*brothers*” Carlos Alberto “Magal” Zocolotti e Daniel Carvalho Granemann pelo privilégio da amizade e pelo companheirismo, durante todo este tempo de convivência e pelas “históricas” campanhas em Salto Caxias.
- Aos amigos Daniel Perozzo dos Santos e Cezar Rafael Lopes que são bolsistas de iniciação científica no LAIG, que não pouparam esforços para auxiliar no desenvolvimento dos trabalhos de campo.
- Aos amigos Ricardo Villar Neves, Ernesto Mitsuo Shibayama e Bruno Damas Martins pela disponibilidade em auxiliar nos trabalhos de campo.
- Ao convênio de cooperação técnica e pesquisa entre a Agência

Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), o Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento (LACTEC) e o Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG) da Universidade Federal do Paraná, pela viabilização dos recursos para a realização das viagens para a Usina de Salto Caxias.

- A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.
- À Universidade Federal do Paraná, especialmente ao Departamento de Geomática, pela estrutura oferecida para o desenvolvimento deste trabalho.
- As empresas MANFRA Equipamentos Topográficos e da AVR Instrumental pela disponibilização dos equipamentos.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE QUADROS .....	x
LISTA DE GRÁFICOS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo .....	2
1.2 Justificativa.....	2
1.3 Organização da pesquisa .....	4
2 MEDIÇÃO ELETRÔNICA DA DISTÂNCIA.....	5
2.1 Modulação da onda portadora .....	6
2.1.1 Método da diferença de fase.....	7
2.1.2 Medida por emissão de pulsos.....	10
2.2 Retorno do sinal de medida .....	11
2.2.1 Formas de retorno .....	11
2.2.1.1 Reflexão total.....	12
a) Prismas refletores de vidro .....	13
b) Refletores de acrílico.....	14
c) Fitas refletoras adesivas.....	15
2.2.1.2 Reflexão difusa .....	17
2.2.2 Precisão dos prismas de reflexão total.....	18
2.2.3 Forma dos refletores .....	18
2.2.4 Constante do prisma .....	20
2.2.5 Constante do sistema de medida.....	22
2.2.6 Efeitos da temperatura sobre os refletores .....	25
2.2.7 Cuidados com os refletores .....	25

3 CALIBRAÇÃO DOS PRISMAS REFLETORES .....	26
3.1 Teste do ângulo de rotação do refletor .....	28
3.1.1 Em laboratório .....	28
3.1.2 Em campo .....	30
3.2 Determinação da constante dos refletores .....	32
3.2.1 Em laboratório .....	32
3.2.2 Em campo .....	36
3.3 Verificação do alcance de medida em função do tamanho do refletor .....	40
4 APLICAÇÃO DOS REFLETORES NO MONITORAMENTO DE DESLOCAMENTOS DE ESTRUTURAS .....	46
4.1 Durabilidade da fita adesiva .....	46
4.2 Repetibilidade das medidas .....	50
4.3 Obtenção das coordenadas dos alvos .....	52
4.3.1 Metodologia aplicada .....	54
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	76
5.1 Conclusões .....	76
5.2 Recomendações .....	77
REFERÊNCIAS .....	78
APÊNDICES .....	81

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Princípio da medição eletrônica de distância.....	5
Figura 2 – Emissão da onda eletromagnética.....	7
Figura 3 – Diferença de fase entre o sinal emitido e recebido .....	9
Figura 4 – Representação da modulação em amplitude.....	10
Figura 5 – Princípio da reflexão total .....	12
Figura 6 – Prisma de precisão GPH 1P .....	13
Figura 7-A – Exemplo de prisma; Figura 7-B – Representação de um canto de cubo existente no prisma; Figura 7-C – Trajeto do raio incidente pelo prisma.....	14
Figura 8 – Refletor de acrílico .....	15
Figura 9 – Fita refletora adesiva .....	16
Figura 10 – Alvo de reflexão difusa .....	17
Figura 11 – Sistema com o emissor e receptor coaxial .....	19
Figura 12 – Sistema com o emissor e receptor paralelos .....	19
Figura 13 – Constante do prisma.....	20
Figura 14 – Constante do sistema de medida .....	22
Figura 15 – Determinação da constante do sistema de medida.....	23
Figura 16 – Base para medidores eletrônicos de distâncias .....	27
Figura 17 – Posição do refletor em relação à linha de visada. ....	29
Figura 18 – Detalhe do transferidor.....	29
Figura 19 – Teste do ângulo de incidência em campo .....	31
Figura 20 – Detalhe do trilho do interferômetro .....	32
Figura 21 – Esquema de montagem do equipamento para determinação da constante do prisma em laboratório .....	33
Figura 22 – Operações de campo para a verificação dos valores das constantes dos refletores em campo .....	37
Figura 23 – Instrumentos empregados na coleta dos parâmetros ambientais em campo...	37
Figura 24 - Fitas adesivas utilizadas.....	40

Figura 25 – Montagem das fitas sobre o bastão e local do experimento.....	41
Figura 26 – Exemplo de alvos montados sobre a estrutura de uma barragem .....	46
Figura 27 – Fitas refletoras adesivas fixadas na comporta C04 da usina.....	47
Figura 28 – Acompanhamento no dia 11/12/2003 - Data em que as fitas foram fixadas na estrutura.....	48
Figura 29 – Acompanhamento no dia 22/04/2004 – Aproximadamente 4 meses após fixação na estrutura .....	49
Figura 30 – Acompanhamento no dia 19/08/2004 – Aproximadamente 8 meses após fixação na estrutura .....	49
Figura 31 – Acompanhamento no dia 17/11/2004 – Aproximadamente 12 meses após fixação na estrutura .....	49
Figura 32 – Localização da comporta C07.....	50
Figura 33 - Estação total ELTA S20 Point.....	53
Figura 34 – Fita Refletora Adesiva, prisma de precisão e refletor de acrílico, montados sobre suas bases.....	53
Figura 35 – Pilares que compõe a rede de monitoramento geodésico da barragem .....	54
Figura 36 – Localização dos pontos que serão monitorados ao longo do corpo da barragem .....	55
Figura 37 – DCFA engastado no corpo da barragem.....	56
Figura 38 - Processo de irradiação. ....	56
Figura 39 – Obtenção da distância horizontal .....	58
Figura 40 – Geometria das observações dos pontos sobre a barragem.....	59
Figura 41 – Elipses de erros para a estação total ELTA S20 utilizando o prisma de vidro	73
Figura 42 – Elipses de erros para a estação total ELTA S20 utilizando o refletor em acrílico.....	74
Figura 43 – Elipses de erros para a estação total ELTA S20 utilizando a fita adesiva .....	75
Figura 44 – Observação da indicação da classe de laser em uma estação total .....	84

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Escala da base obtida com a medida eletrônica de distância .....	27
Quadro 2 – Valores dos ângulos de rotação do refletor .....	30
Quadro 3 – Distâncias para diferentes ângulos de rotação.....	31
Quadro 4 – Valores dos deslocamentos obtidos com a TCRA 1205 em IR .....	35
Quadro 5 – Valores obtidos das constantes dos refletores para os conjuntos utilizados – em laboratório.....	36
Quadro 6 – Valores obtidos na base linear utilizando a TCRA 1205 .....	38
Quadro 7 – Valores obtidos das constantes dos refletores para os conjuntos utilizados - em campo .....	39
Quadro 8 – Valores das constantes dos refletores para cada estação total utilizada .....	39
Quadro 9 – Relação das fitas refletoras utilizadas .....	41
Quadro 10 – Relação entre o tamanho da fita adesiva e o alcance máximo obtido .....	42
Quadro 11 – Valores observados no DCFA C07 .....	51
Quadro 12 – Coordenadas obtidas com a estação total ELTA S20 .....	60
Quadro 13 – Horários e temperaturas das campanhas .....	63
Quadro 14 – Médias e desvios padrão para o DCFA 01 utilizando a estação total ELTA S20.....	65
Quadro 15 – Resultado da aplicação do teste t para os valores obtidos das coordenadas nas duas campanhas realizadas .....	67
Quadro 16 – Valores das diferenças entre as coordenadas para o DCFA 01 com a ELTA S20.....	70
Quadro 17 – Valores das elipses dos erros para a diferença das coordenadas para a ELTA S20.....	72
Quadro 18 - Grupos de risco de acordo com a norma CIE .....	87

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Equação da Fita Adesiva Para a ELTA S20.....	43
Gráfico 2 – Equação da Fita Adesiva Para a Leica TCRA 1205 .....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS

- 3M** – *Minnesota Mining & Manufacturing Co.*
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AEL** - *Accessible Emission Level*
- ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica
- ANSI** - *American National Standards Institute*
- ASTM** – *American Society for Testing and Materials*
- BS** – *British Standard*
- CAPES** – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CDRH** - *Center for Devices and Radiological Health*
- CIE** - *International Commission on Illumination*
- COPEL** – Companhia Paranaense de Energia
- CPGCC** – Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas
- DCFA** – Dispositivo para Centragem Forçada de Alvos
- DIN** – *Deutsches Institut für Normung*
- IEC** – *International Electrotechnical Commission*
- INMETRO** – Instituto Nacional de Metrologia
- LACTEC** – Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento
- LAIG** – Laboratório de Instrumentação Geodésica
- LASER** – *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*
- LEDs** - *Light Emitting Diodes*
- LDP** – *Long Distance Performance*
- MED** – Medidor Eletrônico de Distância
- MPE** – *Maximum Permissible Exposure*
- ppm** – Parte Por Milhão
- $\sigma$  – Desvio Padrão
- UFPE** – Universidade Federal do Pernambuco
- UFPR** – Universidade Federal do Paraná
- UFSC** – Universidade Federal de Santa Catarina
- USP** – Universidade de São Paulo
- UFV** – Universidade Federal de Viçosa

## RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo sobre a calibração de prismas de reflexão total em forma de fita adesiva e de acrílico e a aplicação destes no monitoramento de deslocamentos de estruturas. Foram determinadas as constantes destes refletores, os ângulos máximos de rotação destes em relação à linha de colimação e a variação do dimensionamento dos alvos em forma de fita adesiva em função da distância entre a estação total e o ponto de interesse. Todos os estudos foram realizados em dois ambientes distintos: Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG) e a Base Linear para Calibração de Estações Totais, localizada na Fazenda do Cangüiri, pertencentes a Universidade Federal do Paraná (UFPR). Cabe ressaltar que todos os experimentos realizados tiveram como padrão para a comparação dos resultados o Interferômetro *Laser* HP 5518A disponível no LAIG e o prisma de reflexão total de vidro GPH1P da Leica, que possui como constante do refletor 0 mm. Para a avaliação do uso destes prismas no monitoramento de deslocamentos de estruturas foram realizadas observações em diferentes épocas sobre determinados pontos do muro que forma a barragem da Usina Hidroelétrica de Salto Caxias (localizada no município de Capitão Leônidas Marques, estado do Paraná), empregando-se a estação total ELTA S20. Analisou-se também a questão da durabilidade dos alvos em forma de fita adesiva quando sujeito a intempéries.

Palavras-chave: Calibração de refletores, constante do prisma, refletores para MED, comparação de coordenadas, monitoramento de estruturas, medição eletrônica de distância, monitoramento geodésico, durabilidade de alvos.

## ABSTRACT

The present work presents a study about the calibration of prisms that use the principle of total reflection (reflector tape and acrylic one) and the application of these in the monitoring of structures displacements. Were determined the constants of these reflectors, the maximum rotation angles of these in relation to the collimation line and the variation in the size of targets reflector tape done with as a function of the distance between the total station and the point of interest. All the studies were carried through in two distinct environments: The Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG) and the Linear Base for Calibration of Total Stations, located in the Cangüiri Farm, that belongs to Univerdsidade Federal do Paraná (UFPR). It's important to stand out that all the experiments had as standard for the comparison of the results, the Laser Interferometer HP 5518A, available in the LAIG and the LEICA GPH1P prism, with the reflector constant equal to 0 mm. For the evaluation of the use of these prisms in the monitoring of structures displacements, a set of points locate in the Salto Caxias Dam ( in the Capitão Leônidas Marques city, Paraná state) were monitored in diferents epochs using it total station ELTA S20. It were analyzed the question of the durability of the reflector tapes when exposed to atmospheric conditions.

**Keywords:** Reflectors calibration, reflector constant, reflectors to EDM, comparison of coordinates, structures monitoring, EDM, geodetic monitoring, durability of targets.

## 1 INTRODUÇÃO

A medição eletrônica de distância consiste basicamente em um sinal que é enviado de um instrumento de medição e que atinge um objeto ou alvo, cujo ao qual deseja-se medir a distância até o ponto onde está instalado o instrumento.

Para que o sinal retorne ao instrumento, no caso de equipamentos que funcionam com a emissão de ondas de infravermelho é necessário o emprego de prismas refletores ou prismas de reflexão total.

Os modelos tradicionais são os de vidro, que acompanham os instrumentos. Recentemente tem-se utilizado também os prismas em forma de fita adesiva e em acrílico, que são opções eficientes e de menor custo.

Esta dissertação trata da calibração de prismas de reflexão total em forma de fita adesiva e em acrílico e sua aplicação em monitoramento de deslocamentos de estruturas. Para a realização dos estudos referentes a calibração foi utilizada a Base de Calibração de Medidores Eletrônicos de Distância, localizada na Fazenda do Cangüiri, pertencente a Universidade Federal do Paraná e o Interferômetro *Laser*, disponível no Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG).

A aplicação destes refletores foi realizada na Usina Hidroelétrica de Salto Caxias para o monitoramento de pontos (deslocamentos) localizados no muro que forma a represa da usina.

A literatura científica é reduzida, tanto sobre a utilização destes prismas para a Medição Eletrônica da Distância, como para a determinação de suas constantes.

Para a calibração em campo (distâncias longas), foi utilizada a base para calibração de Medidores Eletrônicos de Distância (MED), localizada na Fazenda do Cangüiri, pertencente a UFPR, onde foram comparadas as distâncias entre os pilares, obtidas com a fita refletora adesiva, o refletor de acrílico e o prisma de precisão. Nesta base também foram realizados testes com a fita refletora adesiva para a verificação do alcance de medida em função do tamanho do alvo.

Com relação à calibração realizada em laboratório (distâncias curtas), empregou-se o Interferômetro *Laser*, uma vez que o mesmo permite detectar

deslocamentos na ordem de 1 milésimo de milímetro.

A aplicação destes prismas no monitoramento de deslocamento de estruturas foi realizada junto ao corpo da barragem da Usina Hidroelétrica de Salto Caxias, localizada no município de Capitão Leônidas Marques-PR, onde à jusante da mesma, existe uma rede de monitoramento geodésico de alta precisão.

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo desta dissertação é a realização da calibração dos prismas de reflexão total e utilização dos mesmos no controle de deslocamentos de estruturas. Adicionalmente realizou-se o acompanhamento da durabilidade das fitas adesivas quando expostas a intempéries. Para tal, estas foram fixadas na comporta C4 da Usina de Salto Caxias e o seu comportamento foi acompanhado durante a execução deste trabalho.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A calibração de MEDs no Brasil teve início em 1974 com a implantação de uma base de calibração de 2 quilômetros, materializada no terreno por sete marcos de concreto ao longo da BR-277 que liga Curitiba a Paranaguá, realizada pelo professor da UFPR, o Eng. Civil Álvaro Doubek MSc. A definição da escala da base foi realizada com uma fita de ínvar calibrada (DOUBEK, 1974).

A seqüência dos estudos nesta área apontaram para a necessidade de construção de uma base com pilares dotados de um sistema de centragem forçada em local protegido. Baseado nisto, construiu-se uma base (GRIPP, 1986) com 789,920 metros na Fazenda Experimental do Cangüirí, pertencente a UFPR.

Em 1986, o Eng. Joel Gripp Júnior, professor UFV, realizou os primeiros esforços para definir a escala desta nova base, conforme sua Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCC) da UFPR (GRIPP, 1986).

Outra instituição que não mediu esforços para disseminar a cultura da instrumentação geodésica no Brasil foi a Universidade de São Paulo (USP), que pela Tese de doutorado do Eng. Civil Dr. Nicola Paciléo Netto, professor daquela Universidade, implantou uma base linear com aproximadamente 2 km e estabeleceu a escala da mesma utilizando um distanciômetro eletrônico DI 2002, cuja precisão nominal é  $1\text{mm} + 1\text{ppm}$  (PACILÉO NETTO, 1990).

Até então, todas as propostas de calibração destes equipamentos estavam fundamentadas em observações de campo. Em 1991, surgiu o primeiro trabalho no Brasil que pesquisou a determinação das componentes do erro cíclico nos MEDs com observações de laboratório. Este trabalho fundamentou a Dissertação do Eng. Civil Jucilei Cordini, professor da UFSC, apresentada ao CPGCC da UFPR (CORDINI, 1991).

Em 1996, o Eng. Cartógrafo Artur Caldas Brandão, em sua Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, definiu a escala de uma base implantada nas dependências da UFPE para a calibração de MED (BRANDÃO, 1996).

Em 2001, o Professor e Engenheiro Cartógrafo Pedro Luis Faggion, em sua Tese de Doutorado apresentada ao CPGCC da UFPR, realizou a obtenção dos elementos de calibração e a certificação de medidores eletrônicos de distância em campo (Base Multipilares da Fazenda do Cangüiri) e em Laboratório utilizando o Interferômetro Laser para a determinação do erro Cíclico e medida da frequência para a determinação do Fator de Escala.

A contribuição desta dissertação é a apresentação de uma metodologia para a calibração de prismas de reflexão total, com ênfase nos prismas em forma de fita refletora e em acrílico, uma vez que são poucos os estudos apresentados na literatura consultada sobre o assunto.

Outra contribuição será o controle de deslocamento de estruturas, utilizando a fita refletora adesiva, o prisma de precisão e o refletor de acrílico, demonstrando os resultados obtidos pelos diferentes prismas e em diferentes épocas.

Outro aspecto importante é na determinação da constante dos prismas de

reflexão total, é que ainda hoje o emprego correto deste é uma fonte de dúvida na comunidade usuária. Desta forma pretende-se com esta dissertação, apresentar de forma didática o que é, como é obtida e como deve ser empregada esta constante.

Um aspecto importante na utilização destes refletores é o baixo custo, o qual chega a ser aproximadamente 10% do valor de um prisma de vidro. Pensando em aplicações como o monitoramento de estruturas, onde são utilizados diversos pontos e em cada um deles é necessária a colocação de um prisma, a redução dos custos com os equipamentos é significativa.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

O tema proposto nesta pesquisa, para uma melhor compreensão do leitor, será tratado da seguinte forma:

No capítulo 2 apresenta-se a fundamentação teórica, com ênfase especial na medida eletrônica da distância.

O capítulo 3 apresenta a metodologia aplicada para a calibração dos prismas refletores. Quais foram os passos e como foram desenvolvidos os experimentos.

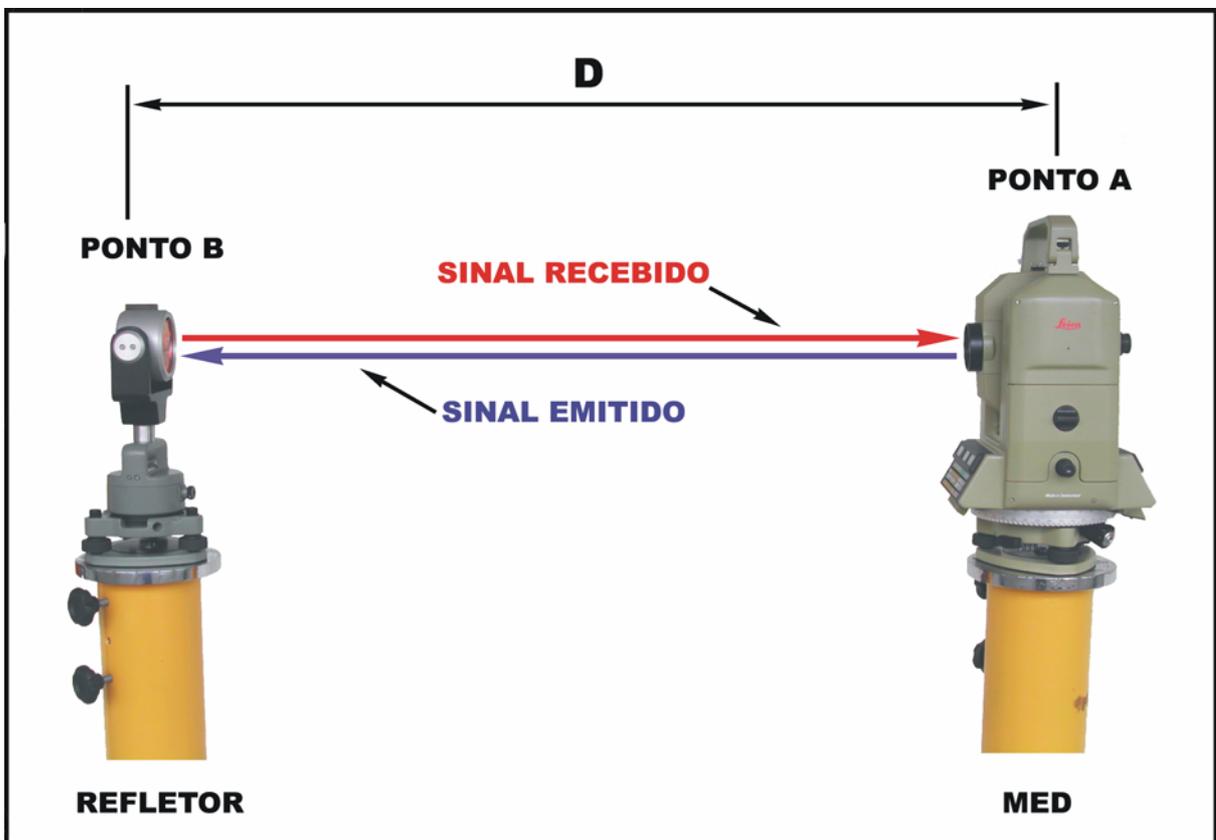
No capítulo 4 está a metodologia empregada no monitoramento de deslocamentos de estrutura aplicando os prismas de reflexão total em forma de fita adesiva e em acrílico, além do estudo a respeito da durabilidade e da repetibilidade da fita refletora adesiva.

Finalmente no capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho e as recomendações para trabalhos futuros.

## 2 MEDIÇÃO ELETRÔNICA DA DISTÂNCIA

A medida eletrônica de distância (D) consiste basicamente, na determinação do intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) que uma onda eletromagnética leva para percorrer o caminho de ida e de volta entre uma fonte emissora e um refletor (Figura 1). A determinação deste intervalo de tempo, associado à velocidade de propagação da onda eletromagnética no vácuo, torna possível a obtenção da distância entre os pontos A e B, conforme a equação 1.

FIGURA 1 - PRINCÍPIO DA MEDIÇÃO ELETRÔNICA DE DISTÂNCIA.



$$2D = V \cdot \Delta t$$

$$D = \frac{V \cdot \Delta t}{2} \quad (1)$$

onde:

- $V$  é a velocidade de propagação da onda.

Cabe ressaltar que para o valor de  $V$ , por ser de difícil determinação em campo, é utilizada a velocidade da luz no vácuo (aproximadamente 300.000 km/s). O tempo de deslocamento do sinal no caminho entre o emissor, o refletor e o receptor, é pequeno. Por exemplo, para um MED obter a distância entre o emissor e o refletor com precisão de 1 km, é necessário determinar o tempo de deslocamento do sinal em apenas  $6 \cdot 10^{-6}$ s (FAGGION, 2001).

A opção encontrada, para equipamentos que utilizam onda eletromagnética próxima do visível, é relacionar a variação do tempo  $\Delta t$  com a variação da fase do sinal de medida. Esta relação é conhecida como modulação da onda portadora.

## 2.1 MODULAÇÃO DA ONDA PORTADORA

Todo instrumento aplicado na determinação da distância utilizando uma onda eletromagnética (que pode ser visível, infravermelho, laser, microondas, etc) para transportar o sinal de medida, deve modular a mesma utilizando diferença de fase, pulso, etc (FAGGION, 2001).

A característica do MED é definida pela sua onda portadora. A maioria dos equipamentos utilizam as fontes próximas do visível, pelo fato de possuírem um baixo custo e baixo consumo de energia, porém operam com comprimentos de onda curtos, logo necessitam ser moduladas. Alguns modelos de instrumentos antigos usavam ondas de rádio (ondas longas) que podiam ser utilizadas sem modulação, porém, em alguns casos, o sinal não retornava ao instrumento (estação principal) quando utilizava-se apenas um refletor (SMITH; NASCARELLA, 2004).

O termo modulação é utilizado para descrever o processo pelo qual a característica de uma onda, que é chamada de onda portadora, é alterada de acordo com o sinal de uma segunda onda, que é chamada de moduladora. Esta onda portadora serve como meio de transporte para o sinal de medida, porém para que seja possível

transportá-lo, é necessário modular esta onda portadora (FAGGION, 2001).

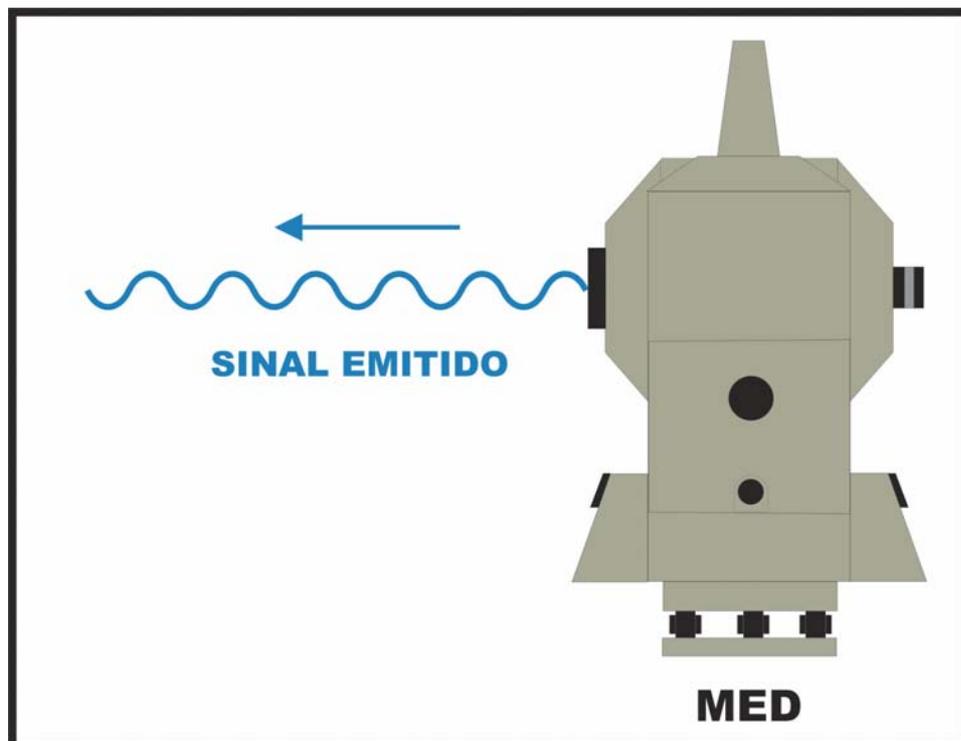
Existem duas razões fundamentais que caracterizam a necessidade de modulação da onda portadora (DOUBEK, 1974):

- a) Pequeno comprimento de onda, gerando problemas na resolução das ambigüidades em tempo;
- b) Nos longos percursos entre a emissão e o retorno do sinal de medida é provável que a fase não fique estável.

### 2.1.1 Método da diferença de fase

O equipamento gera e envia uma onda eletromagnética modulada em forma senoidal (Figura 2). Este sinal é refletido por um prisma na outra extremidade da linha que está sendo medida, e retorna ao instrumento. A distância entre o emissor e receptor é determinada pela medida do deslocamento da fase e pelo número de comprimentos de onda inteiros entre os sinais emitidos e recebidos, multiplicando pela velocidade da luz no vácuo (equação 2, (BANNISTER; BAKER, 1994)).

FIGURA 2 – EMISSÃO DA ONDA ELETROMAGNÉTICA.



$$D = N \cdot \lambda + \frac{\varphi}{2\pi} \cdot \lambda + Z_0 \quad (2)$$

onde:

- $D$  é a distância medida;
- $N$  é o número de comprimentos de onda;
- $\varphi$  é o deslocamento de fase ou diferença de fase, sendo que  $0 < \varphi < 2\pi$ ;
- $Z_0$  é a constante aditiva do instrumento, que é determinada pelo fabricante;
- $\lambda$  é o comprimento de onda, que é calculado pela equação 3.

$$\lambda = \frac{C_0}{2fn} \quad (3)$$

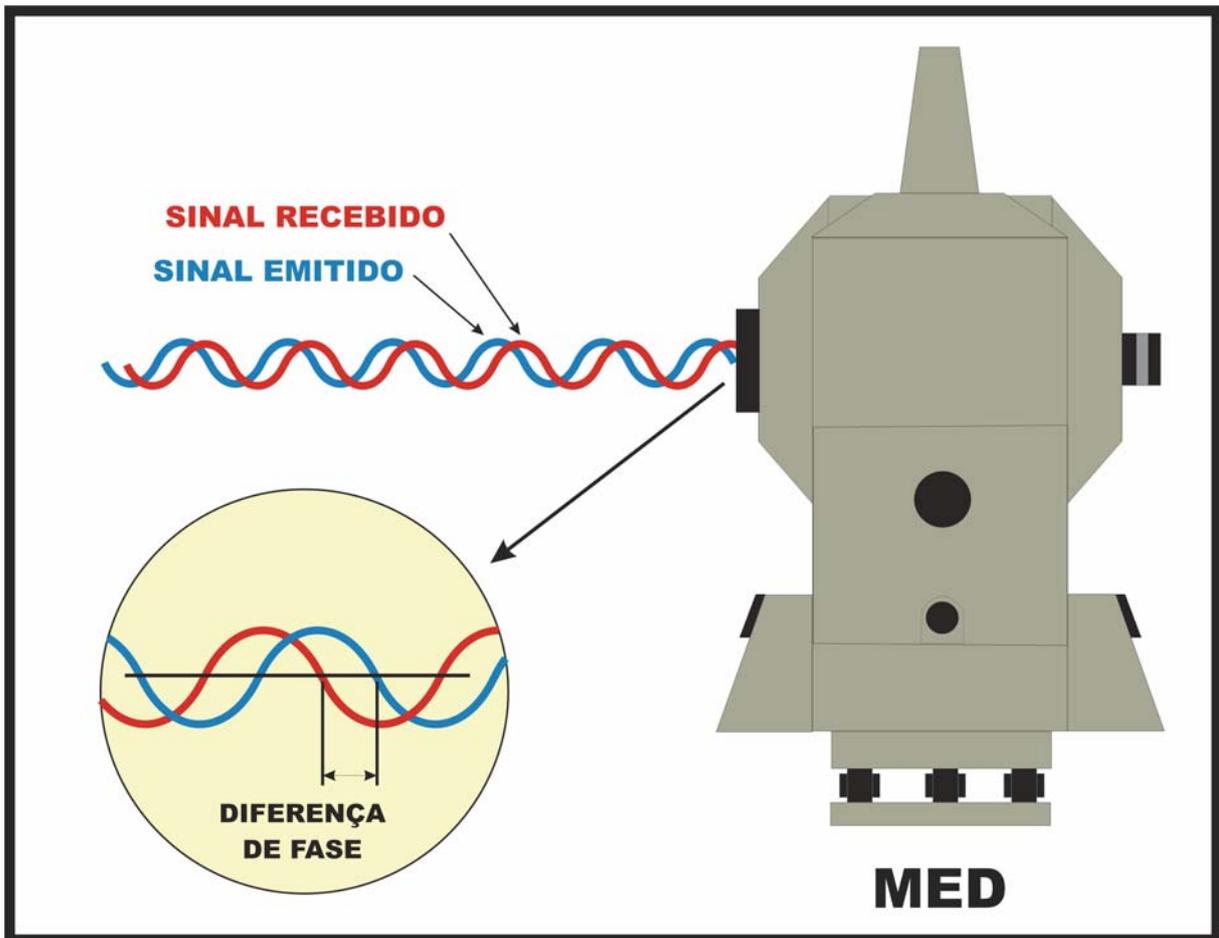
onde:

- $C_0$  é a velocidade de propagação da luz no vácuo, que equivale a  $2,99792458 \cdot 10^8$  m/s (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1993);
- $f$  é a frequência de modulação;
- $n$  é o índice de refração (no ar equivale a 1).

Desta forma, para obter-se o valor da distância pelo método da diferença de fase, basta substituir a equação 3 na equação 2.

Quando o sinal é refletido pelo prisma e volta para o emissor (Figura 3), nota-se que existe uma diferença de fase entre o sinal enviado e o sinal de retorno. A medida desta diferença de fase, juntamente com o número inteiro de comprimentos de onda é que permitirão a determinação da distância.

FIGURA 3 – DIFERENÇA DE FASE ENTRE O SINAL EMITIDO E RECEBIDO

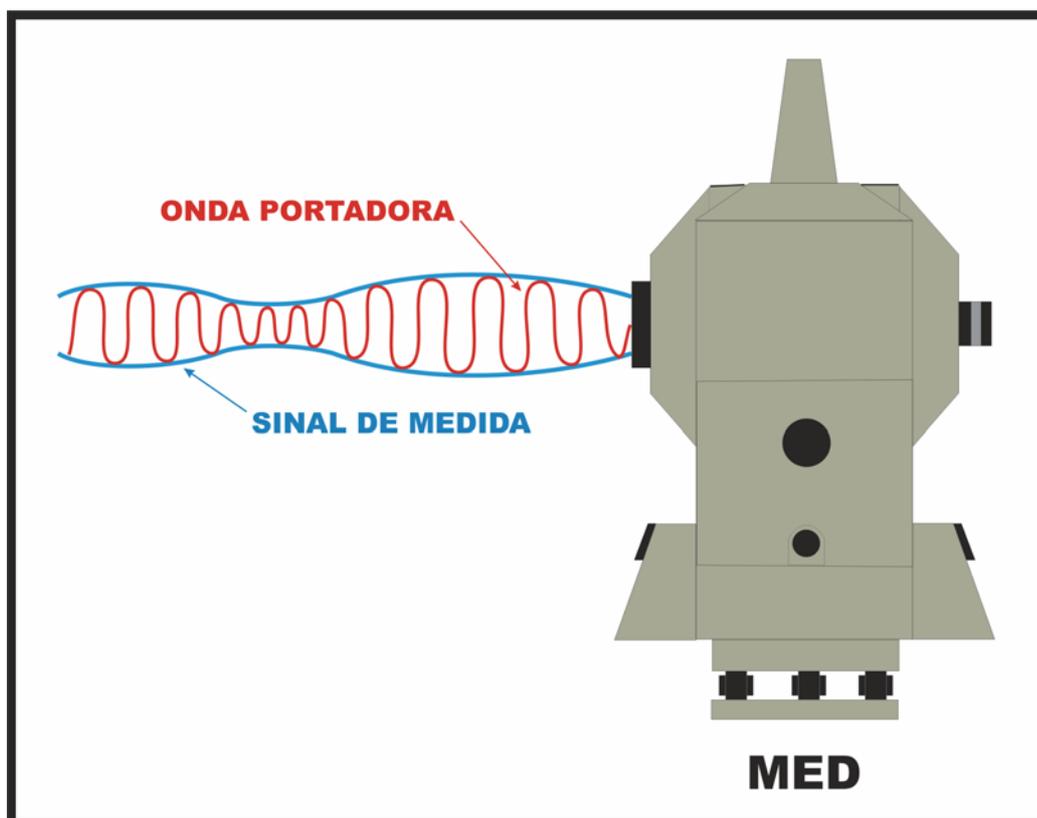


A fração da diferença de fase que será medida nesse caso é menor do que o comprimento da onda portadora utilizada. Para os instrumentos que utilizam o infravermelho, o comprimento de onda é de aproximadamente 900 nm (0,0009 mm).

Esta onda então necessita ser modulada de alguma forma para que se tenha um comprimento de onda mais apropriado para se medir (por exemplo, 10 metros). Com este comprimento de onda, é possível determinar a diferença de fase com precisão milimétrica (Figura 4).

Neste caso a onda está modulada em amplitude, sendo esta modulação a mais comum nos equipamentos que operam com portadora próxima do visível (SMITH; NASCARELLA, 2004).

FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO DA MODULAÇÃO EM AMPLITUDE.



A alta frequência das ondas curtas, representada pela onda vermelha (Figura 4), é chamada de onda portadora, que irá carregar o sinal de medida da onda mais longa, através da mudança em amplitude (representada pela onda azul).

Alguns instrumentos enviam uma segunda onda modulada com um comprimento de onda muito maior (por exemplo, 1000 metros) para estimar a distância total, com precisão próxima ao metro (SMITH; NASCARELLA, 2004).

### 2.1.2 Medida por emissão de pulsos

O princípio de funcionamento consiste em emitir um pulso (isto é, um pulso de luz), pelo transmissor que se propaga até um objeto, que devolve uma parte do sinal para o equipamento através do princípio da reflexão difusa. O receptor recebe essa pequena fração do pulso refletido e realiza uma comparação com o pulso que foi enviado pelo instrumento no instante da emissão do sinal. O

temporizador é controlado por um cronômetro de alta precisão que determina a diferença do tempo de propagação para este pulso (no momento da emissão e no momento do retorno) (HÖGLUND; LARGE, 2002).

Esta diferença corresponde ao tempo  $\Delta t$  necessário para que o pulso externo percorra duas vezes à distância  $D$  (referente a ida e a volta do sinal). Logo esta distância é dada por (Equação 4):

$$D = k_A + C_0 \cdot \frac{t}{2} \quad (4)$$

onde:

- $C_0$  é a velocidade da luz para o índice de refração médio ao longo da linha.
- $k_A$  é uma constante que representa o erro de zero, ou seja, a não coincidência entre o centro eletrônico do instrumento com o centro mecânico (que coincide com o eixo vertical do instrumento).
- $t$  é o tempo de deslocamento do sinal.

Sabendo que a velocidade da luz no vácuo “ $C_0$ ” equivale a  $2,99792458 \cdot 10^8$  m/s e o intervalo de tempo  $\Delta t$  é extremamente curto, para determinar a distância  $D$  com uma precisão de 0,5 cm, o intervalo de tempo de deslocamento do sinal deve ser obtido com uma precisão de 0,03 ns ( $10^{-9}$ s) (HÖGLUND; LARGE, 2002).

## 2.2 RETORNO DO SINAL DE MEDIDA

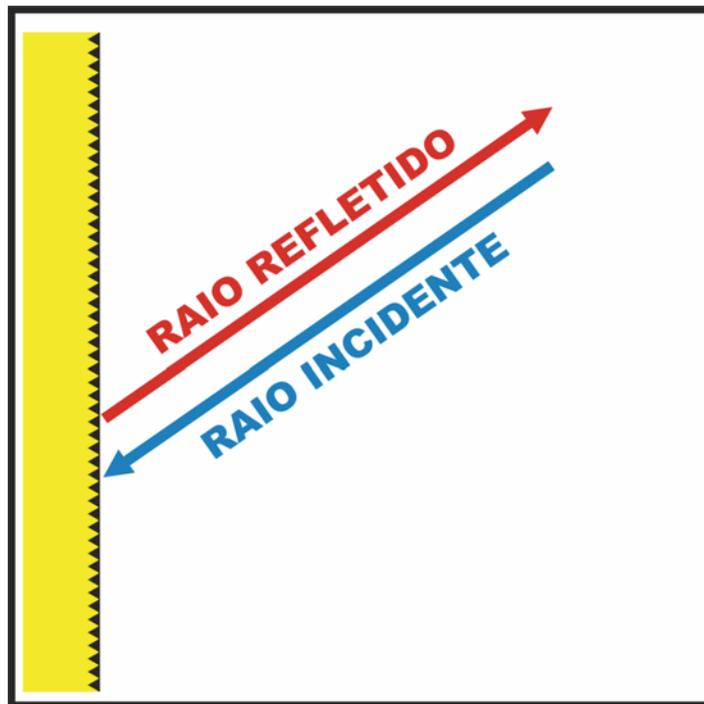
### 2.2.1 Formas de retorno

A devolução do sinal de medida, empregada por estes equipamentos pode ser feita de duas maneiras: reflexão total e reflexão difusa.

### 2.2.1.1 Reflexão total

Utilizado por equipamentos com portadora Infravermelho e para portadoras *Laser* quando utilizadas para grandes distâncias (Figura 5).

FIGURA 5 – PRINCÍPIO DA REFLEXÃO TOTAL



Os refletores que empregam este princípio de reflexão são conhecidos como refletores de canto, que são formados por três faces ortogonais (superfícies especulares). A reflexão total é empregada em prismas para produzir o desvio dos feixes de luz em  $180^\circ$ , logo um feixe incidente na face diagonal irá após a reflexão total retornar em uma direção paralela ao do raio incidente (HEAVENS; DITCHEBURN, 1991).

Nesta estrutura encaixam-se também as fitas adesivas utilizadas em rodovias para sinalização, conhecidas popularmente como "olho-de-gato", além dos refletores em acrílico. Tais sistemas podem ser utilizados na locação de máquinas industriais e como alvos permanentes para controle de estruturas (FAGGION, 2001).

### a) Prismas refletores de vidro

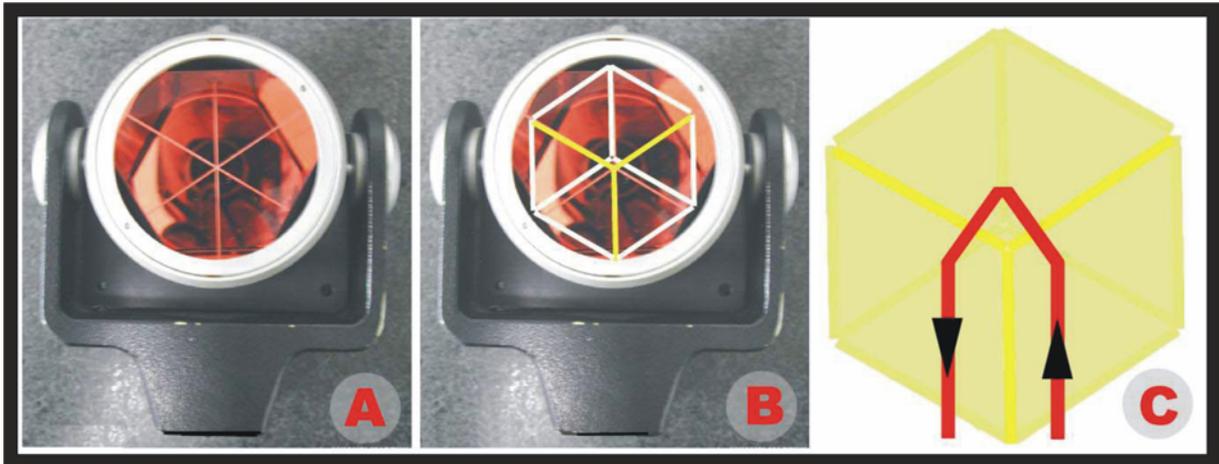
Os prismas de vidro (Figura 6) foram desenvolvidos para ser o sistema refletor que fornece os melhores resultados na medição eletrônica da distância. Estes são formados por três superfícies refletoras que são separadas por um ângulo de  $90^\circ$  entre elas, com uma cobertura interna em alumínio, cobre ou ouro. Estas podem sujar quando estão sendo usadas e ainda estão sujeitas a corrosão, principalmente em climas úmidos. A refletividade do refletor de canto pode ser estimada entre 94% e 65% para os com a cobertura em ouro e de alumínio respectivamente (RÜEGUER, 1996).

FIGURA 6 – PRISMA DE PRECISÃO GPH 1P



Este prisma é concebido de tal forma que qualquer feixe de luz incidente sobre as suas superfícies retorne na mesma direção (Figura 7-A). Devido à disposição das suas superfícies refletoras (Figura 7-B), o sinal reflete em cada superfície retornando paralelo ao sinal emitido pelo equipamento, pela face oposta daquela em que o raio atingiu o prisma passando pelo centro do mesmo (Figura 7-C). (SMITH; NASCARELLA, 2004).

FIGURA 7-A – EXEMPLO DE PRISMA; FIGURA 7-B – REPRESENTAÇÃO DE UM CANTO DE CUBO EXISTENTE NO PRISMA; FIGURA 7-C – TRAJETO DO RAIOS INCIDENTE PELO PRISMA.



O modelo de prisma de precisão utilizado nesta pesquisa, o GPH1P, possui as seguintes características (LEICA, 2003):

- Proteção metálica estável que garante alta estabilidade para suportar variações de temperatura e vibrações durante o seu transporte.
- Permite uma pontaria de alta precisão, com um preciso e correto alinhamento do refletor com a linha de visada do instrumento.
- Refletor perfeitamente ajustado (Constante do Prisma igual a 0).
- Permite ser instalado na verdadeira posição do ponto (devido a sua constante).
- Acurácia na medição de ângulos quando utilizado o refletor GPH1P, pois possui precisão no ponto de interseção das superfícies refletoras tanto com o refletor na perpendicular a linha de visada como estando inclinado em relação a esta.

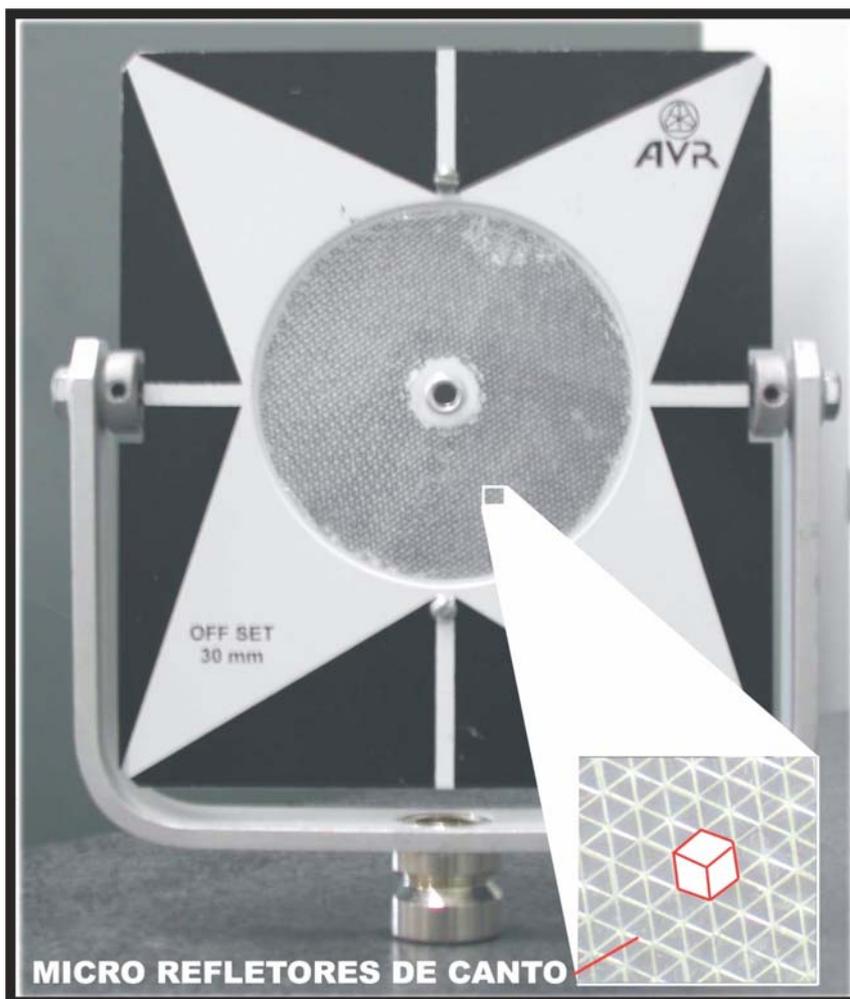
#### b) Refletores de acrílico

Os refletores de acrílico (Figura 8) são constituídos por inúmeros pequenos refletores de canto, cada um deles tendo um diâmetro de aproximadamente 2 mm. Em

função da pequena abertura de cada um dos micro-refletores de canto que o compõem, a utilização não dependerá somente da potência de emissão do equipamento, mas também da distância entre o transmissor e o receptor (RÜEGUER, 1996).

Tendo em vista o baixo custo, podem ser utilizados como refletores permanentes, engastados ou fixados em estruturas, para o monitoramento das mesmas.

FIGURA 8 – REFLETOR DE ACRÍLICO



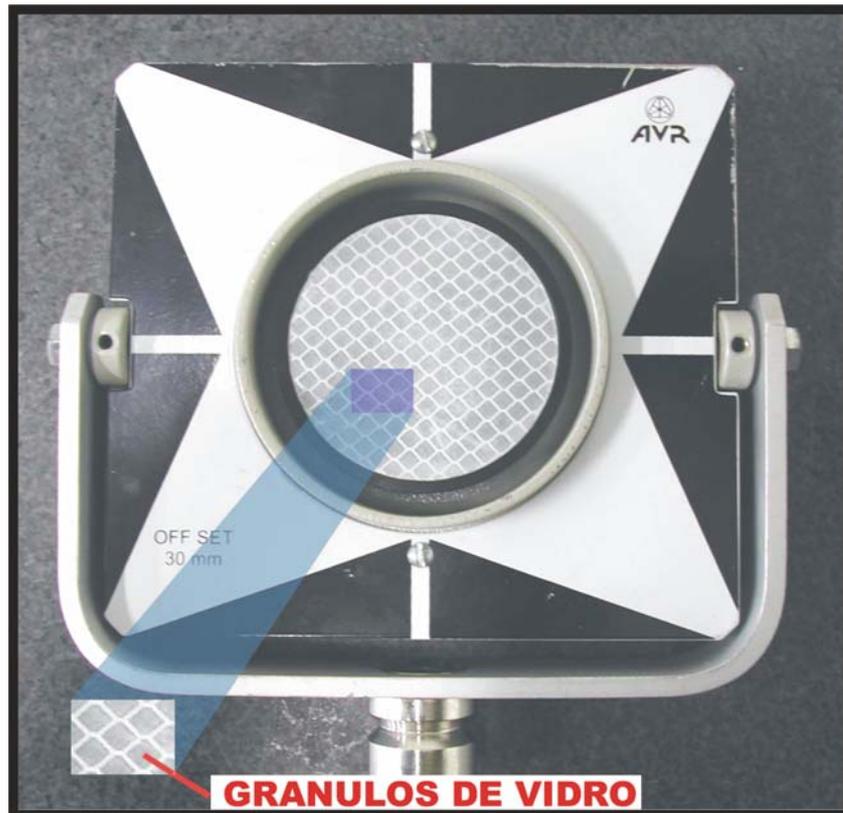
### c) Fitas refletoras adesivas

A fita refletora adesiva (Figura 9) é uma alternativa mais barata em relação aos prismas de vidro e de acrílico. Ela consiste em milhares de lentes micro-esféricas, agregadas a uma resina sintética e recobertas por um plástico transparente e flexível, que lhe confere uma superfície lisa e plana. Possui ainda um adesivo sensível a

pressão, o qual é protegido por uma película siliconada de fácil remoção (3M, 2003). As fitas refletoras são auto-adesivas e podem ser fixadas em estruturas como marcas de referência para medidas de deslocamentos (RÜEGUER, 1996).

Sua aplicação é restrita tendo em vista de que a sua refletividade é reduzida em função do tamanho dos grânulos, da ordem de 0,25mm (RÜEGUER, 1996).

FIGURA 9 – FITA REFLETORA ADESIVA



A seguir são destacadas algumas características da fita adesiva, de acordo com a 3M, a fita adesiva modelo “*Scotchlite Diamond Grade LDP Reflective Sheeting*”, possui as seguintes características técnicas (3M, 2003):

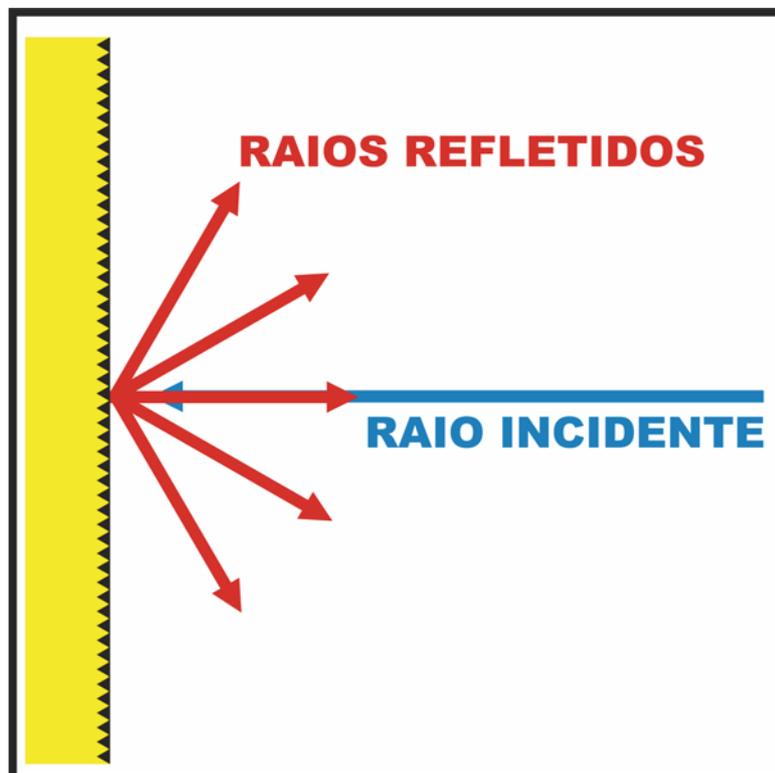
- *Características Fotométricas – Testes de acordo com a American Society for Testing and Materials (ASTM) 810, que descreve o “Método Normal de Prova para obter o Coeficiente de Retroreflexão de uma Película Retrorefletiva”. A Película mantém cerca de 90 % da reflexão, quando submetida às condições de chuva caindo sobre sua superfície.*

- *Espessura média da película: Com a película siliconada – 0,27 mm; Sem a película siliconada – 0,17 mm.*
- *Encolhimento após aplicação: De acordo com a ASTM D4956 Seção 7.8. Em uma amostra de 230 mm x 230 mm não deverá haver um encolhimento maior que 0,8 mm após um período de 10 minutos e não maior que 3,2 mm após o período de 24 horas.*
- *Garantia de durabilidade: Até 7 anos após a data de fabricação, a refletividade é de no mínimo 80% do valor inicial. De 8 a 10 anos a refletividade é de no mínimo 70% do valor inicial, dependendo do local de fixação e das condições metereológicas da região.*

#### 2.2.1.2 Reflexão difusa

Este princípio de reflexão está sendo muito explorado pelos fabricantes de estações totais que utilizam *Laser* para gerar a onda portadora (Figura 10).

FIGURA 10 – ALVO DE REFLEXÃO DIFUSA



O *Laser* é uma fonte de luz coerente, ou seja, com todas suas ondas em fase, logo com incidência bem localizada. Tal fato possibilita a utilização do princípio da reflexão difusa para realizar medidas de distâncias sem o processo da reflexão total, ou seja, a utilização de um refletor de canto. Tal fato só é possível tendo em vista que pelo menos uma porção do sinal refletido retorna paralelo ao sinal emitido (FAGGION, 2001).

Uma propriedade física da luz diz que todos os feixes de luz divergem (espalham) de maneira proporcional com o aumento da distância em relação à fonte emissora. Esta propriedade é válida tanto para o método de pulso como para diferença de fase na medida eletrônica de distância, embora os efeitos causados pela divergência sejam diferentes para cada método, ocasionando diferenças no sinal de medida (HÖGLUND; LARGE, 2002).

### 2.2.2 Precisão dos prismas de reflexão total

Os prismas refletores podem ser classificados de acordo com a sua precisão e a sua forma. A precisão pode ser definida nos termos do desvio máximo do ângulo entre suas faces (na construção do prisma) de um ângulo teórico ideal de  $90^\circ$  (RÜEGUER, 1996).

O custo de um único prisma refletor varia de 1% a 5% do preço de uma estação total (dependendo da marca e modelo do equipamento).

### 2.2.3 Forma dos refletores

A forma dos refletores é determinada em função da posição relativa do sistema ótico do transmissor e do receptor do MED correspondente, tendo em vista que o feixe de retorno deve cobrir inteiramente o sistema ótico do receptor.

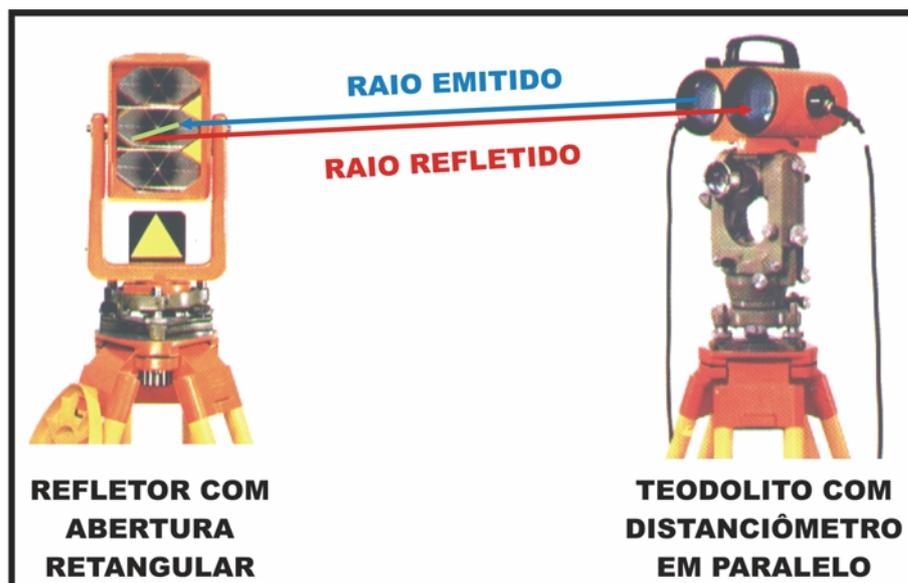
MED com transmissor e receptor coaxial (possuem a transmissão e a recepção num único elemento) necessitam de refletores com uma abertura única circular (Figura 11).

FIGURA 11 – SISTEMA COM O EMISSOR E RECEPTOR COAXIAL



Instrumentos com o transmissor e o receptor óptico separados, porém paralelos (Figura 12) necessitam, de prismas com uma abertura retangular para deslocar os raios recebidos através de um *offset*, e com isso devolver o sinal paralelo ao incidente e com um afastamento igual ao afastamento entre o emissor e o receptor.

FIGURA 12 – SISTEMA COM O EMISSOR E RECEPTOR PARALELOS



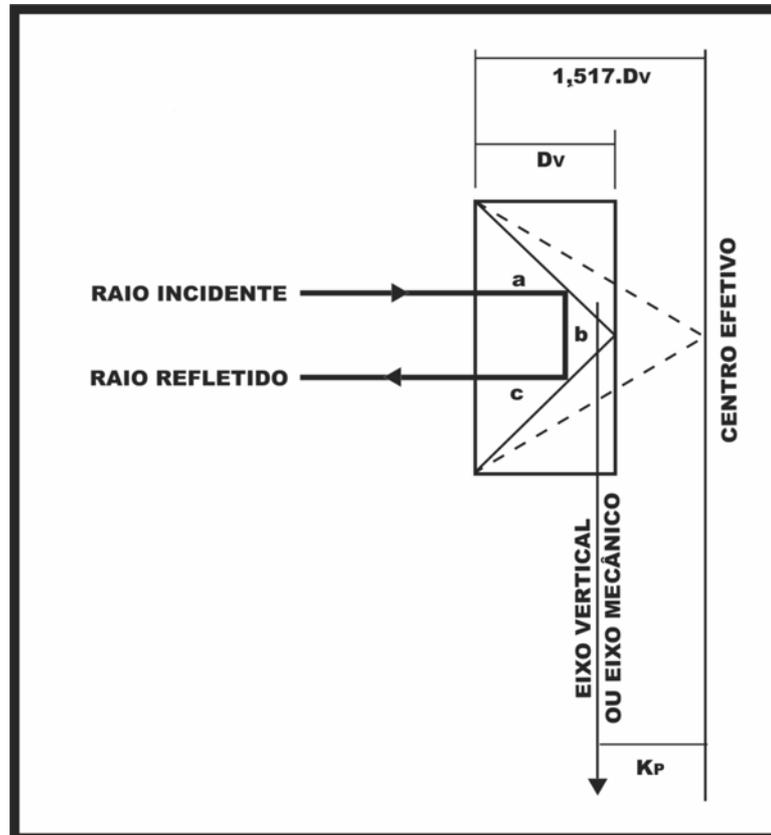
FONTE: ADAPTADO DE WILD (1974)

Atualmente este tipo de instrumento (com transmissor e receptor separados) está em desuso.

#### 2.2.4 Constante do prisma

Durante a medição de uma distância empregando um MED em conjunto com um determinado prisma é necessário levar em consideração o valor de uma constante referente a este prisma no valor final da distância, esta constante é denominada de constante do prisma. Como os feixes de luz viajam em uma velocidade menor no vidro do que no ar, o “centro efetivo” do refletor está atrás do prisma (WOLF; GHILANI, 2002). Logo, não coincide com o centro mecânico (caracterizado pela linha de prumo), produzindo, desta forma, um erro sistemático nas distâncias, conhecido como constante do prisma (Figura 13). Isto ocorre porque o refletor é composto de superfícies ortogonais.

FIGURA 13 – CONSTANTE DO PRISMA



FONTE: ADAPTADA DE WOLF E GHILANI (2002)

Nestes refletores, a luz percorre no vidro, uma distância dada pela seguinte equação (5):

$$a + b + c = 2D_V \quad (5)$$

onde:

- $D_V$  é a distância percorrida pela luz no prisma.
- $a, b, c$  é a trajetória da onda eletromagnética no vidro

Como o índice de refração do vidro é maior que o do ar, a velocidade da luz no prisma depende da velocidade de propagação no vácuo (equação 6).

$$V = \frac{C_0}{n} \quad (6)$$

onde:

- $V$  é a velocidade de propagação da luz no vidro;
- $C_0$  é a velocidade de propagação da luz no vácuo;
- $n$  é o índice de refração do vidro.

Logo a distância efetiva ( $D$ ) percorrida pela luz é dada pela equação 7 (WOLF; GHILANI, 2002):

$$D = 1,517 \cdot D_V \quad (7)$$

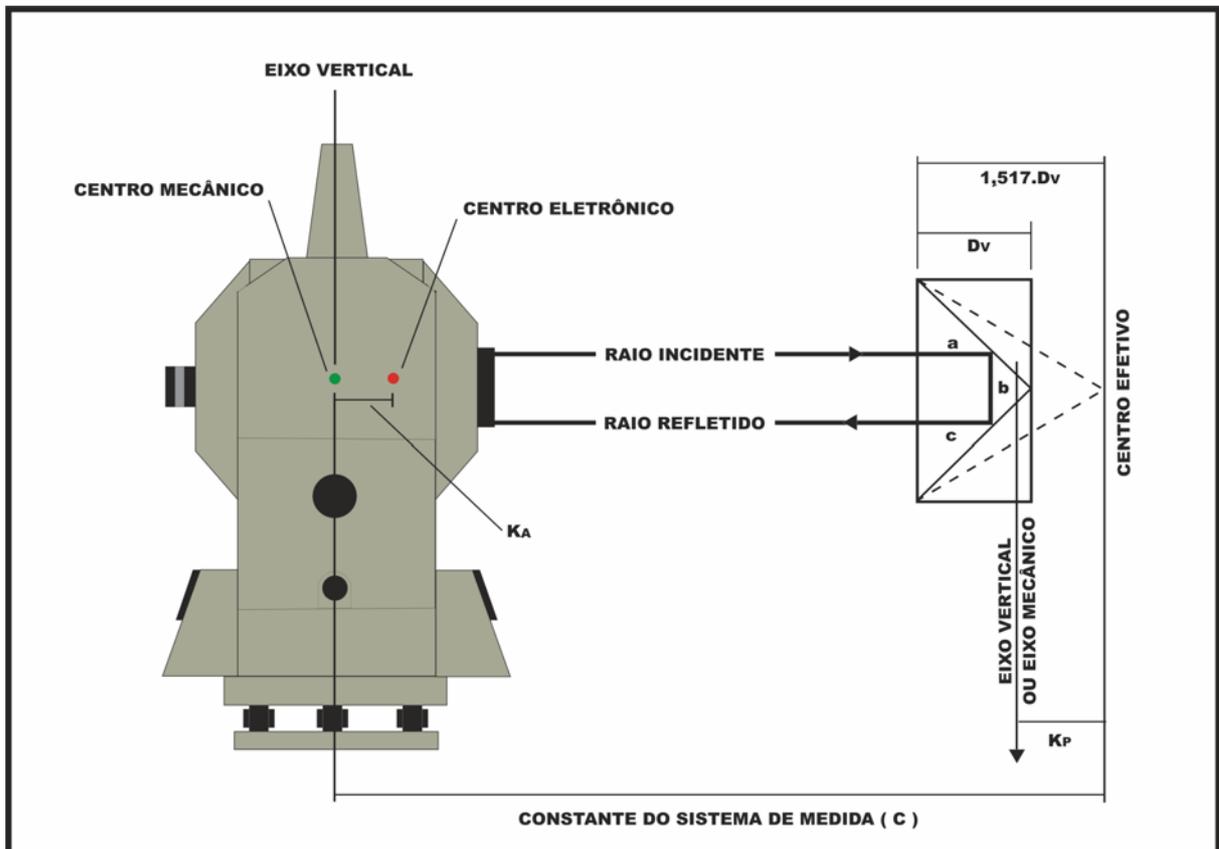
O centro efetivo então criado é mostrado pela linha pontilhada na figura 13. A constante do prisma,  $K_p$ , irá variar conforme o tipo do refletor.

Em virtude disso é importante que ao utilizar um prisma de reflexão total em conjunto com uma estação total, seja verificada a constante do prisma e informado ao instrumento, para considerar este valor na determinação da distância.

### 2.2.5 Constante do sistema de medida

A constante do sistema de medida (equação 8) é a soma da constante aditiva mais o valor da constante do prisma (Figura 14).

FIGURA 14 – CONSTANTE DO SISTEMA DE MEDIDA



$$K = K_A + K_P \quad (8)$$

onde:

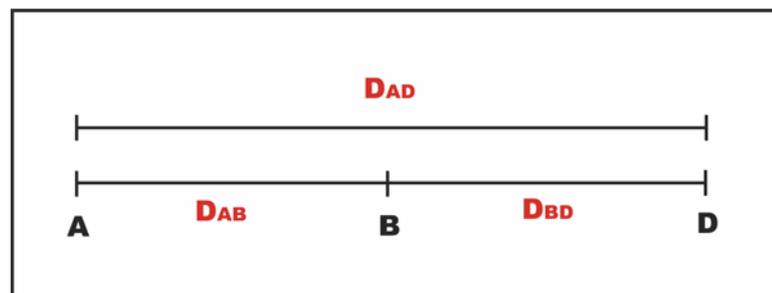
- $K$  é a constante do sistema de medida;
- $K_A$  é a constante aditiva;
- $K_P$  é a constante do prisma.

A constante aditiva consiste na diferença entre o centro mecânico do instrumento, materializado pelo sistema de eixos, e o centro eletrônico que é o emissor

do sinal para a medição eletrônica da distância. Esta determinação é realizada pelo fabricante e incorporada ao instrumento. A constante aditiva residual pode mudar com o tempo ou durante a realização de reparos do equipamento. Seu valor deve ser determinado periodicamente para que seja possível realizar as correções nas medições (FAGGION, 2001).

Uma forma para a determinação desta constante consiste em ocupar uma base de calibração de medidores eletrônicos de distância, em que se conhece a distância entre os pilares (FAGGION, 2001). De uma maneira simples, basta ocupar três pontos em linha reta (A, B e C, na Figura 15) com o conjunto que se deseja determinar a distância.

FIGURA 15 – DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DO SISTEMA DE MEDIDA



Estando os pontos A e C nos extremos desta linha e o ponto B entre estes. Medindo as distâncias entres estes pontos (AC, AB e CB) é possível chegar a seguinte equação (9):

$$AC + K = (AB + K) + (CB + K) \quad (9)$$

Isolando K chega-se a seguinte equação:

$$K = AC - (AB + CB) \quad (10)$$

Sabe-se também que:

$$K = K_A + K_P \quad (11)$$

onde:

- $K_A$  é a constante relativa a constante aditiva do MED;
- $K_P$  é a constante do prisma;
- $K$  é a constante de medida do sistema, e deve ser somada para corrigir as distâncias observadas.

Desta forma pode-se reescrever a equação 11 para determinar a constante do prisma.

$$K_P = K - K_A \quad (12)$$

Como exemplo de aplicação destas equações, foram realizadas medições de distâncias entre 3 pilares na base linear para calibração de MED, os pilares medidos foram o P1, P2 e P3, sendo empregada a estação total TC 2002 em conjunto com o prisma GPH1P da Leica. Como informação, o valor do erro de zero da estação TC 2002 era de 0,4 mm (valor obtido em 2001, na calibração da componente linear da estação total). Aplicando as equações 9, 10, 11 e 12 chega-se ao seguinte resultado.

$$D_{P1P3} + K = (D_{P1P2} + K) + (D_{P2P3} + K)$$

$$K = D_{P1P3} - (D_{P1P2} + D_{P2P3})$$

$$K = 222,789 - (70,8686 + 151,9200)$$

$$K = 0,0004 \text{ m}$$

Como o valor do erro de zero para a TC 2002 é 0,4 mm, chega-se ao seguinte valor para a constante do prisma ( $K_P$ ):

$$K = K_P + K_A$$

$$K_P = K - K_A$$

$$K_P = 0,4 \text{ mm} - 0,4 \text{ mm}$$

$$K_P = 0 \text{ mm}$$

Como observa-se no cálculo acima, o valor obtido da constante do prisma GPH1P é o mesmo fornecido pelo fabricante.

### 2.2.6 Efeitos da temperatura sobre os refletores

A devolução de um sinal de medida por um refletor é somente uniforme se toda a sua estrutura de vidro estiver em uma mesma temperatura (RÜEGUER, 1996).

Quando a incidência dos raios solares for disforme, a temperatura do prisma também o é, causando deformações nas faces e assim a divergência do feixe emergente (RÜEGUER, 1996).

Para que um prisma atinja uma temperatura constante, quando utilizado em regiões com variações bruscas de temperaturas, é necessário que o mesmo fique exposto por pelo menos 1 hora ao ambiente onde se realizará a medição (RÜEGUER, 1996).

### 2.2.7 Cuidados com os refletores

Basicamente, os refletores devem ser tratados com o mesmo cuidado com que são tratados todos os equipamentos de Topografia e Geodésia.

Antes de guardar os prismas, os mesmos devem estar isentos de umidade e pó. Esta limpeza deve ser realizada com um pano macio, para evitar riscos em sua superfície.

### 3 CALIBRAÇÃO DOS PRISMAS REFLETORES

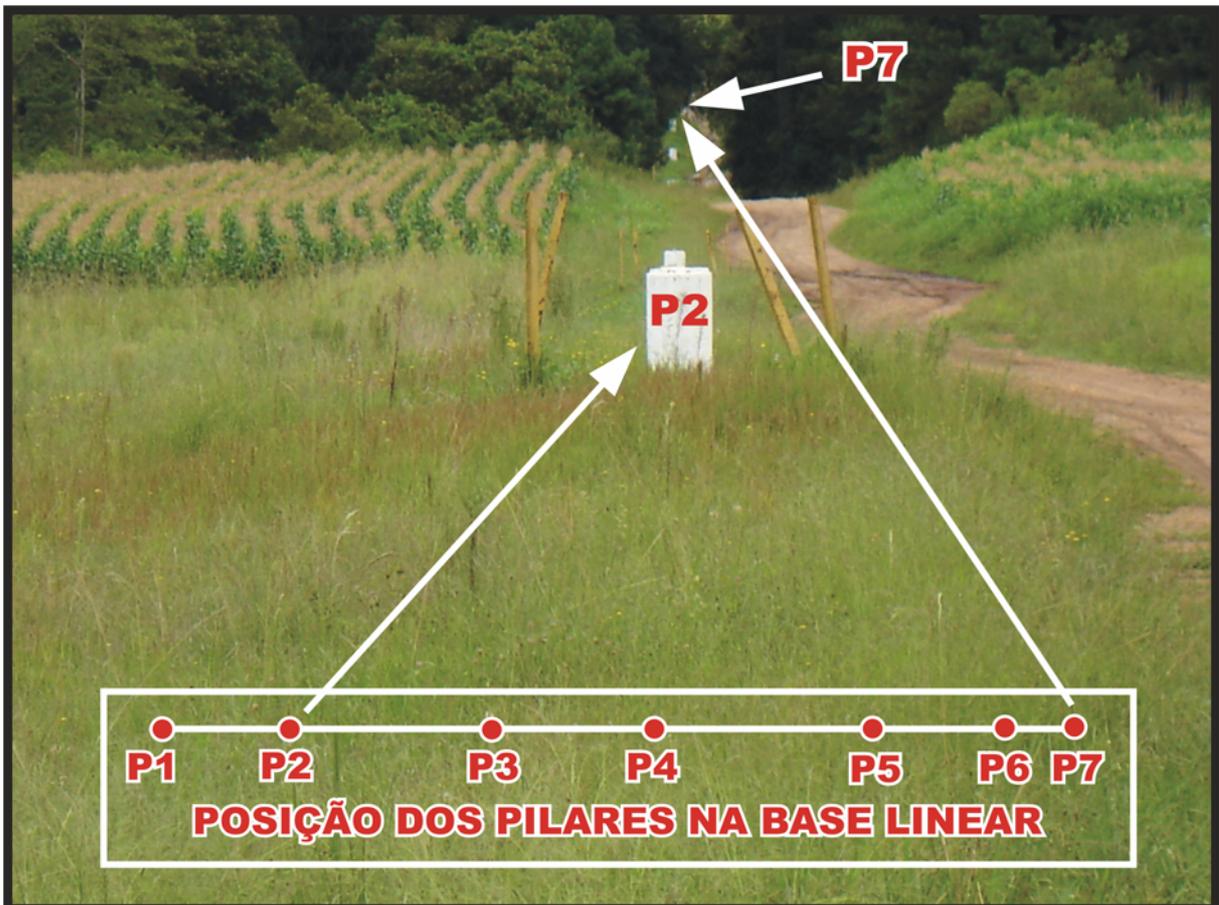
A calibração dos refletores foi realizada em duas etapas distintas: a etapa de laboratório, que teve a finalidade de realizar o estudo para pequenas distâncias (neste trabalho será considerada distância curta, distâncias de até 15 metros); e a etapa de campo, que demonstrou a resposta do uso dos refletores para medição de distâncias maiores de 15 metros.

Os estudos que foram realizados em laboratório tiveram a finalidade de testar a resposta que a fita refletora fornece quando utilizada para a medição de pequenas distâncias como, por exemplo, quando utilizada como alvo para a locação de máquinas industriais. A resposta da fita foi comparada com a resposta fornecida pelos refletores em vidro utilizados na Topografia e na Geodésia. Para realizar este estudo, foram comparados os deslocamentos dos refletores, determinados a partir de observações com a estação total, com os mesmos deslocamentos dados por um interferômetro *laser* com precisão de 1 milésimo de milímetro. Os demais testes realizados foram os seguintes:

- Verificação da resposta do refletor com a variação do ângulo de incidência do sinal da onda eletromagnética.
- Determinação da constante dos refletores.

Tendo em vista a necessidade de calibração dos MED em intervalos regulares de tempo, devido às variações das constantes instrumentais, ou também devido ao manuseio constante dos mesmos equipamentos, construiu-se nas dependências da fazenda experimental (chamada Cangüirí, localizada no município de Quatro Barras, região Metropolitana de Curitiba) da UFPR uma base linear multipilares constituída de sete pilares numa linha de projeção reta, onde o afastamento entre seus extremos é de aproximadamente 790 m (FAGGION, 2001), cujo esquema é apresentado na Figura 16.

FIGURA 16 – BASE PARA MEDIDORES ELETRÔNICOS DE DISTÂNCIAS



As determinações efetuadas sobre a base para MED são os da rotação do refletor, a determinação das constantes dos refletores e também o de alcance em função do tamanho do refletor em forma de fita adesiva. Os dois primeiros são semelhantes aos realizados em laboratório, porém as distâncias serão maiores, sendo utilizada como padrão, a escala da base multipilares (Quadro 1).

QUADRO 1 – ESCALA DA BASE OBTIDA COM A MEDIÇÃO ELETRÔNICA DE DISTÂNCIA

PILARES	DISTÂNCIA (m)
P1 – P2	70,8686
P1 – P3	222,789
P1 – P4	385,8444
P1 – P5	648,2498
P1 – P6	759,6788
P1 – P7	789,9196
P2 – P3	151,9200
P2 – P4	314,9758

P2 – P5	577,3808
P2 – P6	688,8104
P2 – P7	719,0506
P3 – P4	163,0546
P3 – P5	425,4598
P3 – P6	536,8890
P3 – P7	567,1298
P4 – P5	262,4048
P4 – P6	373,8340
P4 – P7	404,0744
P5 – P6	111,4290
P5 – P7	141,6698
P6 – P7	30,2404

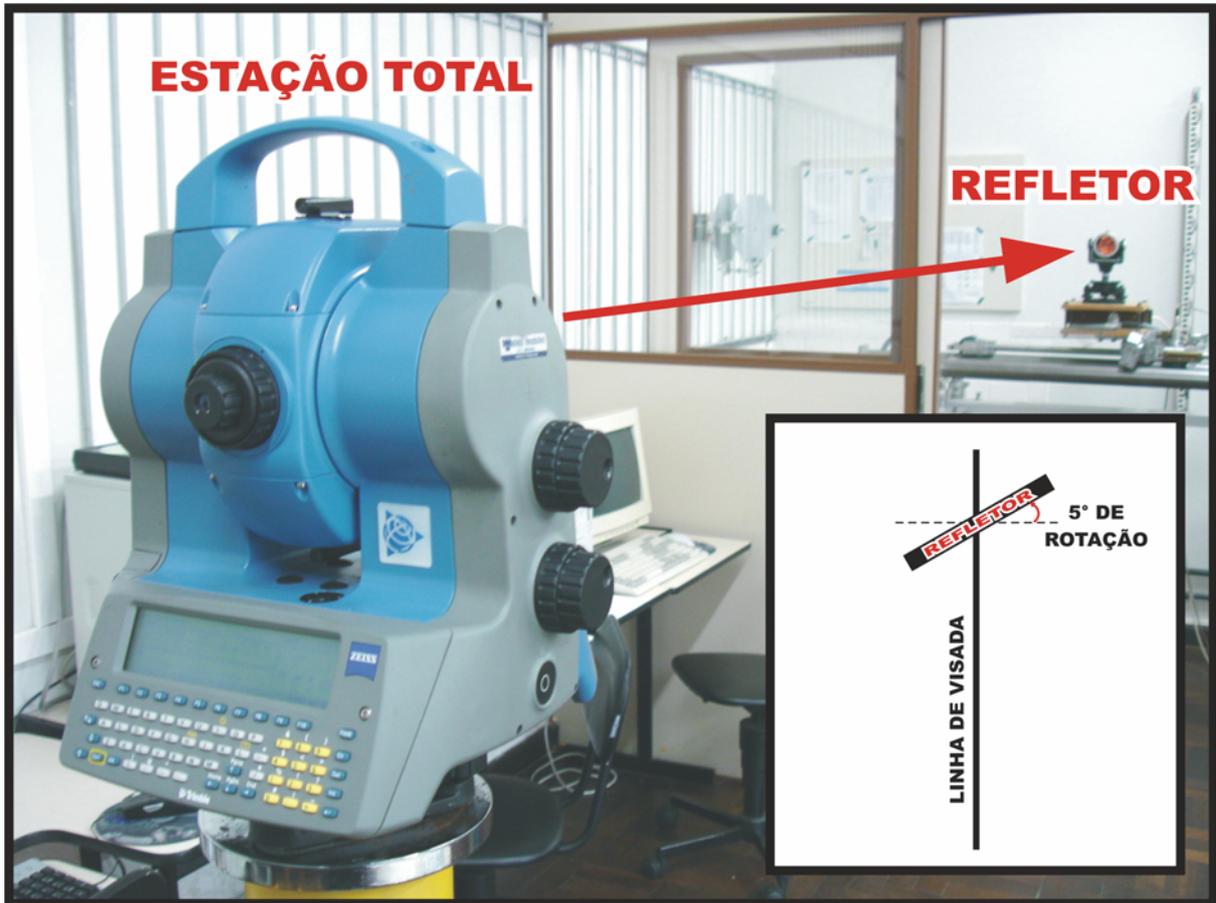
FONTE: FAGGION (2001)

### 3.1 TESTE DO ÂNGULO DE ROTAÇÃO DO REFLETOR

#### 3.1.1 Em laboratório

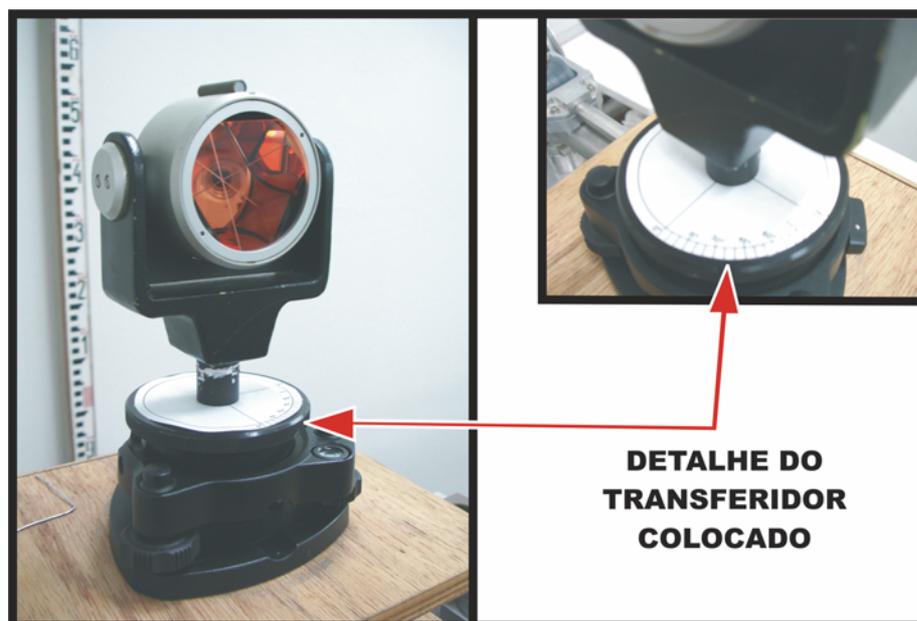
Este experimento consiste em determinar o ângulo máximo de rotação do refletor em relação à linha de visada, a partir do qual não há retorno do sinal de medida da estação total. A metodologia consistiu em estacionar a estação sobre um tripé industrial e colocar os refletores perpendicularmente a linha de visada sobre um anteparo com um transferidor (Figura 17). A partir desta disposição inicial, o refletor é rotacionado em ângulos de 5° em relação à linha de visada sendo então efetuadas as medições em cada uma destas posições, a fim de verificar qual é o ângulo máximo de rotação.

FIGURA 17 – POSIÇÃO DO REFLETOR EM RELAÇÃO À LINHA DE VISADA.



Na Figura 18 é possível verificar o transferidor colocado no anteparo que está montado o refletor.

FIGURA 18 – DETALHE DO TRANSFERIDOR



O Quadro 2 apresenta os valores obtidos dos ângulos de rotação em relação a linha de visada obtidos para os refletores utilizando a estação total TCRA 1205.

QUADRO 2 – VALORES DOS ÂNGULOS DE ROTAÇÃO DO REFLETOR

<b>TCRA 1205 NO LABORATÓRIO</b>			
<b>ROTAÇÃO DO PRISMA</b>	<b>PRISMA (m)</b>	<b>ACRÍLICO (m)</b>	<b>FITA (m)</b>
0°	3,7290	3,6980	3,6940
5°	3,7291	3,6979	3,6942
10°	3,7292	3,6976	3,6941
15°	3,7291	3,6973	3,6940
20°	3,7291	3,6974	3,6941
25°	3,7292	3,6971	3,6939
30°	3,7293	—	3,6937
35°	3,7292	—	3,6937
40°	3,7293	—	3,6936
45°	3,7292	—	3,6935
50°	3,7294	—	3,6935
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>3,7292</b>	<b>3,6976</b>	<b>3,6938</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,1136</b>	<b>0,3507</b>	<b>0,2544</b>

Os campos preenchidos por traços representam que não houve devolução do sinal de medida para o referido ângulo de rotação. Observa-se também que não houve devolução do sinal de medida quando a rotação do refletor era superior a 50° (para o prisma de vidro e fita adesiva)

Pode-se verificar no quadro 2, que tanto o prisma refletor como a fita adesiva pode devolver o sinal de medida para a estação total até um ângulo máximo de incidência de 50° em relação à linha de visada, já o refletor em acrílico, verificou-se que o ângulo máximo que o refletor devolve o sinal de medida é de 25°.

### 3.1.2 Em campo

Da mesma maneira como realizado no laboratório, foram obtidas distâncias com diferentes ângulos de rotação do refletor em relação à linha de visada para verificar a dispersão dos valores obtidos com o valor quando o refletor estava perpendicular a linha de visada em uma distância maior do que a efetuada em

laboratório. A distância utilizada no campo foi entre os pilares P1 e P2 da base (Figura 19).

FIGURA 19 – TESTE DO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA EM CAMPO



O quadro 3 mostra os valores obtidos dos ângulos de rotação obtidos para os refletores utilizando a estação total Leica TCRA 1205. Os traços existentes indicam que não houve a devolução do sinal pelo refletor.

QUADRO 3 – DISTÂNCIAS PARA DIFERENTES ÂNGULOS DE ROTAÇÃO

TCRA 1205 NA BASE LINEAR			
ÂNGULO DE ROTAÇÃO	PRISMA (m)	ACRÍLICO (m)	FITA (m)
0°	70,8667	70,8371	70,8312
5°	70,8668	70,8372	70,8314
10°	70,8667	70,8369	70,8310
15°	70,8667	70,8371	70,8306
20°	70,8668	70,8372	70,8306
25°	70,8668	70,8380	70,8306
30°	70,8668	—	70,8306
35°	70,8670	—	70,8305
40°	70,8671	—	70,8305
45°	70,8672	—	70,8304
50°	70,8674	—	70,8303
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>70,8669</b>	<b>70,8373</b>	<b>70,8307</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,23</b>	<b>0,38</b>	<b>0,34</b>

Da mesma forma como em laboratório, pode-se verificar no quadro 3, que tanto com prisma refletor como com a fita adesiva, para um ângulo de rotação de  $50^\circ$  houve o retorno do sinal, já o refletor em acrílico, verificou-se que o ângulo máximo que o refletor devolve o sinal de medida é de  $25^\circ$ .

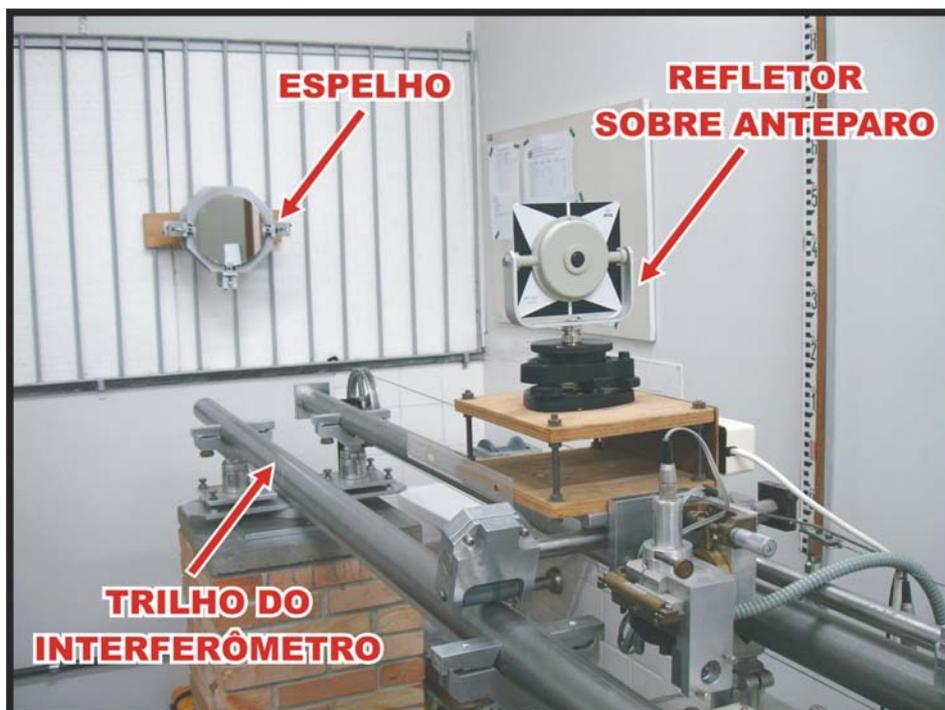
## 3.2 DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DOS REFLETORES

### 3.2.1 Em laboratório

Nesta etapa as constantes dos refletores foram determinadas utilizando a estrutura do Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG), que durante a execução deste experimento, foi isolado e teve a sua temperatura controlada em  $20^\circ\text{C}$ .

O padrão de distância utilizado foi um interferômetro *Laser* (modelo HP 5518A) existente no LAIG. A metodologia consiste na instalação da estação total sobre um tripé industrial e o refletor sobre um anteparo montado junto ao refletor do interferômetro em uma estrutura que se desloca sobre o trilho de aproximadamente 4 metros (Figura 20).

FIGURA 20 – DETALHE DO TRILHO DO INTERFERÔMETRO



O método consiste em deslocar de 10 centímetros o refletor ao longo do trilho efetuando medidas de distâncias com a estação total, utilizando os três tipos de refletores. A etapa seguinte consiste em comparar os deslocamentos dados pelo interferômetro e os obtidos com a estação total e os diferentes refletores.

A diferença entre os deslocamentos obtidos com os diferentes conjuntos, comparados com os deslocamentos dados com o interferômetro fornecerá a constante do prisma utilizado.

Uma das limitações deste experimento é o reduzido espaço disponível no laboratório. Para que esta situação seja contornada, é utilizado um espelho, que possui um espelhamento frontal, permitindo a obtenção de distâncias de aproximadamente 14 metros em um espaço reduzido de 6 metros (Figura 21).

FIGURA 21 – ESQUEMA DE MONTAGEM DO EQUIPAMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DO PRISMA EM LABORATÓRIO



Todas as medidas coletadas foram corrigidas dos parâmetros ambientais, utilizando a seguinte equação (13), que é fornecida pelo fabricante da estação total:

$$\Delta D_1 = 281,8 - \left[ \frac{0,29065 \cdot P}{(1 + \alpha \cdot t)} - \frac{4,126 \cdot 10^{-4} \cdot h}{(1 + \alpha \cdot t)} \cdot 10^X \right] \quad (13)$$

onde:

- $\Delta D_1$  e a correção atmosférica em ppm;
- $P$  é a pressão atmosférica (mb);
- $t$  é a temperatura ambiente (°C);
- $h$  é a umidade relativa (%);
- $\alpha$  é uma constante que vale  $\frac{1}{273,16}$ ;

$$X = \frac{7,5t}{237,3 + t} + 0,7857$$

Com os valores das distâncias medidas foi possível obter as constantes dos refletores. No Quadro 4 são apresentados os valores obtidos dos deslocamentos em relação ao interferômetro quando utilizando a estação total TCRA 1205 no modo IR (infravermelho).

QUADRO 4 – VALORES DOS DESLOCAMENTOS OBTIDOS COM A TCRA 1205 EM IR

INTERFERÔMETRO	ESTAÇÃO TOTAL					
	PRISMA		ACRÍLICO		FITA ADESIVA	
	DESLOC.(mm)	MEDIDA (m)	DESLOC. (mm)	MEDIDA (m)	DESLOC. (mm)	MEDIDA (m)
-	12,1782	-	12,1470	-	12,1435	-
100,0000	12,0785	99,7036	12,0470	100,0027	12,0434	100,1036
200,0000	11,9783	199,9072	11,9468	200,2065	11,9436	199,9072
300,0000	11,8784	299,8108	11,8469	300,0103	11,8436	299,9108
400,0000	11,7783	399,9144	11,7469	400,0141	11,7434	400,1144
500,0000	11,6782	500,0180	11,6469	500,0179	11,6435	500,0180
600,0000	11,5783	599,9216	11,5470	599,9217	11,5434	600,1216
700,0000	11,4783	699,9252	11,4468	700,1255	11,4439	699,6262
800,0000	11,3783	799,9288	11,3467	800,2293	11,3438	799,7298
900,0000	11,2784	899,8325	11,2470	899,9330	11,2437	899,8334
1000,0000	11,1785	999,7361	11,1471	999,8368	11,1438	999,7369
1100,0000	11,0784	1099,8406	11,0469	1100,0406	11,0439	1099,6405
1200,0000	10,9785	1199,7443	10,9469	1200,0444	10,9437	1199,8441
1300,0000	10,8785	1299,7479	10,8471	1299,8482	10,8437	1299,8477
1400,0000	10,7785	1399,7515	10,7469	1400,0520	10,7436	1399,9513
1500,0000	10,6786	1499,6551	10,6471	1499,8558	10,6437	1499,8549
1600,0000	10,5786	1599,6587	10,5468	1600,1596	10,5435	1600,0585
1700,0000	10,4785	1699,7623	10,4470	1699,9633	10,4439	1699,6621
1800,0000	10,3785	1799,7659	10,3471	1799,8671	10,3439	1799,6657
1900,0000	10,2785	1899,7695	10,2470	1899,9709	10,2439	1899,6693
2000,0000	10,1784	1999,8776	10,1467	2000,2808	10,1438	1999,7775
2100,0000	10,0783	2099,9812	10,0470	2099,9845	10,0437	2099,8811
2200,0000	9,9783	2199,9839	9,9469	2200,0883	9,9437	2199,8846
2300,0000	9,8782	2300,0874	9,8470	2299,9904	9,8437	2299,7882
2400,0000	9,7781	2400,0910	9,7469	2400,0941	9,7436	2399,8917
2500,0000	9,6781	2500,0938	9,6468	2500,1979	9,6435	2499,9958
2600,0000	9,5782	2599,9973	9,5469	2600,1024	9,5435	2599,9993
2700,0000	9,4781	2700,1001	9,4469	2700,1061	9,4435	2700,0036
2800,0000	9,3782	2800,0021	9,3468	2800,1099	9,3435	2800,0064
2900,0000	9,2782	2900,0050	9,2469	2900,0136	9,2434	2900,1099
3000,0000	9,1785	2999,7086	9,1469	3000,0181	9,1436	2999,9135
3100,0000	9,0783	3099,9122	9,0467	3100,2218	9,0435	3100,0170
3200,0000	8,9783	3199,9158	8,9469	3200,0248	8,9435	3200,0206
3300,0000	8,8784	3299,8179	8,8467	3300,2285	8,8434	3300,1234
3400,0000	8,7785	3399,7215	8,7469	3400,0323	8,7435	3400,0269
3500,0000	8,6783	3499,9251	8,6468	3500,1360	8,6436	3499,9304
3600,0000	8,5782	3600,0280	8,5467	3600,2390	8,5436	3599,9340
3700,0000	8,4781	3700,1317	8,4470	3699,9428	8,4436	3699,9368
3800,0000	8,3784	3799,8353	8,3469	3800,0465	8,3435	3800,0404
3900,0000	8,2783	3899,9389	8,2467	3900,2503	8,2437	3899,8439
4000,0000	8,1781	4000,1425	8,1466	4000,3534	8,1437	3999,8475

O quadro 5 mostra os valores obtidos das constantes dos refletores para os conjuntos utilizados. Estes valores foram calculados através da diferença do

deslocamento obtido com o prisma de vidro com os outros dois refletores, ou seja, o refletor em acrílico e em fita adesiva.

QUADRO 5 – VALORES OBTIDOS DAS CONSTANTES DOS REFLETORES PARA OS CONJUNTOS UTILIZADOS – EM LABORATÓRIO

		ACRILICO	FITA
	<b>TC 2002</b>	MÉDIA (mm)	30,5801
$\sigma$ (mm)		0,3046	0,4023
N OBS		41	41
		ACRILICO	FITA
	<b>ELTA S20</b>	MÉDIA (mm)	30,8221
$\sigma$ (mm)		0,5041	0,6052
N OBS		41	41
		ACRILICO	FITA
	<b>TCRA 1205 IR</b>	MÉDIA (mm)	31,4478
$\sigma$ (mm)		0,1429	0,1798
N OBS		41	41
		ACRILICO	FITA
	<b>TCRA 1205 RL</b>	MÉDIA (mm)	32,0035
$\sigma$ (mm)		1,1621	1,1046
N OBS		41	41

Conforme observa-se no quadro 5, existe uma variação de décimos de milímetro, entre as constantes dos diferentes prismas testados.

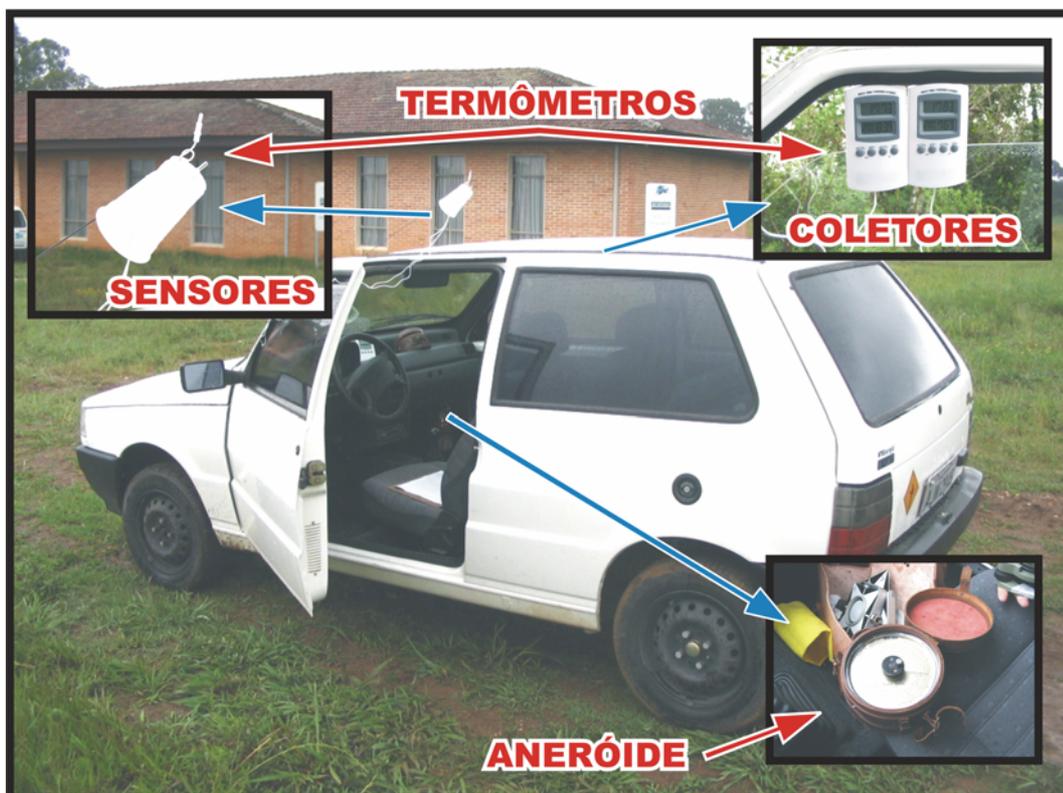
### 3.2.2 Em campo

Da mesma maneira como realizado em laboratório, as constantes foram determinadas utilizando-se a base de campo (figura 22). Estes testes foram conduzidos para verificar se os valores obtidos em laboratório (distâncias curtas) se mantêm para a base da fazenda (distâncias longas). Vale ressaltar que como em laboratório, foram coletados os parâmetros ambientais e atmosféricos (figura 23) para a correção das observações de campo.

FIGURA 22 – OPERAÇÕES DE CAMPO PARA A VERIFICAÇÃO DOS VALORES DAS CONSTANTES DOS REFLETORES EM CAMPO



FIGURA 23 – INSTRUMENTOS EMPREGADOS NA COLETA DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS EM CAMPO



Como exemplo dos valores obtidos neste experimento, o quadro 6 apresenta os valores obtidos na base linear em comparação com a escala da base quando utilizando a estação total TCRA 1205 no modo IR (infravermelho).

QUADRO 6 – VALORES OBTIDOS NA BASE LINEAR UTILIZANDO A TCRA 1205

ESCALA DETERMINADA		ESTAÇÃO TOTAL		
		PRISMA	ACRÍLICO	FITA ADESIVA
PILARES	ESCALA DA BASE (m)	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA (m)
P1-P2	70,8686	70,8697	70,8388	70,8356
P1-P3	222,7890	222,7921	222,7609	222,7580
P1-P4	385,8444	385,8485	385,8180	—
P1-P5	648,2498	648,2583	—	—
P1-P6	759,6788	759,6871	—	—
P1-P7	789,9196	—	—	—
P2-P3	151,9200	151,9219	151,8910	151,8874
P2-P4	314,9758	314,9785	314,9475	—
P2-P5	577,3808	577,3866	—	—
P2-P6	688,8104	688,8176	—	—
P2-P7	719,0506	719,0579	—	—
P3-P4	163,0546	163,0559	163,0251	163,0214
P3-P5	425,4598	425,4640	—	—
P3-P6	536,8890	536,8933	—	—
P3-P7	567,1298	567,1350	—	—
P4-P5	262,4048	262,4079	262,3769	262,3741
P4-P6	373,8340	373,8380	373,8062	—
P4-P7	404,0744	404,0790	404,0484	—
P5-P6	111,4290	111,4294	111,3982	111,3944
P5-P7	141,6698	141,6704	141,6394	141,6360
P6-P7	30,2404	30,2402	30,2087	30,2047

No quadro 6, os campos que possuem um traço representam a impossibilidade na obtenção da medida da distância, devido ao alcance limitado dos refletores utilizados, exceto na distância entre o pilar P1 e P7 que não foi possível a medição da distância devido a obstáculos existentes no caminho percorrido pelo sinal de medida (árvores).

O quadro 7 mostra os valores obtidos das constantes dos refletores para os conjuntos utilizados. Estes valores foram calculados através da diferença do deslocamento obtido com o prisma de vidro com os outros dois refletores, ou seja, o refletor em acrílico e em fita adesiva.

QUADRO 7 – VALORES OBTIDOS DAS CONSTANTES DOS REFLETORES PARA OS CONJUNTOS UTILIZADOS - EM CAMPO

TC 2002		ACRILICO	FITA
	MÉDIA (mm)	31,1492	34,1295
$\sigma$ (mm)	0,5174	0,6938	
N OBS	8	4	
ELTA S20		ACRILICO	FITA
	MÉDIA (mm)	30,9723	34,1616
$\sigma$ (mm)	0,68	1,39	
N OBS	12	8	
TCRA 1205 IR		ACRILICO	FITA
	MÉDIA (mm)	31,0349	34,4891
$\sigma$ (mm)	0,3599	0,5432	
N OBS	12	8	
TCRA 1205 RL		ACRILICO	FITA
	MÉDIA (mm)	31,5813	34,6586
$\sigma$ (mm)	1,2135	1,7228	
N OBS	19	19	

Da mesma forma como em laboratório, os valores obtidos para as constantes dos refletores em acrílico e em fita adesiva (quadro 7), é de que a variação destes, considerando os equipamentos testados é da ordem de décimos de milímetro.

O quadro 8 mostra os valores finais das constantes dos refletores, este valor foi obtido através do cálculo da média dos valores obtidos para cada estação total, tanto em laboratório, como em campo.

QUADRO 8 – VALORES DAS CONTANTES DOS REFLETORES PARA CADA ESTAÇÃO TOTAL UTILIZADA

ESTAÇÃO TOTAL		ACRÍLICO	FITA
TC 2002	MÉDIA (mm)	30,86	34,09
	$\sigma$ (mm)	0,40	0,05
	TOTAL DE OBS	49	45
ELTA S20	MÉDIA (mm)	30,90	34,09
	$\sigma$ (mm)	0,11	0,11
	TOTAL DE OBS	53	49
TCRA 1205 IR	MÉDIA (mm)	31,24	34,60
	$\sigma$ (mm)	0,29	0,16
	TOTAL DE OBS	53	49
TCRA 1205 RL	MÉDIA (mm)	31,79	34,66
	$\sigma$ (mm)	0,30	0,01
	TOTAL DE OBS	60	60

Estes valores de constante devem ser associados às distâncias obtidas com o refletor em acrílico e com a fita adesiva respectivamente. Cabe ressaltar que estes resultados foram determinados em função do prisma de precisão, que segundo o fabricante, possui como constante igual a zero milímetros.

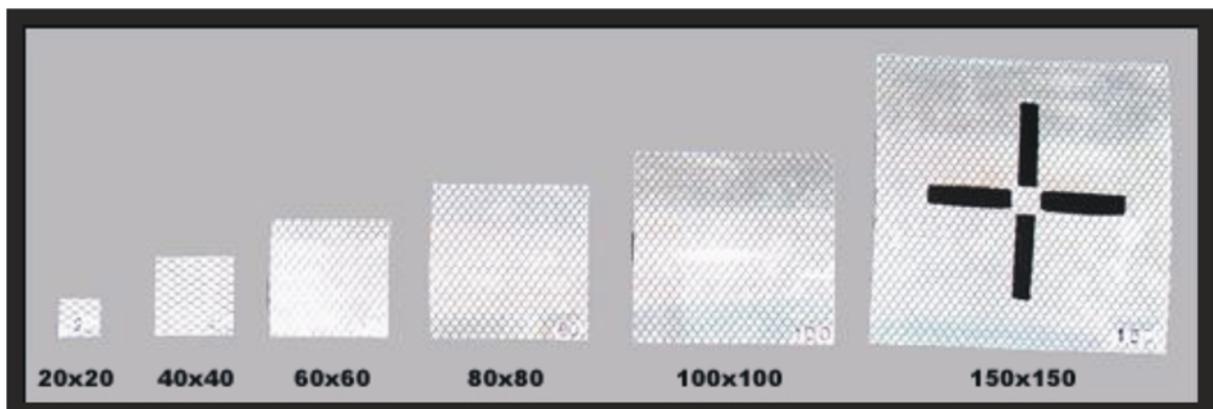
Um outro fato importante a ser salientado neste teste é de que os valores das constantes obtidas para a fita adesiva e para o refletor em acrílico já levam em consideração a estrutura do alvo montado, ou seja, no caso da fita adesiva é a constante do alvo como um todo.

Estes valores encontrados para a constante da fita adesiva são próximos aos valores fornecidos pelo fabricante da Estação Total Leica TCRA 1205, que é de 34,4 milímetros (LEICA, 2004) quando se utilizar a fita refletora nos levantamentos topográficos.

### 3.3 VERIFICAÇÃO DO ALCANCE DE MEDIDA EM FUNÇÃO DO TAMANHO DO REFLETOR

Neste experimento foram empregadas as fitas adesivas com diferentes dimensões (Figura 24) para verificar qual o alcance máximo em função da dimensão do refletor.

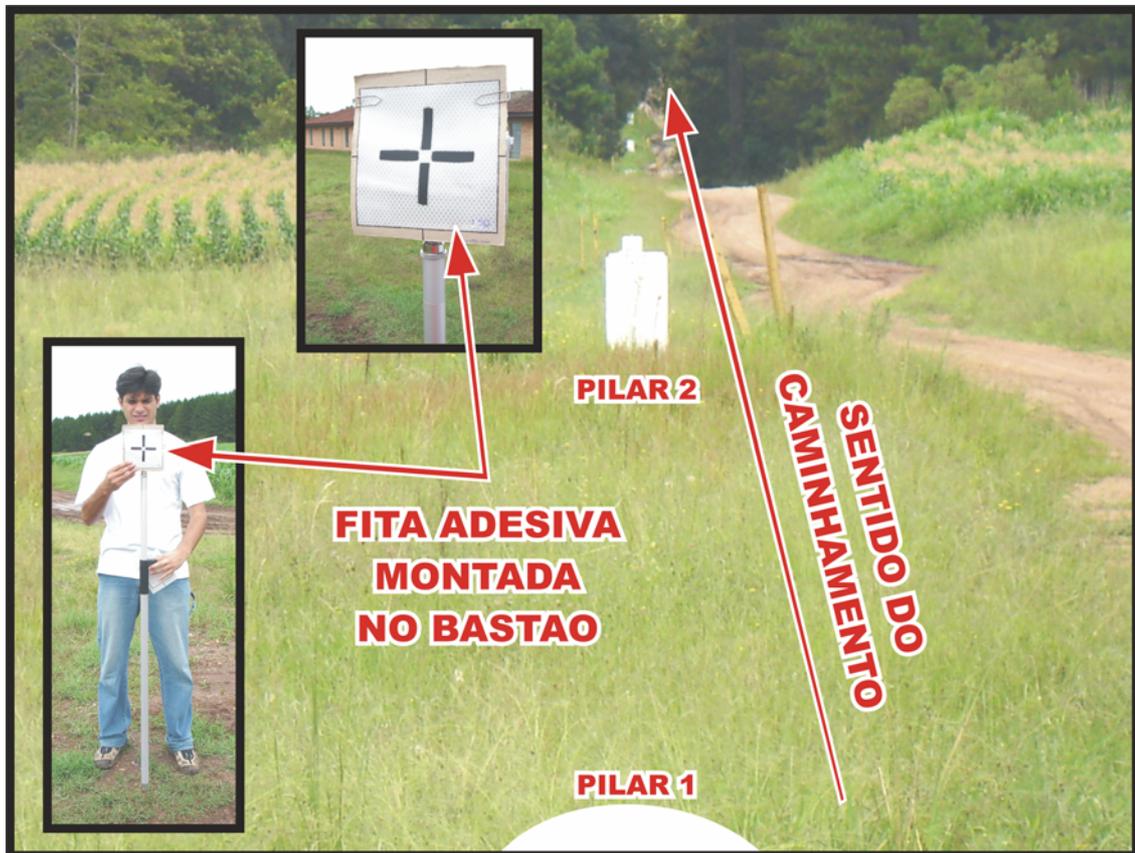
FIGURA 24 - FITAS ADESIVAS UTILIZADAS (EM MILÍMETROS)



Com a estação total instalada sobre o pilar P1 foram coletadas medidas de distâncias com as fitas adesivas nos seus diversos tamanhos ao longo da estrada que

acompanha a base linear, estas foram montadas sobre um bastão para que fosse possível o rápido deslocamento (figura 25).

FIGURA 25 – MONTAGEM DAS FITAS SOBRE O BASTÃO E LOCAL DO EXPERIMENTO



As dimensões das fitas adesivas empregadas neste experimento são as seguintes (Quadro 9):

QUADRO 9 – RELAÇÃO DAS FITAS REFLETORAS UTILIZADAS

	Dimensões (mm)	Área de Contato da Fita (mm <sup>2</sup> )
Modelo 01	20 x 20	400
Modelo 02	40 x 40	1.600
Modelo 03	60 x 60	3.600
Modelo 04	80 x 80	6.400
Modelo 05	100 x 100	10.000
Modelo 06	150 x 150	22.500

O quadro 10 mostra os resultados obtidos neste experimento.

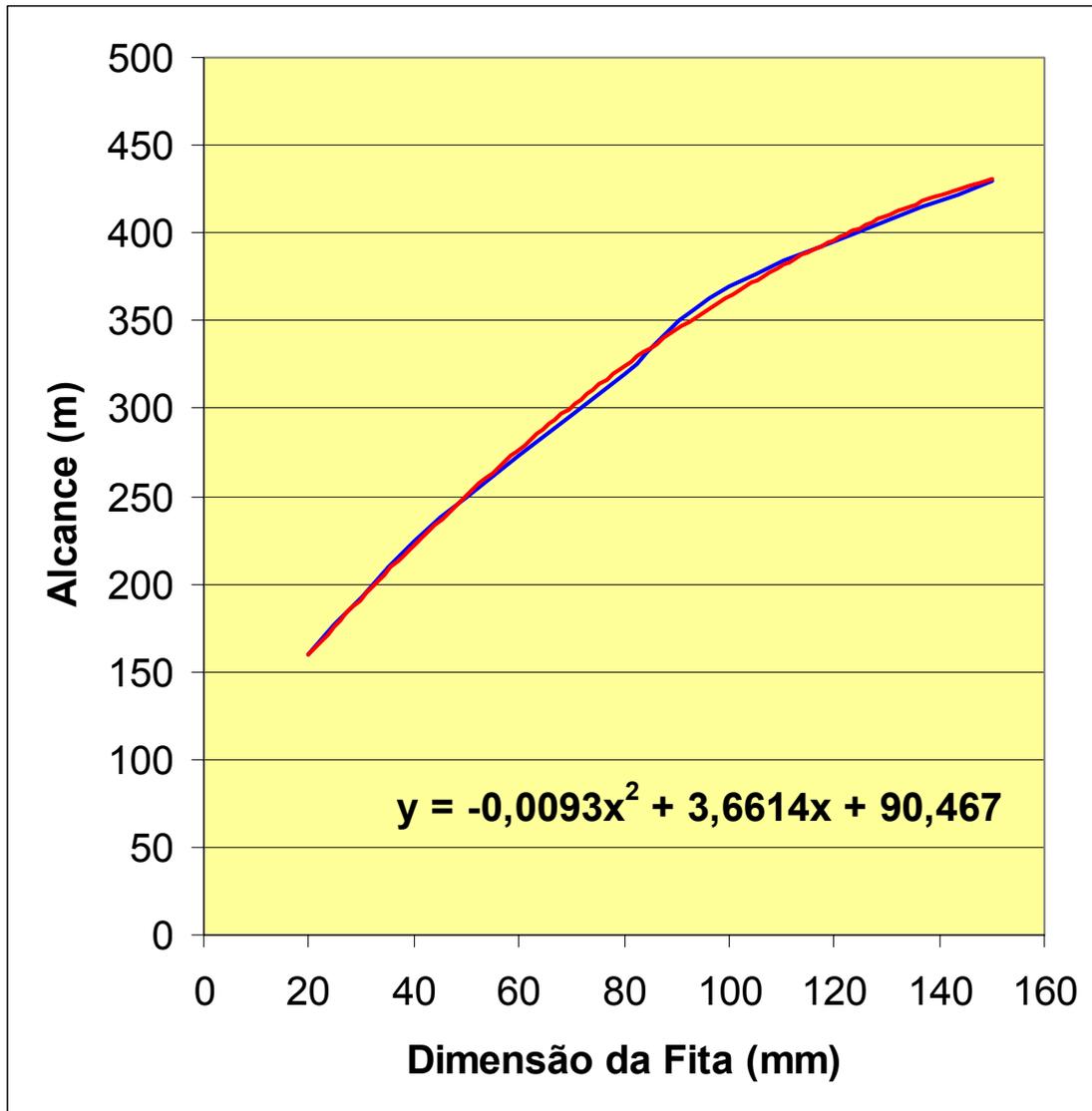
QUADRO 10 – RELAÇÃO ENTRE O TAMANHO DA FITA ADESIVA E O ALCANCE MÁXIMO OBTIDO

FITA ADESIVA		ELTA S20	TCRA IR
Dimensão (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Alcance (m)	
20 x 20	400	160	160
40 x 40	1600	225	220
60 x 60	3600	273	260
80 x 80	6400	320	280
100 x 100	10000	370	315
150 x 150	22500	430	385

Este estudo foi conduzido com o objetivo de determinar qual a relação entre o tamanho de alvo e a distância máxima de medida. No quadro 10 são apresentados os resultados, obtidos com as estações totais ELTA S20 e a TCRA 1205.

Com este experimento foi possível montar em gráfico (alcance de medida X tamanho do alvo) e a partir deste, gerar uma equação que representa a variação da dimensão do refletor em função da distância medida. O gráfico 1 mostra a equação da fita adesiva quando utilizou-se a estação total ELTA S20.

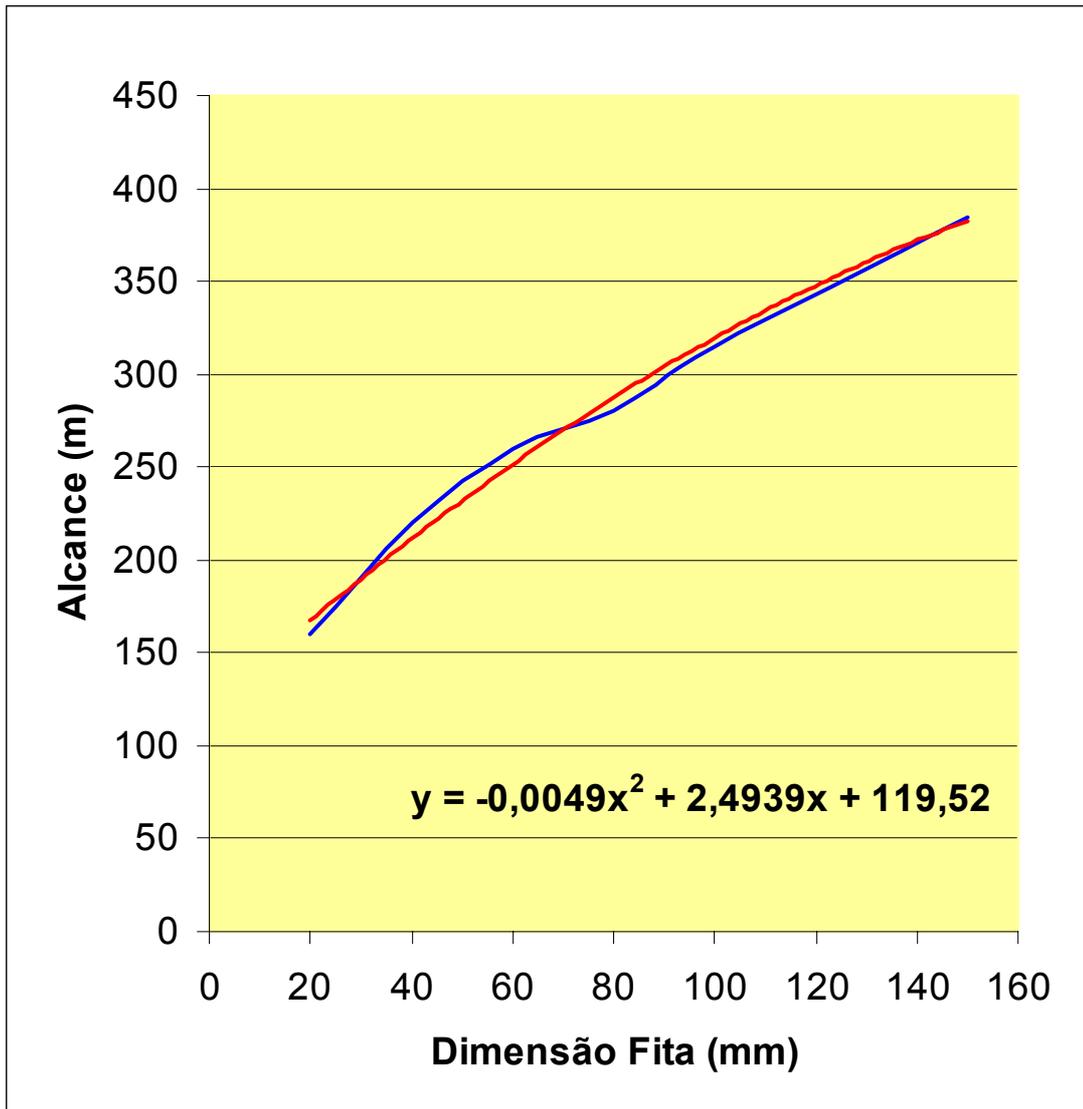
GRÁFICO 1 – EQUAÇÃO DA FITA ADESIVA PARA A ELTA S20



O gráfico 1 representa a equação do refletor em forma de fita adesiva quando ela é utilizada em conjunto com a estação total ELTA S20. A linha azul representa os valores obtidos para os diferentes tamanhos de fitas adesivas, já a linha em vermelho representa o polinômio de segundo grau que melhor se ajusta para os valores encontrados.

O gráfico 2 mostra a equação da fita adesiva quando utilizou-se a estação total Leica TCRA 1205.

GRÁFICO 2 – EQUAÇÃO DA FITA ADESIVA PARA A LEICA TCRA 1205



O gráfico 2 representa a equação da fita adesiva quando ela é utilizada em conjunto com a estação total Leica TCRA 1205. Da mesma forma a linha azul representa os valores obtidos para os diferentes tamanhos de fitas adesivas, já a linha em vermelho representa o polinômio de segundo grau que melhor se ajusta para os valores encontrados.

Para testar as equações geradas para cada equipamento, simulou-se um exemplo para a determinação da dimensão da fita adesiva quando se deseja utilizá-la em uma distância de 350 metros.

Para a equação (14) gerada para a utilização com a ELTA S20 (esta equação

foi gerada a partir da equação obtida com os dados levantados em campo):

$$Y = -0,0093.X^2 + 3,6614.X + 90,467 \quad (14)$$

$$350 = -0,0093.X^2 + 3,6614.X + 90,467$$

$$X \approx 90 \text{ mm x } 90 \text{ mm}$$

O mesmo procedimento foi aplicado para os dados levantados com a Estação Total TCRA 1205.

$$Y = -0,0049.X^2 + 2,4939.X + 119,52 \quad (15)$$

$$350 = -0,0049.X^2 + 2,4939.X + 119,52$$

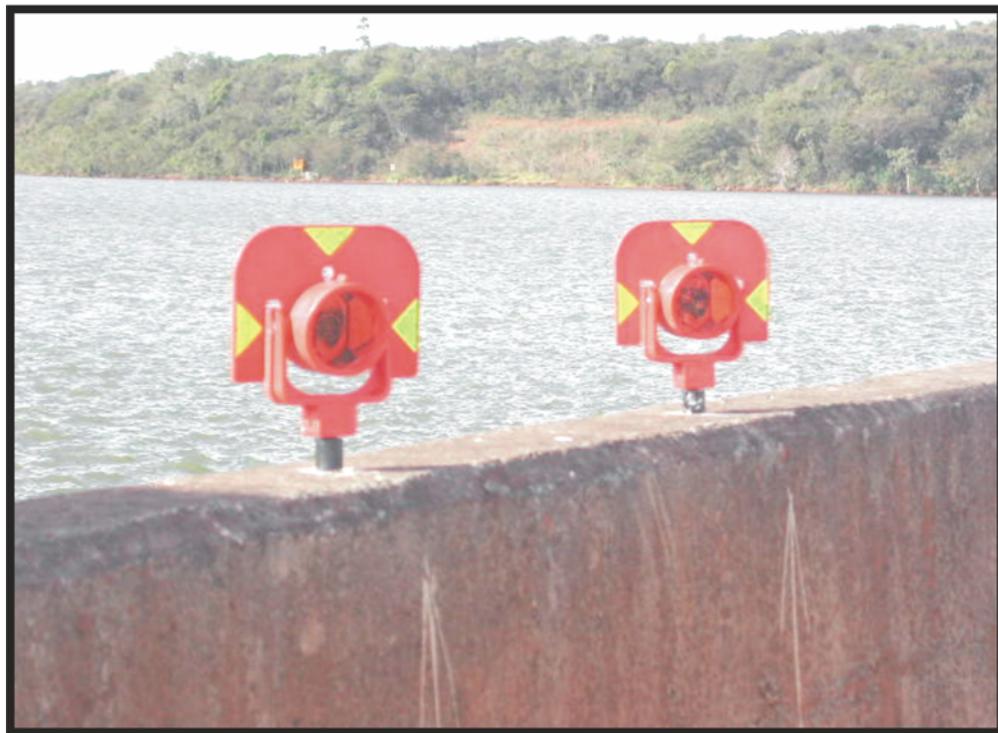
$$X \approx 120 \text{ mm x } 120 \text{ mm}$$

Com estes valores calculados é possível aplicá-los aos respectivos gráficos, atestando que a equação está correta e pode ser empregada para a determinação das dimensões dos refletores em forma de fita adesiva em função da distância entre o instrumento de medida e o alvo que se deseja medir.

## 4 APLICAÇÃO DOS REFLETORES NO MONITORAMENTO DE DESLOCAMENTOS DE ESTRUTURAS

Considerando que o monitoramento de uma estrutura (prédio, ponte, barragem, etc.) envolve o posicionamento de vários alvos sobre a mesma (Figura 26), a utilização de fitas reduz de uma forma expressiva o custo com instrumentos, uma vez que esta tem um custo em torno de 10% do valor do prisma de vidro.

FIGURA 26 – EXEMPLO DE ALVOS MONTADOS SOBRE A ESTRUTURA DE UMA BARRAGEM



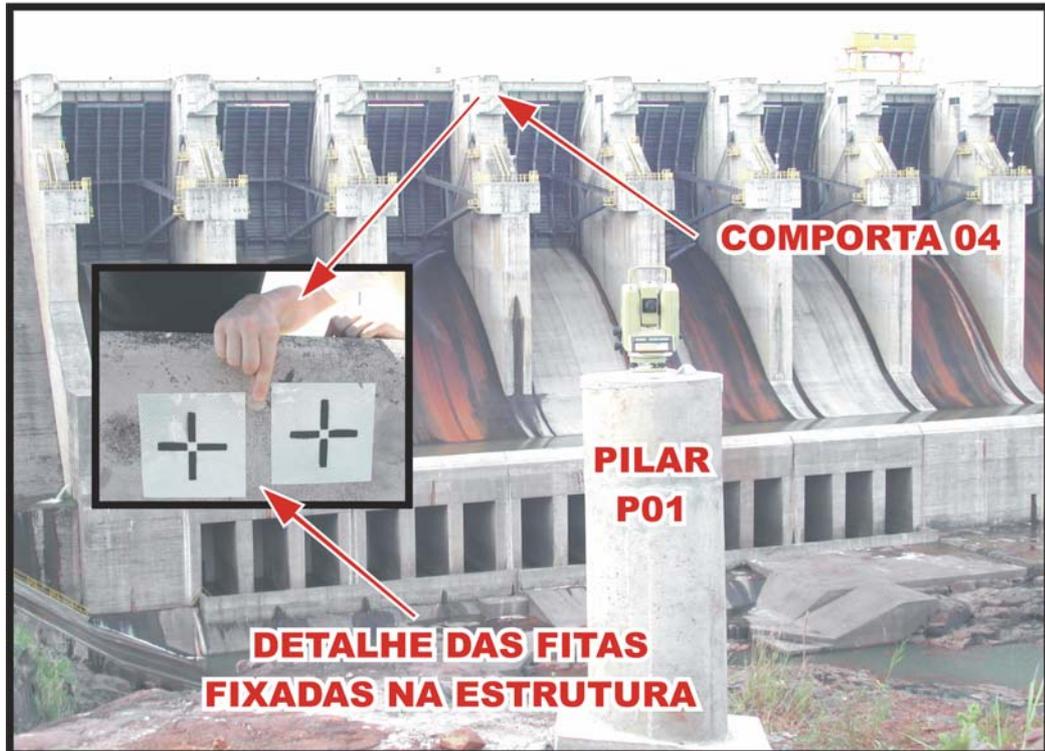
### 4.1 DURABILIDADE DA FITA ADESIVA

Neste item foi abordada a utilização da fita refletora adesiva quando fixada junto a uma estrutura, observando-se a durabilidade das mesmas quando expostas às intempéries.

A estrutura escolhida para observar a durabilidade da mesma, quando exposta às variações sazonais foi a comporta 04 da Usina Hidroelétrica de Salto Caxias, onde as mesmas foram fixadas (Figura 27). Estas foram instaladas no dia

11/12/2003, porém antes de fixá-las, a estrutura foi limpa utilizando escova de aço, água e sabão, para remover as fuligens aderidas ao concreto com o passar do tempo.

FIGURA 27 – FITAS REFLETORAS ADESIVAS FIXADAS NA COMPORTA 4 DA USINA



A fixação da fita adesiva seguiu a recomendação do fabricante, que consiste em (3M, 2003):

- *A aplicação sobre a superfície a uma temperatura mínima de 18° C;*
- *Utilização de um vaporizador contendo uma mistura de 99 % de água e 1 % de detergente suave. Esta mistura deve ser aspergida sobre a superfície do substrato de modo à formar uma fina camada de água;*
- *Remover cerca de 50 % da película siliconada protetora do adesivo de uma das extremidades da fita, expondo o adesivo e posicionando cuidadosamente a fita sobre o substrato.*
- *Com o auxílio de um rolete de borracha ou de uma espátula, “roletar” ou “espatular” a fita à medida que a película siliconizada for sendo retirado. Recomenda-se que a ação de roletar ou espatular*

*no sentido da largura da película, seja sempre vigorosa, começando do centro para as bordas. Desta forma, a água será removida e a fita deverá aderir de forma definitiva ao substrato.*

Para a limpeza, de acordo com o fabricante, as fitas adesivas deverão ser molhadas antes com bastante água, para em seguida serem esfregadas com uma esponja macia ou com uma vassoura de pelos macios embebidos com uma solução detergente suave. Evitar esfregar com muita força para não riscar o sinal impresso (alvo para a pontaria dos fios de retículo da estação total), em seguida enxaguar com bastante água. Não utilizar solventes na limpeza das fitas (3M, 2003).

As fitas adesivas fixadas na comporta 4 da Usina de Salto Caxias foram acompanhadas através de fotografias tiradas em cada visita no local. Até o dia 17/11/2004, as fitas estavam em perfeitas condições de fixação, em aproximadamente 1 ano em que estão aderidas a estrutura, a única observação a ser feita sobre as mesmas é que um pequeno pedaço delas foi arrancado durante este período. As figuras 28, 29, 30 e 31 mostram o acompanhamento destas fitas adesivas em diferentes épocas.

FIGURA 28 – ACOMPANHAMENTO NO DIA 11/12/2003 - DATA EM QUE AS FITAS FORAM FIXADAS NA ESTRUTURA



FIGURA 29 – ACOMPANHAMENTO NO DIA 22/04/2004 – APROXIMADAMENTE 4 MESES APÓS FIXAÇÃO NA ESTRUTURA

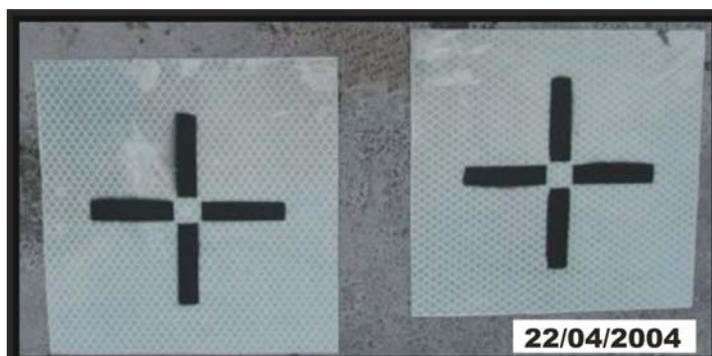


FIGURA 30 – ACOMPANHAMENTO NO DIA 19/08/2004 – APROXIMADAMENTE 8 MESES APÓS FIXAÇÃO NA ESTRUTURA

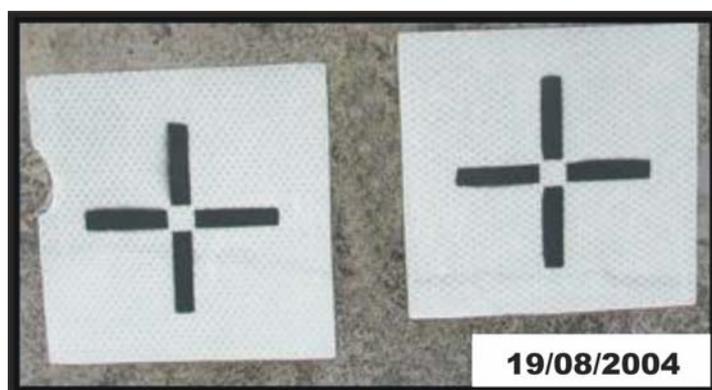
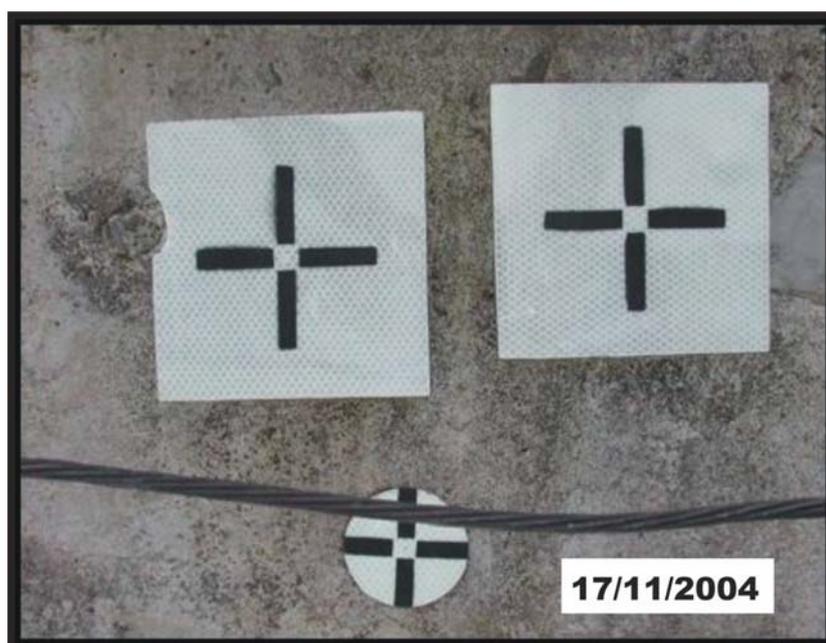


FIGURA 31 – ACOMPANHAMENTO NO DIA 17/11/2004 – APROXIMADAMENTE 12 MESES APÓS FIXAÇÃO NA ESTRUTURA



## 4.2 REPETIBILIDADE DAS MEDIDAS

Este experimento tem a finalidade de verificar o padrão de repetibilidade que os refletores possuem quando empregados em monitoramento de deslocamentos. O ponto escolhido para este experimento foi o Dispositivo para Centragem Forçada de Alvos (DCFA) localizado na comporta C 07 da Usina Hidroelétrica de Salto Caxias (Figura 32). A estação total foi posicionada sobre o pilar P1, que é um pilar de centragem forçada pertencente a rede de monitoramento geodésico da barragem.

FIGURA 32 – LOCALIZAÇÃO DA COMPORTA C07



Foi realizado uma série de observações de distâncias para este ponto, utilizando os três prismas disponíveis, e sem alterar a pontaria da estação total empregada, a ELTA S20.

O quadro 11 mostra os valores observados, valendo ressaltar que estas distâncias foram corrigidas dos efeitos ambientais (temperatura, pressão e umidade). Com este quadro procurou-se verificar a dispersão das distâncias em relação a um valor médio.

QUADRO 11 –VALORES OBSERVADOS NO DCFA C 07

PONTO OBSERVADO	ESTAÇÃO ELTA S20		
	DISTÂNCIAS EM METROS		
	PRISMA (m)	ACRILICO (m)	FITA (m)
C 07	295,375	295,379	295,377
	295,375	295,379	295,377
	295,375	295,379	295,376
	295,375	295,379	295,377
	295,375	295,379	295,376
	295,375	295,379	295,374
	295,375	295,379	295,375
	295,375	295,378	295,375
	295,374	295,379	295,377
	295,375	295,380	295,375
	295,375	295,380	295,372
	295,375	295,379	295,376
	295,375	295,380	295,375
	295,374	295,379	295,373
	295,375	295,379	295,373
	295,375	295,380	295,373
	295,375	295,379	295,373
	295,375	295,380	295,376
	295,375	295,380	295,376
	295,375	295,379	295,378
	295,375	295,379	295,373
	295,375	295,379	295,374
	295,375	295,379	295,376
	295,375	295,379	295,376
	295,374	295,379	295,374
	295,375	295,380	295,376
295,375	295,379	295,374	
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>295,375</b>	<b>295,379</b>	<b>295,375</b>
<b>σ (mm)</b>	<b>0,32</b>	<b>0,51</b>	<b>1,59</b>

Como é possível verificar no quadro 11, os valores observados da distância para cada um dos refletores testados divergem na ordem do milímetro, sendo que estas variações nas distâncias estão dentro da precisão nominal do instrumento utilizado.

A partir da equação 16 é possível calcular a incerteza da distância medida em função da precisão do MED.

$$I = \left( \frac{Dm \cdot PN(ppm)}{1000} \right) + PF \quad (16)$$

onde:

- $I$  é a incerteza da distância medida;
- $Dm$  é a distância medida;
- $PN$  é a precisão nominal do instrumento (em ppm);
- $PF$  é a parte fixa da precisão do instrumento (em milímetros).

Aplicando os valores de precisão da Estação Total ELTA S20 (3mm + 3ppm) na equação 17, chega-se a seguinte incerteza de medição.

$$I = \left( \frac{295,375 \cdot 3}{1000} \right) + 3 \text{ mm} \quad (17)$$

$$I = 3,886 \text{ mm}$$

Portanto, para a distância medida de 295,375 metros (valor médio obtido no experimento) a incerteza de medida é de  $\pm 3,886$  mm. Aplicando-se os valores das constantes dos prismas, para a distância obtida com a fita adesiva e com o refletor em acrílico, percebe-se que a variação na distância está dentro da precisão nominal do instrumento.

#### 4.3 OBTENÇÃO DAS COORDENADAS DOS ALVOS

Esta etapa consistiu em realizar os procedimentos necessários para a determinação de coordenadas de pontos utilizando diferentes refletores para a obtenção da distância, empregando a estação total ELTA S20 (Figura 33), um prisma de precisão GPH1P da WILD, um refletor em acrílico e um refletor em forma de fita adesiva (Figura 34).

FIGURA 33 - ESTAÇÃO TOTAL ELTA S20 POINT



FIGURA 34 – FITA REFLETORA ADESIVA, PRISMA DE PRECISÃO E REFLETOR DE ACRÍLICO, MONTADOS SOBRE SUAS BASES.

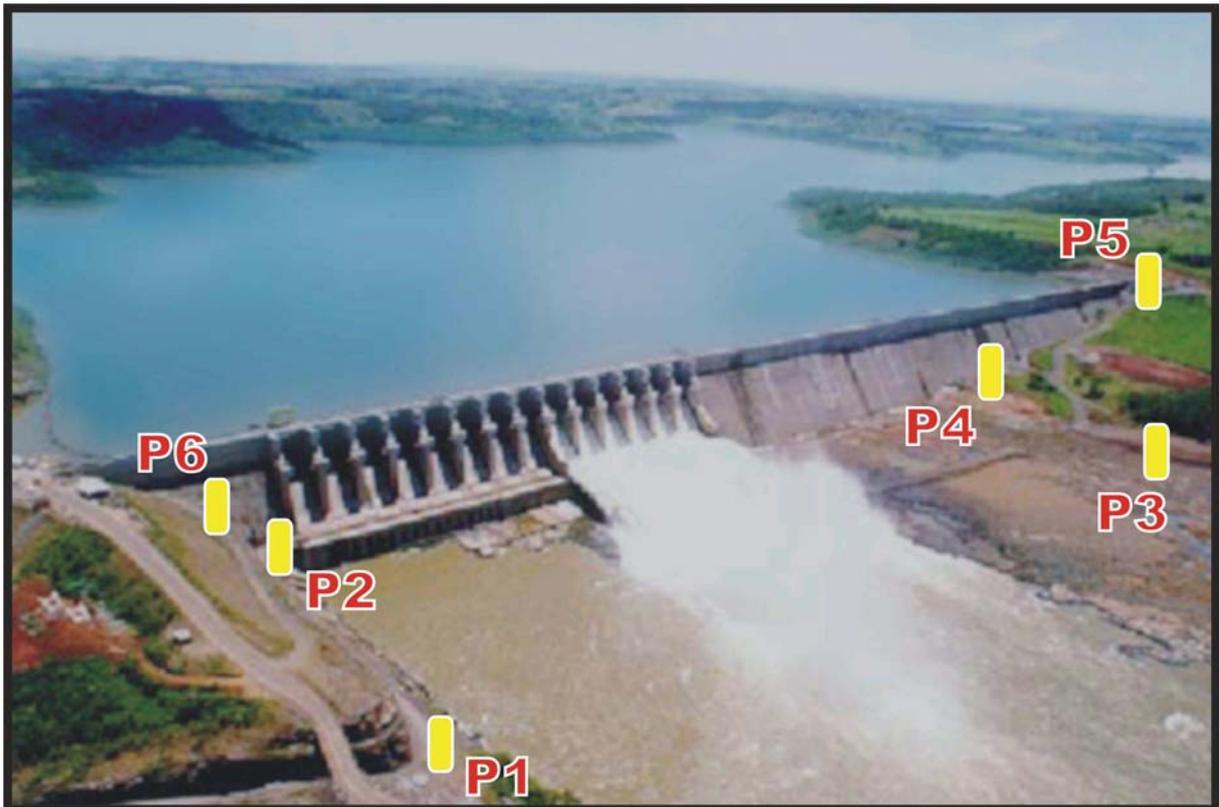


O Monitoramento foi realizado em duas épocas diferentes (22/04/2004 e 19/08/2004). Desta forma, foi possível calcular a variação das coordenadas dos alvos entre as duas campanhas utilizando os três modelos de refletor.

#### 4.3.1 Metodologia aplicada

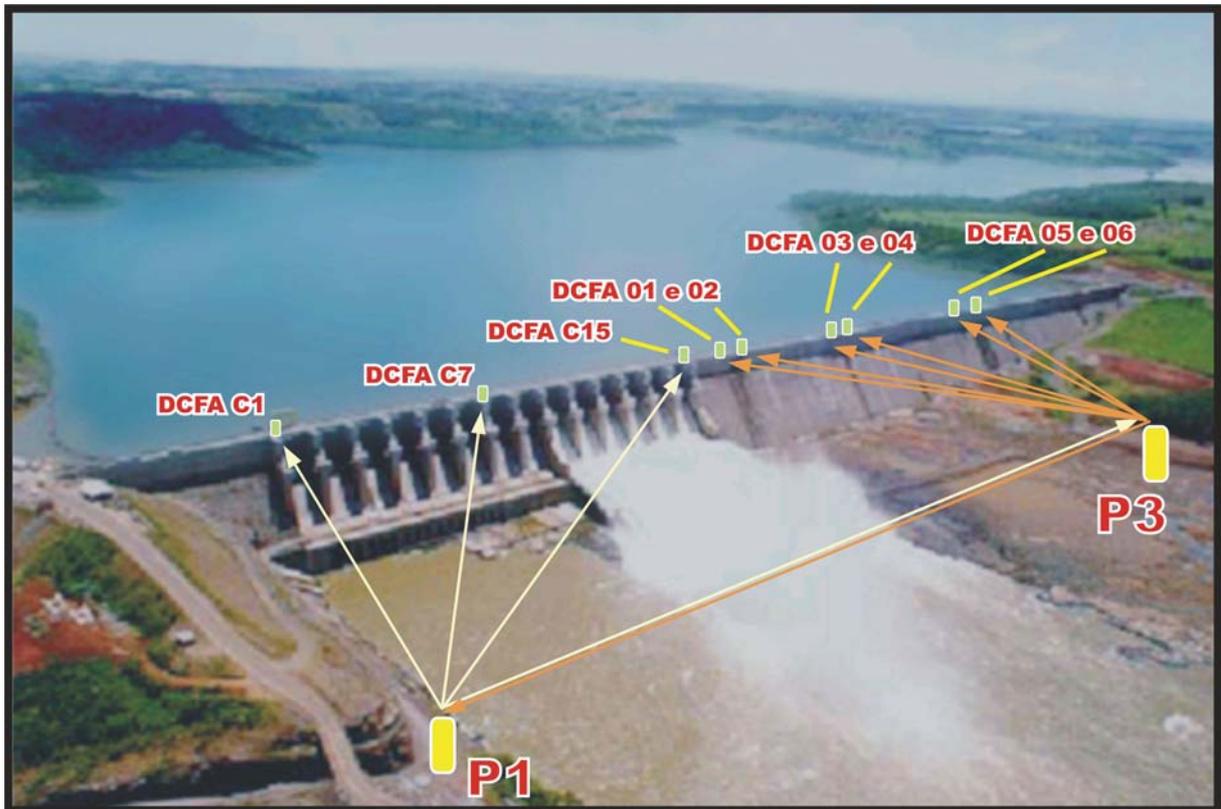
À jusante da barragem existe uma rede de monitoramento geodésico constituída de 6 pilares (Figura 35) com centragem forçada, dispositivo que mantém a posição do equipamento com uma precisão de 0,1 mm (NADAL, 2000).

FIGURA 35 – PILARES QUE COMPÕE A REDE DE MONITORAMENTO GEODÉSICO DA BARRAGEM



A partir dos pilares P1 e P3 desta rede, foram realizadas medições (obtenção de direções e distâncias) de pontos de interesse sobre o corpo da barragem apresentados na figura 36.

FIGURA 36 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS QUE SERÃO MONITORADOS AO LONGO DO CORPO DA BARRAGEM



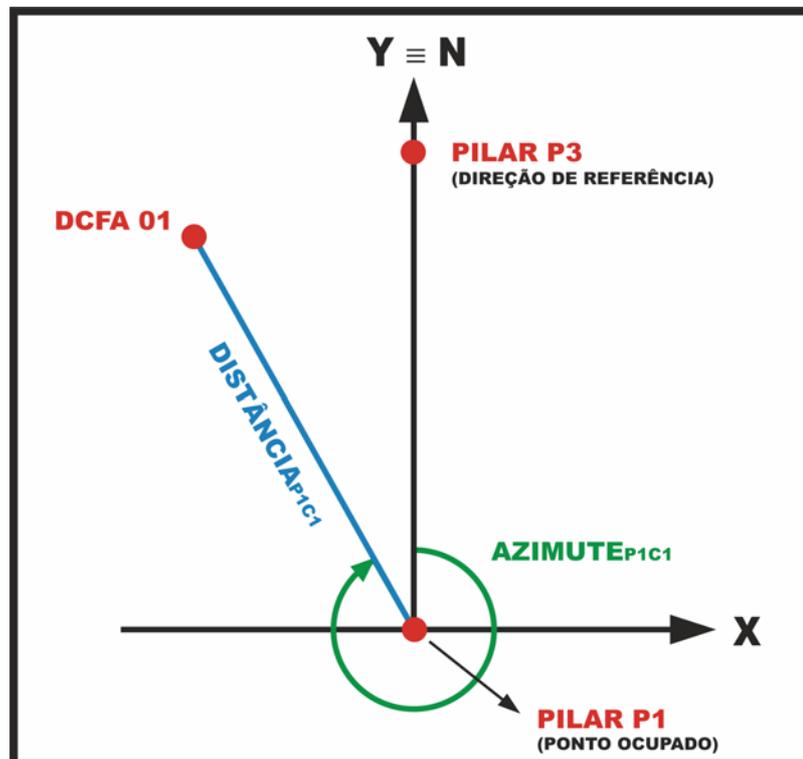
Nos pontos de interesse existem Dispositivos para a Centragem Forçada de Alvos (DCFA) que estão engastados sobre a estrutura (Figura 37), permitindo assim a instalação de prismas refletores para a determinação das distâncias e das direções com a estação total (MARTINI; FAGGION; VEIGA, 2004). Nesta fase do trabalho foram coletadas informações sobre 9 DCFAs.

FIGURA 37 – DCFA ENGASTADO NO CORPO DA BARRAGEM



O procedimento para a determinação das coordenadas dos pontos baseou-se na medida de um ângulo em relação a uma direção conhecida e da distância entre o ponto de apoio e o ponto observado (Figura 38) trabalhando-se, portanto, com o método das coordenadas polares.

FIGURA 38 - PROCESSO DE IRRADIAÇÃO.



Considerando que o alinhamento  $P_1P_3$  coincide com o eixo Y do sistema estabelecido pode-se chegar nas seguintes equações para a determinação das coordenadas de pontos:

$$X_{C1} = X_{P1} + D_{P1C1} \cdot \text{sen } Az_{P1C1} \quad (18)$$

$$Y_{C1} = Y_{P1} + D_{P1C1} \cdot \text{cos } Az_{P1C1} \quad (19)$$

onde:

- $X_{P1}$  é a coordenada X do Pilar 1;
- $Y_{P1}$  é a coordenada Y do Pilar 1;
- $X_{C1}$  é a coordenada X do ponto C1;
- $Y_{C1}$  é a coordenada Y do ponto C1;
- $D_{P1C1}$  é a distância horizontal entre o Pilar 1 e o ponto C1;
- $Az_{P1C1}$  é o azimute entre da direção  $P_1C_1$ .

Com a estação total ELTA S20 instalada sobre o pilar P1, localizado na margem direita da barragem, foi efetuada a pontaria para um alvo localizado sobre o pilar P3, a fim de se orientar o instrumento.

Com o prisma de precisão sobre o primeiro DCFA a ser medido (denominado de C1), efetuam-se três séries de medições de direções horizontais e ângulos zenitais, além das distâncias, fazendo a pontaria com cuidado, a fim de minimizar possíveis erros de pontaria. Para cada medida de distância efetuada, foram coletadas as informações ambientais (temperatura, pressão e umidade relativa) para que posteriormente as distâncias fossem corrigidas destes efeitos.

Realizadas as leituras sobre o prisma de precisão, o mesmo era substituído pelo refletor de acrílico, sem mexer na base. Com este, efetua-se o mesmo procedimento descrito anteriormente. A seguir o refletor de acrílico é substituído pelo refletor em forma de fita adesiva e o procedimento é novamente realizado. Esta mesma metodologia aplica-se para os pontos C7 e C15.

Concluído o experimento com a estação total no Pilar P1, o experimento foi

repetido com o equipamento no Pilar P3, localizado na margem esquerda da barragem, agora, observando os pontos DCFA 01, DCFA 02, DCFA 03, DCFA 04, DCFA 05 e DCFA 06.

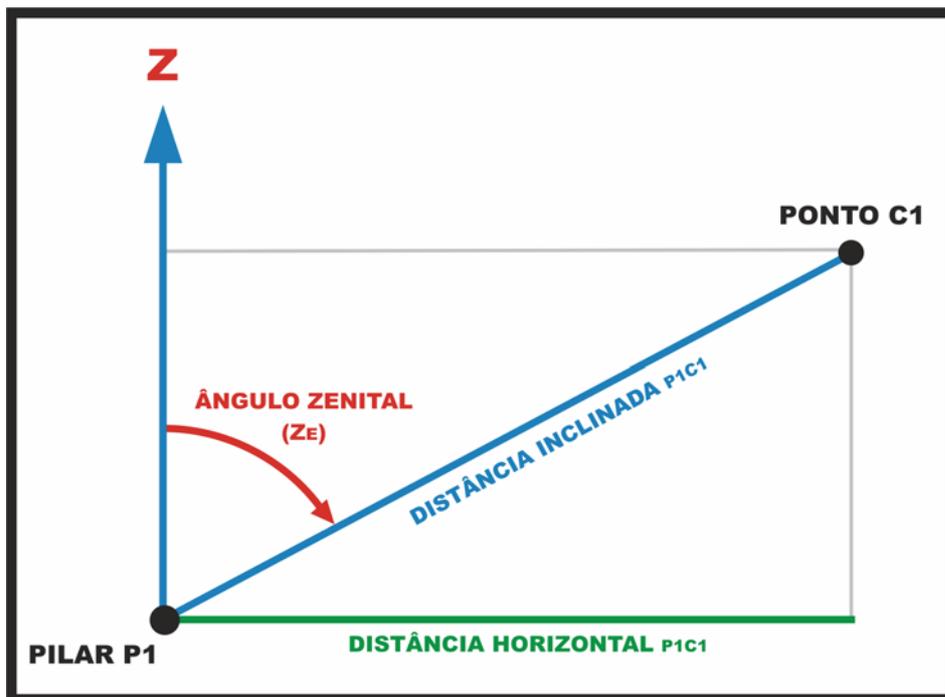
Concluída a etapa da coleta dos dados, e já com os valores das distâncias corrigidas dos efeitos ambientais, foi necessário realizar a redução destas distâncias ao horizonte (figura 39), utilizando a seguinte fórmula (Equação 20):

$$DH = DI . \text{sen } Ze \quad (20)$$

onde:

- $DI$  é a distância inclinada;
- $DH$  é a distância horizontal;
- $Ze$  é o ângulo zenital.

FIGURA 39 – OBTENÇÃO DA DISTÂNCIA HORIZONTAL



Finalmente, de posse das distâncias corrigidas e os ângulos medidos (ângulos horizontais e zenitais), realiza-se o cálculo das coordenadas dos pontos situados sobre a barragem utilizando como origem às coordenadas do pilar P3 ( $X = 1.000$  m,  $Y = 1.581,845$  m) para os pontos DCFA 01, DCFA 02, DCFA 03, DCFA 04, DCFA 05 e

DCFA 06 (Figura 40). Para os pontos C1, C7 e C15, as coordenadas de origem são as do pilar P1 ( $X = 1.000$  m,  $Y = 1.000$  m), e o azimute de partida, a direção entre os pilares P1 e P3.

FIGURA 40 – GEOMETRIA DAS OBSERVAÇÕES DOS PONTOS SOBRE A BARRAGEM



Cabe ressaltar que neste trabalho não foram consideradas as coordenadas Z dos pontos monitorados devido ao problema de diferença da altura em que os refletores foram montados nas duas campanhas.

O quadro 12 mostra os valores das coordenadas dos pontos obtidas com a estação total ELTA S20 nas duas campanhas realizadas.

QUADRO 12 – COORDENADAS OBTIDAS COM A ESTAÇÃO TOTAL ELTA S20

ELTA S20							
ESTAÇÃO OCUPADA	PONTO VISADO	22/4/2004		19/8/2004		DIFERENÇA	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (mm)	Y (mm)
PILAR P1	C1	746,6744	1038,2539	746,6698	1038,2549	4,6	-1,0
		746,6740	1038,2548	746,6697	1038,2496	4,3	5,2
	PRISMA	746,6746	1038,2543	746,6699	1038,2528	4,7	1,5
	MÉDIA (m)	<b>746,6744</b>	<b>1038,2543</b>	<b>746,6698</b>	<b>1038,2524</b>	<b>4,6</b>	<b>1,9</b>
	$\sigma$ (mm)	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>2,7</b>	<b>0,2</b>	<b>3,1</b>
	C1	746,6719	1038,2531	746,6674	1038,2503	4,5	2,7
		746,6707	1038,2516	746,6680	1038,2511	2,8	0,5
	ACRÍLICO	746,6717	1038,2523	746,6672	1038,2489	4,5	3,3
	MÉDIA (m)	<b>746,6714</b>	<b>1038,2523</b>	<b>746,6675</b>	<b>1038,2501</b>	<b>3,9</b>	<b>2,2</b>
	$\sigma$ (mm)	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>
	C1	746,6702	1038,2528	746,6645	1038,2495	5,7	3,2
		746,6675	1038,2552	746,6640	1038,2529	3,5	2,4
	FITA	746,6687	1038,2534	746,6639	1038,2538	4,8	-0,4
	MÉDIA (m)	<b>746,6688</b>	<b>1038,2538</b>	<b>746,6641</b>	<b>1038,2521</b>	<b>4,7</b>	<b>1,7</b>
	$\sigma$ (mm)	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>0,3</b>	<b>2,3</b>	<b>1,1</b>	<b>1,9</b>
	C7	751,2104	1158,4919	751,2034	1158,4925	7,0	-0,5
		751,2099	1158,4913	751,2020	1158,4908	7,9	0,5
	PRISMA	751,2097	1158,4922	751,2026	1158,4913	7,1	1,0
	MÉDIA (m)	<b>751,2100</b>	<b>1158,4918</b>	<b>751,2027</b>	<b>1158,4915</b>	<b>7,3</b>	<b>0,3</b>
	$\sigma$ (mm)	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>
	C7	751,2082	1158,4932	751,2030	1158,4920	5,2	1,2
		751,2078	1158,4926	751,2037	1158,4931	4,1	-0,5
	ACRÍLICO	751,2081	1158,4917	751,2028	1158,4936	5,3	-1,9
	MÉDIA (m)	<b>751,2080</b>	<b>1158,4925</b>	<b>751,2031</b>	<b>1158,4929</b>	<b>4,9</b>	<b>-0,4</b>
	$\sigma$ (mm)	<b>0,2</b>	<b>0,7</b>	<b>0,5</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>1,6</b>
	C7	751,2129	1158,4903	751,2035	1158,4916	9,4	-1,3
		751,2072	1158,4916	751,2032	1158,4969	4,0	-5,3
	FITA	751,2088	1158,4897	751,2019	1158,4902	6,9	-0,5
	MÉDIA (m)	<b>751,2096</b>	<b>1158,4905</b>	<b>751,2028</b>	<b>1158,4929</b>	<b>6,8</b>	<b>-2,4</b>
	$\sigma$ (mm)	<b>2,9</b>	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>3,5</b>	<b>2,7</b>	<b>2,6</b>
	C15	751,4054	1324,9313	751,3950	1324,9401	10,4	-8,9
		751,4061	1324,9320	751,3953	1324,9413	10,8	-9,3
	PRISMA	751,4061	1324,9318	751,3974	1324,9418	8,8	-10,0
	MÉDIA (m)	<b>751,4059</b>	<b>1324,9317</b>	<b>751,3959</b>	<b>1324,9410</b>	<b>10,0</b>	<b>-9,4</b>
	$\sigma$ (mm)	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>1,3</b>	<b>0,8</b>	<b>1,1</b>	<b>0,6</b>
	C15	751,4012	1324,9321	751,3992	1324,9440	2,0	-11,9
		751,4000	1324,9305	751,3947	1324,9437	5,3	-13,2
	ACRÍLICO	751,4019	1324,9328	751,3991	1324,9441	2,8	-11,3
	MÉDIA (m)	<b>751,4010</b>	<b>1324,9318</b>	<b>751,3977</b>	<b>1324,9439</b>	<b>3,4</b>	<b>-12,1</b>
	$\sigma$ (mm)	<b>0,9</b>	<b>1,2</b>	<b>2,6</b>	<b>0,2</b>	<b>1,7</b>	<b>1,0</b>
C15	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—	—	—	—	

	FITA	—	—	—	—	—	—
	MÉDIA (m)	—	—	—	—	—	—
	$\sigma$ (mm)	—	—	—	—	—	—
PILAR P3	DCFA 01	744,1033	1335,3485	744,0990	1335,3626	-4,3	14,1
		744,1032	1335,3476	744,1007	1335,3609	-2,5	13,3
	PRISMA	744,1032	1335,3479	744,0974	1335,3653	-5,8	17,3
	MÉDIA (m)	<b>744,1032</b>	<b>1335,3480</b>	<b>744,0990</b>	<b>1335,3629</b>	<b>-4,2</b>	<b>14,9</b>
	$\sigma$ (mm)	<b>0,0</b>	<b>0,4</b>	<b>1,7</b>	<b>2,2</b>	<b>1,7</b>	<b>2,1</b>
	DCFA 01	744,0996	1335,3499	744,0991	1335,3653	-0,4	15,4
		744,1022	1335,3471	744,0987	1335,3650	-3,6	17,9
	ACRÍLICO	744,1026	1335,3471	744,0966	1335,3659	-6,0	18,9
	MÉDIA (m)	<b>744,1015</b>	<b>1335,3480</b>	<b>744,0981</b>	<b>1335,3654</b>	<b>-3,3</b>	<b>17,4</b>
	$\sigma$ (mm)	<b>1,7</b>	<b>1,6</b>	<b>1,3</b>	<b>0,5</b>	<b>2,8</b>	<b>1,8</b>
	DCFA 01	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—
	FITA	—	—	—	—	—	—
	MÉDIA (m)	—	—	—	—	—	—
	$\sigma$ (mm)	—	—	—	—	—	—
	DCFA 02	744,1320	1337,5898	744,1317	1337,5998	-0,3	10,0
		744,1312	1337,5904	744,1293	1337,6016	-1,9	11,2
	PRISMA	744,1315	1337,5889	744,1297	1337,6018	-1,8	13,0
	MÉDIA (m)	<b>744,1316</b>	<b>1337,5897</b>	<b>744,1303</b>	<b>1337,6011</b>	<b>-1,3</b>	<b>11,4</b>
	$\sigma$ (mm)	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>	<b>1,5</b>
	DCFA 02	744,1320	1337,5847	744,1257	1337,6014	-6,2	16,8
		744,1302	1337,5866	744,1227	1337,6073	-7,5	20,7
	ACRÍLICO	744,1286	1337,5880	744,1270	1337,6017	-1,6	13,7
	MÉDIA (m)	<b>744,1302</b>	<b>1337,5864</b>	<b>744,1251</b>	<b>1337,6035</b>	<b>-5,1</b>	<b>17,0</b>
	$\sigma$ (mm)	<b>1,7</b>	<b>1,7</b>	<b>2,2</b>	<b>3,3</b>	<b>3,1</b>	<b>3,5</b>
	DCFA 02	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—
	FITA	—	—	—	—	—	—
	MÉDIA (m)	—	—	—	—	—	—
	$\sigma$ (mm)	—	—	—	—	—	—
	DCFA 03	746,2351	1466,4401	746,2350	1466,4517	-0,1	11,6
		746,2360	1466,4379	746,2353	1466,4492	-0,7	11,3
PRISMA	746,2351	1466,4399	746,2355	1466,4496	0,3	9,7	
MÉDIA (m)	<b>746,2354</b>	<b>1466,4393</b>	<b>746,2352</b>	<b>1466,4502</b>	<b>-0,2</b>	<b>10,9</b>	
$\sigma$ (mm)	<b>0,5</b>	<b>1,2</b>	<b>0,2</b>	<b>1,3</b>	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>	
DCFA 03	746,2328	1466,4363	746,2331	1466,4501	0,3	13,7	
	746,2324	1466,4372	746,2321	1466,4515	-0,3	14,3	
ACRÍLICO	746,2323	1466,4366	746,2339	1466,4504	1,5	13,8	
MÉDIA (m)	<b>746,2325</b>	<b>1466,4367</b>	<b>746,2330</b>	<b>1466,4507</b>	<b>0,5</b>	<b>14,0</b>	
$\sigma$ (mm)	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>0,3</b>	
DCFA 03	746,23754	1466,43982	—	—	—	—	
	746,23634	1466,44031	—	—	—	—	
FITA	746,23634	1466,44031	—	—	—	—	
MÉDIA (m)	<b>746,23674</b>	<b>1466,44014</b>	—	—	—	—	
$\sigma$ (mm)	<b>0,7</b>	<b>0,3</b>	—	—	—	—	
DCFA 04	746,2819	1469,2581	746,2853	1469,2673	3,5	9,3	
	746,2796	1469,2580	746,2848	1469,2667	5,2	8,6	

<b>PRISMA</b>	746,2770	1469,2616	746,2853	1469,2642	8,3	2,6
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>746,2795</b>	<b>1469,2592</b>	<b>746,2851</b>	<b>1469,2661</b>	<b>5,7</b>	<b>6,8</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>2,4</b>	<b>2,0</b>	<b>0,3</b>	<b>1,6</b>	<b>2,4</b>	<b>3,7</b>
<b>DCFA 04</b>	746,2766	1469,2566	746,2838	1469,2651	7,1	8,5
	746,2765	1469,2582	746,2824	1469,2664	5,9	8,2
<b>ACRÍLICO</b>	746,2770	1469,2542	746,2845	1469,2614	7,5	7,2
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>746,2767</b>	<b>1469,2563</b>	<b>746,2836</b>	<b>1469,2643</b>	<b>6,9</b>	<b>8,0</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,2</b>	<b>2,0</b>	<b>1,1</b>	<b>2,6</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>
<b>DCFA 04</b>	746,28019	1469,25463	746,2859	1469,2623	5,7	7,6
	746,27900	1469,25358	746,2817	1469,2625	2,7	8,9
<b>FITA</b>	746,27860	1469,25436	746,2820	1469,2658	3,4	11,4
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>746,27926</b>	<b>1469,25419</b>	<b>746,2832</b>	<b>1469,2635</b>	<b>3,9</b>	<b>9,3</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	<b>2,3</b>	<b>2,0</b>	<b>1,5</b>	<b>1,9</b>
<b>DCFA 05</b>	748,0631	1578,2968	748,0645	1578,2825	1,4	-14,2
	748,0626	1578,2940	748,0645	1578,2834	1,9	-10,6
<b>PRISMA</b>	748,0634	1578,2953	748,0637	1578,2841	0,3	-11,2
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>748,0630</b>	<b>1578,2953</b>	<b>748,0643</b>	<b>1578,2833</b>	<b>1,2</b>	<b>-12,0</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,4</b>	<b>1,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>1,9</b>
<b>DCFA 05</b>	748,0569	1578,2861	748,0606	1578,2872	3,8	1,1
	748,0570	1578,2875	748,0607	1578,2870	3,7	-0,5
<b>ACRÍLICO</b>	748,0569	1578,2864	748,0604	1578,2880	3,5	1,6
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>748,0569</b>	<b>1578,2867</b>	<b>748,0606</b>	<b>1578,2874</b>	<b>3,7</b>	<b>0,7</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,1</b>	<b>0,7</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>1,1</b>
<b>DCFA 05</b>	748,05677	1578,28542	748,0624	1578,2852	5,6	-0,2
	748,05723	1578,28152	748,0607	1578,2870	3,5	5,5
<b>FITA</b>	748,05611	1578,28279	748,0604	1578,2863	4,3	3,5
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>748,05670</b>	<b>1578,28324</b>	<b>748,0612</b>	<b>1578,2862</b>	<b>4,5</b>	<b>2,9</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,6</b>	<b>2,0</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>	<b>1,1</b>	<b>2,9</b>
<b>DCFA 06</b>	748,0656	1579,6095	748,0711	1579,6076	5,5	-1,9
	748,0662	1579,6102	748,0695	1579,6118	3,4	1,6
<b>PRISMA</b>	748,0651	1579,6080	748,0705	1579,6066	5,4	-1,3
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>748,0656</b>	<b>1579,6092</b>	<b>748,0704</b>	<b>1579,6087</b>	<b>4,8</b>	<b>-0,5</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,6</b>	<b>1,1</b>	<b>0,8</b>	<b>2,7</b>	<b>1,2</b>	<b>1,9</b>
<b>DCFA 06</b>	748,0609	1579,6063	748,0675	1579,6103	6,6	4,0
	748,0599	1579,6060	748,0686	1579,6068	8,8	0,8
<b>ACRÍLICO</b>	748,0602	1579,6061	748,0694	1579,6087	9,2	2,6
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>748,0603</b>	<b>1579,6061</b>	<b>748,0685</b>	<b>1579,6086</b>	<b>8,2</b>	<b>2,5</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,5</b>	<b>0,2</b>	<b>1,0</b>	<b>1,8</b>	<b>1,4</b>	<b>1,6</b>
<b>DCFA 06</b>	748,0595	1579,6039	748,0701	1579,6080	10,5	4,2
	748,0597	1579,6024	748,0671	1579,6086	7,3	6,3
<b>FITA</b>	748,0592	1579,6025	748,0668	1579,6083	7,6	5,8
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>748,0595</b>	<b>1579,6029</b>	<b>748,0680</b>	<b>1579,6083</b>	<b>8,5</b>	<b>5,4</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,8</b>	<b>1,8</b>	<b>0,3</b>	<b>1,8</b>	<b>1,1</b>

Pode-se observar no quadro 12, que os campos preenchidos por traços representam a impossibilidade de efetuar a medida da distância sobre os DCFA's desejados, este fato deve-se ao alcance máximo em que pode-se realizar as medições com os refletores em acrílico e em fita adesiva. Também é possível observar neste

quadro, as diferenças obtidas para as coordenadas X e Y nas duas campanhas realizadas.

O quadro 13 apresenta os horários e as temperaturas em que as campanhas foram realizadas.

QUADRO 13 – HORÁRIO E TEMPERATURAS DAS CAMPANHAS

PILAR OCUPADO		ELTA S20	
		CAMPANHA DE 22/04/2004	CAMPANHA DE 19/08/2004
PILAR P1	HORÁRIO	11:59 – 12:40	10:11 – 11:17
	TEMPERATURA	30,5° - 32,3°	18,0° - 24,0°
	DCFAs C/ ACRÍLICO	C1, C7 e C15	C1, C7 e C15
	DCFAs C/ FITA	C1 e C7	C1 e C7
PILAR P3	HORÁRIO	17:47 – 19:18	15:06 – 16:32
	TEMPERATURA	27,0° - 28,3°	29,0° – 31,1°
	DCFAs C/ ACRÍLICO	01, 02, 03, 04, 05 e 06	01, 02, 03, 04, 05 e 06
	DCFAs C/ FITA	03, 04, 05 e 06	04, 05 e 06

Pode-se observar no quadro 13, que dependendo o horário da observação, foi possível obter uma alcance maior para a medição dos DCFAs na barragem, outra influência que incidiu sobre as observações é a reverberação que ocorre com as maiores temperaturas, provocando dificuldades em realizar a pontaria dos alvos e principalmente interferindo na obtenção de medidas nas maiores distâncias. Estes efeitos são mais evidentes no período da tarde, onde a maioria das leituras foram realizadas no pilar P3. Como pode ser visto, quando as leituras foram realizadas a partir do pilar P1, não houve problemas quanto a obtenção da distâncias dos DCFAs.

Para verificar se os valores das diferenças das coordenadas obtidas são coerentes entre si, aplicou-se o teste estatístico *t* de *Student* para os valores médios das coordenadas de cada DCFA entre as 2 campanhas. Este teste *t* de *Student* para a igualdade de duas médias populacionais obedecendo a seguinte formulação (MARTINS, 2001):

$$\text{Hipótese } H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$$

$$\text{Hipótese } H_1: \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$$

Fixou-se o nível de significância ( $\alpha$ ), obtendo o valor da variável  $t$ , através da tabela da distribuição  $t$  de *Student*, que tem a seguinte equação para o cálculo do número de graus de liberdade (21):

$$\varphi = (n_1 + n_2 - 2) \quad (21)$$

onde:

- $\varphi$  é o número de graus de liberdade da soma das duas médias populacionais;
- $n_1$  é o número de observações da primeira amostra;
- $n_2$  é o número de observações da segunda amostra;

Calculou-se o valor da variável  $t$  pela seguinte equação (22):

$$t_{CAL} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_C \cdot \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}}} \quad (22)$$

onde:

- $t_{CAL}$  é o valor calculado de  $t$ ;
- $\bar{x}_1$  é a média das observações da primeira amostra;
- $\bar{x}_2$  é a média das observações da segunda amostra;
- $S_C$  é o desvio padrão comum, que é dado pela equação 23:

$$S_C = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (23)$$

onde:

- $S_1^2$  é o a variância da primeira amostra;
- $S_2^2$  é o a variância da segunda amostra;

Finalmente, de posse dessas informações, pode-se concluir com relação ao teste t para a igualdade entre duas médias que:

Se  $-t_{\frac{\alpha}{2}} \leq t_{CAL} \leq t_{\frac{\alpha}{2}}$ , não se rejeita a hipótese  $H_0$ ;

Se  $t_{CAL} > t_{\frac{\alpha}{2}}$  ou  $t_{CAL} < -t_{\frac{\alpha}{2}}$ , rejeita-se a hipótese  $H_0$ .

Aplicou-se o teste estatístico  $t$  de *Student* para a igualdade de duas médias populacionais quando se utilizou o prisma de vidro para a obtenção de coordenadas sobre o DCFA C1 usando a ELTA S20 nas duas campanhas. Os valores das médias e dos desvios padrão para as duas épocas de observações estão no quadro 14.

QUADRO 14 – MÉDIAS E DESVIOS PADRÃO PARA O DCFA C1 UTILIZANDO A ESTAÇÃO TOTAL ELTA S20

ELTA S20	22/04/2004		19/08/2004	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
C1	746,6744	1038,2539	746,6698	1038,2549
	746,6740	1038,2548	746,6697	1038,2496
PRISMA	746,6746	1038,2543	746,6699	1038,2528
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>746,6744</b>	<b>1038,2543</b>	<b>746,6698</b>	<b>1038,2524</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>2,7</b>

Solução:

Inicialmente a exposição das hipóteses (apenas para a coordenada X).

Hipótese  $H_0$ :  $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$ , ou seja, que 746,6744 seja igual a 746,6698.

Hipótese  $H_1$ :  $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ , ou seja, que 746,6744 seja diferente de 746,6698.

Número de graus de liberdade:

$$\varphi = (n_1 + n_2 - 2)$$

$$\varphi = (3 + 3 - 2) = 4$$

Para um nível de significância ( $\alpha$ ) de 1% e para 4 graus de liberdade, ao consultar a tabela de distribuição  $t$  de *Student*, o valor da variável  $t$  é de 4,6041.

Agora será calculado o valor da variável  $t$  pela equação 22. Para que não haja incompatibilidade de unidades, os valores das coordenadas foram transformada para milímetros. Primeiro calcula-se o valor do desvio padrão pela equação 23.

$$S_C = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_{21} - 1) \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \rightarrow S_C = \sqrt{\frac{(3 - 1) \cdot 0,3^2 + (3 - 1) \cdot 0,1^2}{3 + 3 - 2}} \rightarrow S_C = 0,22361$$

$$t_{CAL} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_C \cdot \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}}} \rightarrow t_{CAL} = \frac{(746674,4 - 746669,8)}{0,22361 \cdot \sqrt{\frac{3 + 3}{3 \cdot 3}}} \rightarrow t_{CAL} = 23,84$$

Agora este valor deve ser comparado com o valor obtido pela tabela para que a hipótese  $H_0$  seja ou não aceita. Como o valor de  $t$  calculado neste caso não está dentro do intervalo esperado, então a hipótese deve ser rejeitada.

Portanto estatisticamente, a um nível de significância de 1% os valores médios não são iguais para as duas épocas quando utilizado o prisma de vidro, ou seja, a hipótese  $H_0$  não pode ser aceita. A partir desta constatação, pode-se caracterizar que houve deslocamento no sentido do eixo X na estrutura monitorada com este modelo de prisma.

O quadro 15 trás os valores calculados de  $t$  para todos os DCFA utilizando os três tipos de refletores disponíveis. Como o intervalo de significância de 1%.

QUADRO 15 – RESULTADO DA APLICAÇÃO DO TESTE T PARA OS VALORES OBTIDOS DAS COORDENADAS NAS DUAS CAMPANHAS REALIZADAS

APLICAÇÃO DO TESTE t PARA A IGUALDADE ENTRE DUAS MÉDIAS POPULACIONAIS			
NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA ( $\alpha$ )			
$\alpha = 1\%$ ; <b>0,01. Como é bicaudal --&gt; <math>\alpha/2 = 0,005</math></b>			
VARIÁVEL t COM 4 GRAUS DE LIBERDADE ( $\varphi=n1+n2-2$ ) <b>t = 4,6041</b>			
HIPÓTESES HO: $\mu_1 = \mu_2$ H1: $\mu_1 \neq \mu_2$			
		<b>ELTA S20</b>	
		X	Y
PRISMA	t calculado	23,84	1,22
C1	ACEITA H <sub>0</sub>	<b>NÃO</b>	<b>SIM</b>
ACRILICO	t calculado	9,00	2,82
C1	ACEITA H <sub>0</sub>	<b>NÃO</b>	<b>SIM</b>
FITA	t calculado	5,70	1,15
C1	ACEITA H <sub>0</sub>	<b>NÃO</b>	<b>SIM</b>
PRISMA	t calculado	16,61	0,53
C7	ACEITA H <sub>0</sub>	<b>NÃO</b>	<b>SIM</b>
ACRILICO	t calculado	16,16	-0,65
C7	ACEITA H <sub>0</sub>	<b>NÃO</b>	<b>SIM</b>
FITA	t calculado	3,83	-1,13
C7	ACEITA H <sub>0</sub>	<b>SIM</b>	<b>SIM</b>
PRISMA	t calculado	12,67	-17,79
C15	ACEITA H <sub>0</sub>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO</b>
ACRILICO	t calculado	2,13	-17,45
C15	ACEITA H <sub>0</sub>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>
FITA	t calculado	—	—
C15	ACEITA H <sub>0</sub>	—	—
PRISMA	t calculado	-4,36	11,62
PINO 01	ACEITA H <sub>0</sub>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>
ACRILICO	t calculado	-2,72	17,82
PINO 01	ACEITA H <sub>0</sub>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>
FITA	t calculado	—	—
PINO 01	ACEITA H <sub>0</sub>	—	—
PRISMA	t calculado	-1,67	14,52
PINO 02	ACEITA H <sub>0</sub>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>
ACRILICO	t calculado	-3,19	7,98
PINO 02	ACEITA H <sub>0</sub>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>
FITA	t calculado	—	—
PINO 02	ACEITA H <sub>0</sub>	—	—
PRISMA	t calculado	-0,52	10,53
PINO 03	ACEITA H <sub>0</sub>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>

ACRILICO	t calculado	0,96	27,53
PINO 03	ACEITA H <sub>0</sub>	SIM	NÃO
FITA	t calculado	—	—
PINO 03	ACEITA H <sub>0</sub>	—	—
PRISMA	t calculado	3,99	4,53
PINO 04	ACEITA H <sub>0</sub>	SIM	SIM
ACRILICO	t calculado	10,98	4,23
PINO 04	ACEITA H <sub>0</sub>	NÃO	SIM
FITA	t calculado	2,78	7,88
PINO 04	ACEITA H <sub>0</sub>	SIM	NÃO
PRISMA	t calculado	3,38	-13,11
PINO 05	ACEITA H <sub>0</sub>	SIM	NÃO
ACRILICO	t calculado	38,87	1,35
PINO 05	ACEITA H <sub>0</sub>	NÃO	SIM
FITA	t calculado	6,43	2,33
PINO 05	ACEITA H <sub>0</sub>	NÃO	SIM
PRISMA	t calculado	8,40	-0,31
PINO 06	ACEITA H <sub>0</sub>	NÃO	SIM
ACRILICO	t calculado	12,78	2,40
PINO 06	ACEITA H <sub>0</sub>	NÃO	SIM
FITA	t calculado	8,03	10,48
PINO 06	ACEITA H <sub>0</sub>	NÃO	NÃO

Vários dos pontos testados não passaram no teste t, isso representa que a diferença entre as coordenadas nas duas épocas é significativa, ou seja, estas diferenças podem representar que a estrutura estudada movimentou-se.

Outra análise a se realizar sobre os valores das diferenças das coordenadas dos DCFAs entre as duas épocas é o cálculo da elipse de erros, que a partir dos valores da variância e da covariância entre as coordenadas obtidas nestas épocas é possível observar qual são os sentidos dos deslocamentos e o valor destes em relação aos eixos X e Y.

A equação 24 mostra como realizar o cálculo destas elipses (GEMAEL, 1994).

$$\begin{matrix} MAX \\ MIN \end{matrix} \sigma^2 = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \pm M \quad (24)$$

onde:

- $\sigma_{MAX}^2$  e  $\sigma_{MIN}^2$  são os valores dos eixos da elipse;
- $\sigma_x^2$  é a variância em X (calculado pela equação 25);
- $\sigma_y^2$  é a variância em Y;
- $M$  é dado pela equação (26):

$$Var(X) = \frac{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}{n \cdot (n-1)} \quad (25)$$

onde:

- $Var(X)$  é a variância da coordenada X;
- $n$  é o número de observações para a coordenada X;
- $\Sigma$  é o somatório das coordenadas X.

Cálculo de M:

$$M = \sqrt{4\sigma_{xy}^2 + (\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2} \quad (26)$$

onde:

- $\sigma_{xy}^2$  é a covariância entre as coordenadas X e Y, este valor da covariância é calculado utilizando o software Microsoft Excel que utiliza a seguinte fórmula (27):

$$Cov(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x) \cdot (y_i - \mu_y) \quad (27)$$

onde:

- $Cov(X, Y)$  é a covariância entre as coordenadas X e Y;
- $n$  é o número de dados da amostra;
- $\Sigma$  é o somatório das observações obtidas;
- $x_i$  é o valor da coordenada X;
- $y_i$  é o valor da coordenada Y;
- $\mu_x$  é a média dos valores da coordenada X;
- $\mu_y$  é a média dos valores da coordenadas Y.

Com os valores das diferenças entre as coordenadas no quadro 16, é possível obter o desvio padrão e calcular a variância e covariância dos valores e desta forma calcular a elipse de erros. Será feito um exemplo com os resultados obtidos para o prisma de vidro sobre o DCFA C1 com a estação total ELTA S20 (quadro 16).

QUADRO 16 – VALORES DAS DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS PARA O DCFA C1 COM A ELTA S20

	X (mm)	Y (mm)
<b>C1</b>	4,6	-1,0
	4,3	5,2
<b>PRISMA</b>	4,7	1,5
<b>MÉDIA (mm)</b>	<b>4,6</b>	<b>1,9</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,2</b>	<b>3,1</b>

A partir do quadro 16 é possível obter os seguintes valores:

$$\sigma_x^2 = 0,05 \text{ mm};$$

$$\sigma_y^2 = 9,71 \text{ mm};$$

$$\sigma_{xy} = -0,35 \text{ mm}.$$

Cálculo de M:

$$M = \sqrt{4\sigma_{xy}^2 + (\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2} \rightarrow M = \sqrt{4 \cdot 0,35^2 + (0,05 - 9,71)^2} \rightarrow M = 9,69$$

Cálculo das variâncias máximas e mínimas:

$$\begin{aligned} \sigma^2_{MIN} &= \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 \pm M} \rightarrow \sigma^2_{MIN} = \sqrt{0,05 + 9,71 - 9,73} \rightarrow \sigma^2_{MIN} = 0,04 \\ \sigma^2_{MAX} &= \sqrt{0,05 + 9,71 + 9,73} \rightarrow \sigma^2_{MAX} = 9,73 \end{aligned}$$

Valores dos semi-eixos a e b da elipse:

$$a = \max \sigma = 3,12 \text{ mm}$$

$$b = \min \sigma = 0,19 \text{ mm}$$

A próxima etapa é o cálculo do ângulo crítico t (equação 28), que é a orientação da elipse de erro em relação ao eixo de coordenadas utilizado.

$$\operatorname{tg} 2t = \frac{2 \cdot \sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \quad (28)$$

$$\operatorname{tg} 2t = \frac{2 \cdot (-0,35)}{0,05 - 9,71} \rightarrow \operatorname{tg} 2t = 0,013$$

$$2t = -10,76^\circ \rightarrow t = 2,06^\circ$$

O quadro 17 trás os valores das elipses calculados para os DCFAs utilizando a estação total ELTA S20.

QUADRO 17 – VALORES DAS ELIPSES DOS ERROS PARA A DIFERENÇA DAS COORDENADAS PARA A ELTA S20

PILAR OCUPADO	PONTO VISADO	TIPO REFLETOR	VALORES EM MILÍMETROS (mm)					t°
			$\sigma_x^2$	$\sigma_y^2$	$\sigma_{xy}$	a	b	
PILAR P1	DCFA C1	PRISMA	0,05	9,71	-0,35	3,12	0,19	2,06
		ACRÍLICO	1,02	2,28	1,00	1,68	0,68	-28,86
		FITA	1,22	3,60	0,18	1,90	1,10	-4,21
	DCFA C7	PRISMA	0,25	0,59	0,09	0,78	0,48	-13,94
		ACRÍLICO	0,43	2,46	-0,04	1,57	0,66	1,05
		FITA	7,25	6,73	3,76	3,28	1,79	43,03
	DCFA C15	PRISMA	1,21	0,31	0,35	1,15	0,44	18,87
		ACRÍLICO	3,00	0,91	-0,93	1,83	0,75	-20,78
	PILAR P3	DCFA 01	PRISMA	2,75	4,43	-2,17	2,43	1,13
ACRÍLICO			7,66	3,12	-3,21	3,05	1,21	-27,34
DCFA 02		PRISMA	0,81	2,21	-0,68	1,58	0,73	22,10
		ACRÍLICO	9,50	12,20	-6,66	4,20	2,01	39,27
DCFA 03		PRISMA	0,30	1,06	-0,26	1,07	0,47	17,40
		ACRÍLICO	0,89	0,10	-0,13	0,95	0,28	-8,93
DCFA 04		PRISMA	5,96	13,35	-5,72	4,06	1,69	28,57
		ACRÍLICO	0,73	0,45	-0,19	0,91	0,59	-26,68
		FITA	2,39	3,73	-1,15	2,10	1,31	29,84
DCFA 05		PRISMA	0,70	3,77	-0,10	1,94	0,84	1,80
		ACRÍLICO	0,02	1,18	-0,06	1,09	0,13	3,18
		FITA	1,15	8,24	-2,05	2,96	0,77	14,99
DCFA 06		PRISMA	1,46	3,46	-1,49	2,06	0,82	28,04
		ACRÍLICO	2,00	2,60	-1,14	1,86	1,06	37,64
		FITA	3,16	1,24	-1,31	1,96	0,75	-26,92

As figuras 41, 42 e 43 mostram as elipses de erros plotadas, demonstrando os deslocamentos ocorridos entre as duas campanhas realizadas com a estação total ELTA S20. Cada figura representa as elipses de erros para cada prisma refletor utilizado. A orientação destas elipses é em relação ao eixo X.

FIGURA 41 – ELIPSES DE ERROS PARA A ESTAÇÃO TOTAL ELTA S20 UTILIZANDO O PRISMA DE VIDRO

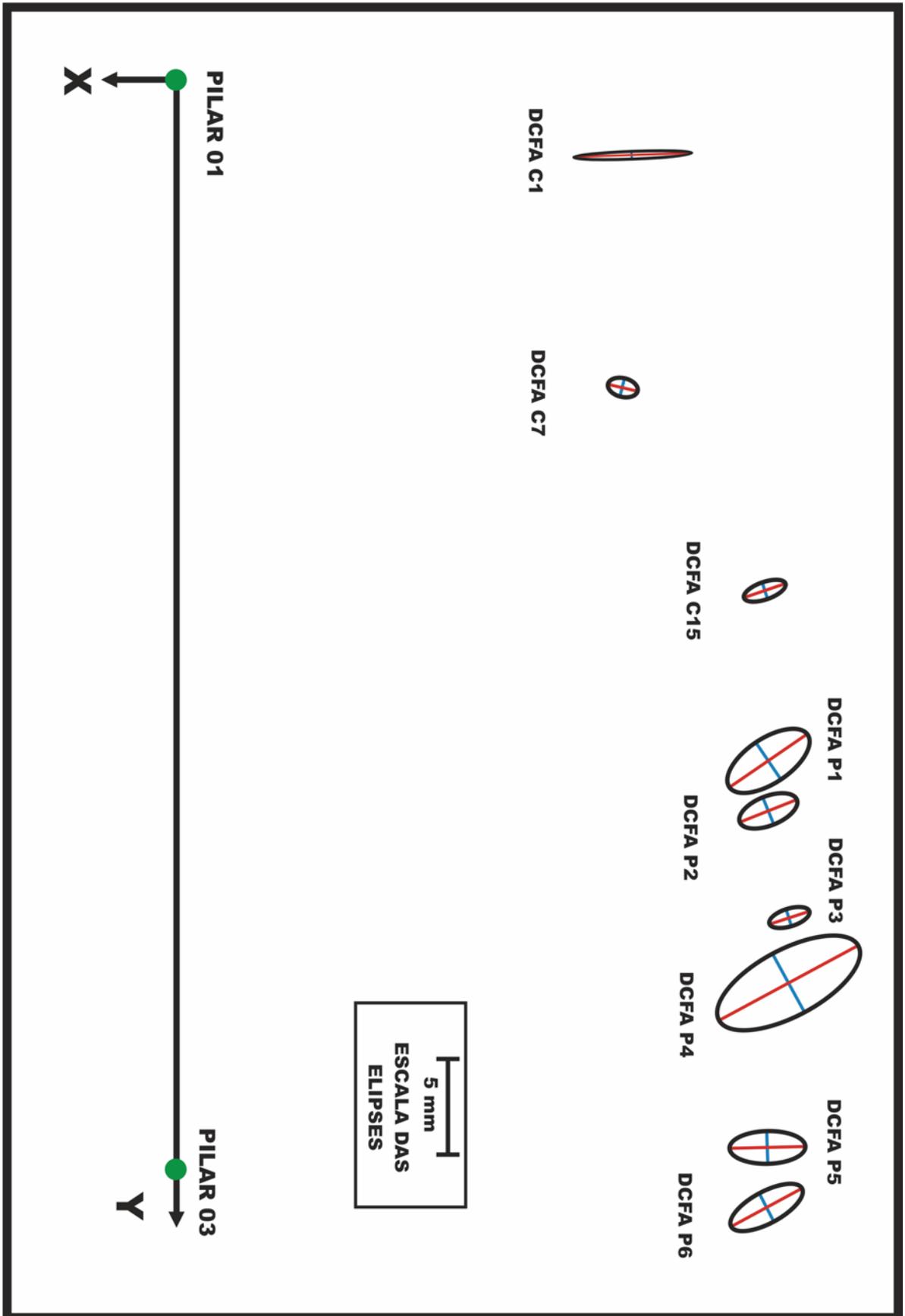


FIGURA 42 – ELIPSES DE ERROS PARA A ESTAÇÃO TOTAL ELTA S20 UTILIZANDO O REFLETOR EM ACRÍLICO

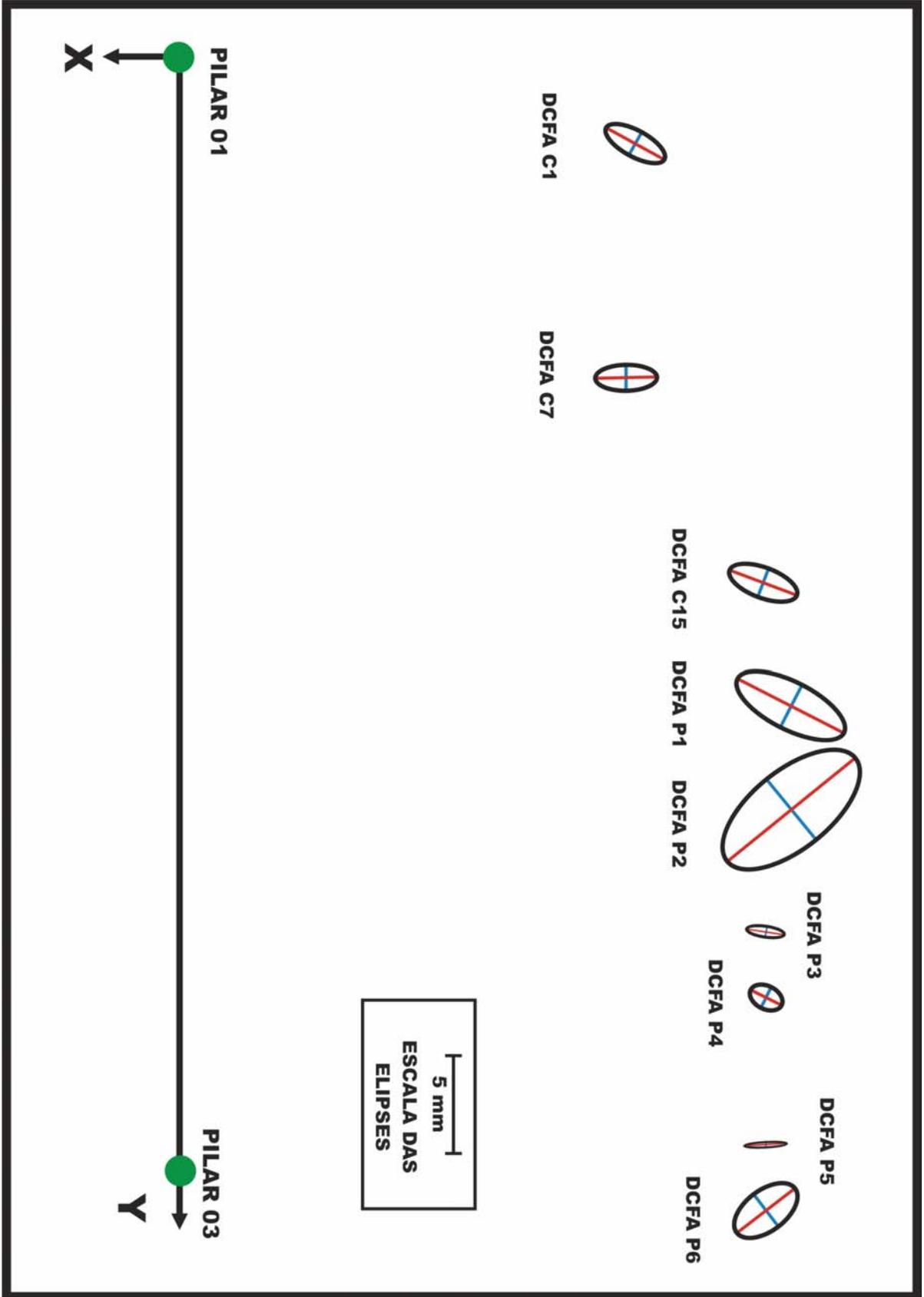
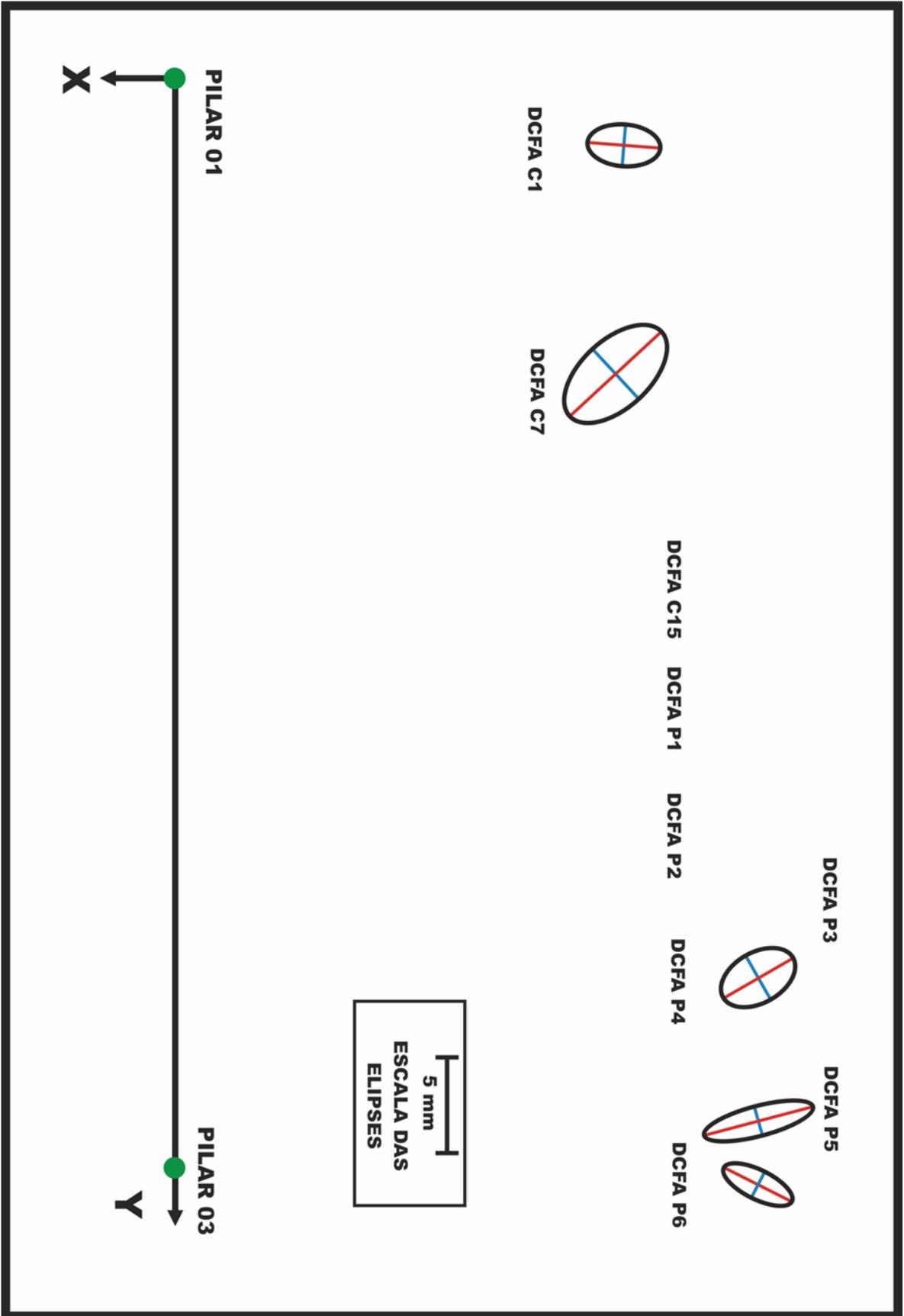


FIGURA 43 – ELIPSES DE ERROS PARA A ESTAÇÃO TOTAL ELTA S20 UTILIZANDO A FITA ADESIVA



## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 CONCLUSÕES

Com relação aos resultados obtidos para o ângulo máximo de incidência do sinal de medida no refletor, verificou-se que para a fita adesiva é  $50^\circ$  e para o refletor em acrílico é  $25^\circ$ . Para ângulos acima destes valores a intensidade do sinal devolvido pelo refletor é baixa, comprometendo a precisão da distância medida ou não ocorre. A justificativa encontrada para a menor capacidade de reflexão do acrílico está fundamentada na pequena dimensão dos microrefletores que o formam.

Observou-se que a variação das constantes dos refletores é na ordem do décimo do milímetro quando obtidas com os diferentes equipamentos utilizados. Considerando que a precisão nominal dos instrumentos são maiores que  $1\text{mm} + 1\text{ppm}$  é possível utilizar a constante determinada com um equipamento como padrão para todos os outros equipamentos testados.

Quanto ao alcance de medida em relação à dimensão do refletor em forma de fita adesiva, pode-se afirmar que para os equipamentos utilizados, as curvas geradas pelos gráficos são semelhantes e tem um comportamento quase linear. Também pode-se observar que as equações das fitas adesivas geradas para cada uma das Estações Totais empregadas foram testadas e o valores confirmam os resultados calculados para o alcance desejado.

Quanto à durabilidade da fita adesiva fixada na estrutura da Usina de Salto Caxias, a mesma apresenta resistência às intempéries desde que a sua fixação e manutenção obedeça as recomendações do fabricante.

Com relação a repetibilidade das medidas utilizando os refletores disponíveis, a variação das distâncias medidas estão dentro da precisão nominal da estação total empregada no experimento.

Algumas coordenadas dos DCFAs monitorados sobre o muro da barragem de Salto Caxias apresentaram variações acima da tolerância para um nível de

significância de 1%, quando aplicado o teste t de Student. Pode-se atribuir a este fato, que ocorreram deslocamentos na estrutura e/ou imprecisão na obtenção da orientação do azimute do alvo, causado pela deficiência do sistema de pontaria do mesmo.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que quando empregados o prisma de vidro e a fita adesiva nos trabalhos de Topografia e Geodésia, que o ângulo em relação à linha de visada não seja superior a  $50^\circ$ , pois conforme constatado nos experimentos realizados, quando o ângulo de rotação é maior a intensidade do sinal de retorno é baixa ou nula, impossibilitando a determinação da distância. No caso do emprego do refletor em forma de acrílico, o ângulo máximo de utilização deste não deve ultrapassar  $25^\circ$ .

Recomenda-se que para cada tipo de trabalho a ser realizado com as fitas adesivas, seja observada a relação entre alcance e dimensionamento do refletor, para obter os melhores resultados.

Ao fixar as fitas adesivas em uma estrutura recomenda-se que a mesmas sejam colocadas em locais que não estejam ao alcance de atos de vandalismo, conforme ocorreu às fitas fixadas na comporta C4 da Usina de Salto Caxias.

Recomenda-se a continuidade do experimento com as fitas adesivas para que sejam efetuados experimentos periódicos sobre a resistência do material para utilização em estruturas.

Em trabalhos futuros recomenda-se que sejam realizadas mais séries de observações sobre pontos em que se desejam monitorar deslocamentos, facilitando com isso a detecção de possíveis erros de observação.

Com relação ao sistema de pontaria dos alvos recomenda-se maiores estudos na determinação da dimensão dos indicadores de pontaria para o fio vertical e horizontal, buscando com isso melhorar a qualidade das direções horizontais e ângulos zenitais.

## REFERÊNCIAS

- 3M SCOTCHLITE. **Diamond Grade™ LDP Reflective Sheeting**. Product Bulletin. Ontário, Canada, 2003.
- ABNT. **NBR-13133, Execução de Levantamento Topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.
- BANNISTER, A; BAKER, R; **Solving Problems In Surveying**; 2 ed, Ed. Longman Scientific & Technical. London, 1994.
- BRANDÃO, A. C.. **Possibilidade de emprego de um campo de pontos planimétricos como definidor de um comparador de distâncias colineares**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba, 1996.
- CORDINI, J.. **Determinação do erro cíclico em distanciômetros eletrônicos**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba, 1991.
- DOUBEK, A.. **Levantamentos Eletrônicos**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba, 1974.
- FAGGION, P. L.; DE FREITAS, S. R. C.. **Laboratório de Instrumentação Geodésica da Universidade Federal do Paraná**. In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil, Florianópolis, 21-23 de abril de 1996, Anais, v3.
- FAGGION, P. L.,. **Obtenção dos Elementos de Calibração e Certificação de Medidores Eletrônicos de Distância em Campo e Laboratório**. Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba, 2001.
- GEMAEL, C.. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Ed. UFPR, Curitiba, 1994.
- GRIPP, J. Jr.. **Calibração de distanciômetros eletrônicos com medidas de campo**. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, 1986.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J.. **Fundamentos de Física 2 – Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, 1993.

- HEAVENS, O. S.; DITCHBURN, R. W. **Insight Into Optics**. Ed. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, England. 1991.
- HÖGLUND, R., LARGE, P. **Direct Reflex EDM Technology for the Surveyor and Civil Engineer**. Trimble Integrated Surveying Group, Westminster, Colorado, USA. 2002.
- JENKINS, F. A.; WHITE, H. E. **Fundamentals of Optics**. 4ª Edição. Ed. McGraw-Hill International Editions. Singapore. 1981
- KAHMEN, H.; FAIG, W.. **Surveying**. Ed. Walter de Gruyter & Co. New York, USA, 1988.
- LEICA GEOSYSTEMS. **Reflectors for Leica Total Stations**. Disponível em [http://www.leica-geosystems.com/ims/product/tps5000\\_reflectors.htm](http://www.leica-geosystems.com/ims/product/tps5000_reflectors.htm). Acesso em 14/04/2004.
- LEICA TCR 307. **Manual do Usuário**. Heerbrunn, Suíça, 2000.
- LEICA TCRA 1205. **Manual do Usuário**. Heerbrunn, Suíça, 2004.
- MARTINI, L.; FAGGION, P. L.; VEIGA, L. A. K.. **Comparação de coordenadas de pontos utilizando diferentes refletores para medição eletrônica de distância**. Trabalho Apresentado no I SIMGEO. Recife, 2004.
- MARTINS, G. A.. **Estatística Geral e Aplicada**. Ed. Atlas, São Paulo, 2001.
- NADAL, C. A. **Método da Interseção Óptica Tridimensional Aplicado à Engenharia de Precisão**. Tese apresentada ao Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba, 2000.
- NADAL, C. A. **Protótipo de um Alvo para Topografia Industrial**. Revista Cartografia e Cadastro, N° 9, Lisboa, 1998.
- PACILÉO NETTO, N.. **Calibração de medidores eletrônicos de distância, construção de uma base multipilar na USP e metodologia de aferição**. Tese de Doutorado, E.POLI/USP, São Paulo, 1990.
- RÜEGUER, J. M.. **Electronic Distance Measurement**. 3tr ed., Springer-Vela, Berlin, 1996.
- SCHULMEISTER, K.. **Classification of Laser – and LED products and lamps**. Disponível em <http://www.healthphysics.at/default.asp?id=527&lid=2>. Acesso em

15/10/2004.

SMITH, J.; NASCARELLA, J. **EDM - Introduction**. Disponível em <http://www.geom.unimelb.edu.au/kealyal/edms/edm-intro.html>. Acesso em

11/05/2004.

TRIMBLE ZEISS ELTA S20 POINT. **Users Guide**. Ohio, USA, 2001.

TRIMBLE 3305 DR. Users Guide. Ohio, USA, 2001.

WILD, **Catálogo do Distomat Wild DI10**. Heerbrunn, Suíça. 1974.

WILD, **Manual de Empleo TC2002**. Heerbrunn, Suíça. 1994.

WOLF, P. R.; GHILANI, C. D., **Elementary Surveying: an Introduction to Geomatics**. 10ed. Ed. Prentice-Hall, New Jersey. EUA. 2002.

**APÊNDICES**

Apêndice 1 – Padrões de Segurança do LASER.....	82
Apêndice 2 – Certificado de Calibração N° 001/2005 .....	88
Apêndice 3 – Certificado de Calibração N° 002/2005 .....	94

## APÊNDICE 01 - PADRÕES DE SEGURANÇA DO LASER

Atualmente alguns modelos de Estações Totais trabalham com portadora *Laser*. Nos primeiros modelos a potência do mesmo era baixa, logo inofensivo ao operador. Porém, buscando aumentar o alcance de medida, os fabricantes têm aumentado a potência do *Laser*, em função disso, a seguir serão abordados alguns aspectos sobre a segurança na utilização do *Laser*.

Como as avaliações das MPEs (*Maximum Permissible Exposure*) e as determinações de áreas de perigo são um tanto quanto difíceis, um sistema de classificação de segurança do *Laser* necessita ser desenvolvida por comitês internacionais de padronização para que os produtos *Laser* sejam agrupados em classes com riscos similares. A norma internacional da *International Electrotechnical Commission* (IEC), IEC 60825-1, e a norma europeia que é a EN 60825-1 são responsáveis pela classificação do *Laser*. A norma EN foi publicada como sendo a padronização dos países membros da Comunidade Europeia e possui derivações nacionais como por exemplo a BS EN 60825-1 (*British Standard*), a DIN EN 60825-1 (*Deutsches Institut für Normung*), etc. Estas podem ser ditas como edições complementares da IEC 60825-1 que foi inicialmente publicada em 1993, os LEDs (*Light Emitting Diodes*) estão incluídas no âmbito desta padronização, isto é, os produtos LEDs são tratados como produtos *Laser* em termos da classificação e de exigência dos fabricantes. Na norma, sempre que for mencionado o *Laser*, isto também se aplica aos “LEDs” (SCHULMEISTER, 2004).

A norma internacional IEC 60825-1 é também adotada com pequenas alterações, como as padronizações de segurança para *Laser* Australianas e Japonesas. Os Estados Unidos utilizam a norma publicada pela *American National Standards Institute* (ANSI), que é a ANSI Z136, e as exigências para os fabricantes norte-americanos é a norma da *Center for Devices and Radiological Health* (CDRH), chamada de CDRH 21 Partes 1040.10 e 1040.11 são documentos independentes, porém o sistema de classificação é bastante similar ao da norma da IEC (SCHULMEISTER, 2004).

O sistema de classificação de acordo com a segunda edição da IEC 60825-2, que foi publicada no início de 2001 possui diferenças em algumas classes em comparação com a primeira edição.

É obrigação dos fabricantes de produtos *Laser* classificar os seus produtos e conseqüentemente colocar etiquetas de alertas nos produtos e fazer marcações em conectores e interruptores. Porém, se o usuário utilizar um produto *Laser* assim que uma classe é alterada, o usuário torna-se responsável em realizar a re-classificação.

Em comparação aos MPEs, que são limites de exposição, isto é, uma exposição em um determinado local onde é esperado que pessoas estejam expostas a radiação *Laser*, o sistema de classificação envolve definições de produtos com limites de emissão para cada classe. Que é, o ajuste do sistema de classificação independentemente da aplicação do *Laser* e envolve os casos extremos de longa duração de exposição, abertura do *Laser* em distâncias curtas e o uso de instrumentos óticos que podem aumentar o perigo. A classificação auxilia nos processos de avaliação de perigo (Figura 44) como, por exemplo, os produtos da Classe 1, em que a exposição sempre será abaixo da MPE. A Classe de *Laser* 3B emite radiação que é significativamente superior ao MPE para os olhos, e a Classe 4 também esta acima do MPE para a pele, contudo, isto depende da geometria do feixe de luz, ajustes e aplicações, se existe um grave risco somente próximo da fonte emissora ou se isto se estende por vários quilômetros (SCHULMEISTER, 2004).

FIGURA 44 – OBSERVAÇÃO DA INDICAÇÃO DA CLASSE DE LASER EM UMA ESTAÇÃO TOTAL



A seguir é apresentado um resumo das classes de segurança de acordo com SCHULMEISTER (2004):

*CLASSE 1:*

- *Tipo de Laser – Lasers de Baixa Potência ou Lasers canalizados.*
- *Nível de Significância: Seguro.*
- *Em relação ao MPE: Não excede o MPE, mesmo por longos períodos de exposição (de 100 a 3000 segundos), mesmo com o uso de instrumentos óticos.*
- *Situação de Risco: Sem risco.*

*CLASSE 1M:*

- *Tipo de Laser – Lasers de baixa potência; com qualquer colimação com longo feixe de luz ou altamente divergente.*
- *Nível de Significância: Seguro a olho nu, potencialmente perigoso quando usado com instrumentos óticos.*
- *Em relação ao MPE: Não excede o MPE a olho nu, mesmo por longos períodos de exposição, mas pode exceder o MPE com o uso de instrumentos óticos.*
- *Situação de Risco: Sem risco a olho nu, mas arriscado se usado com instrumentos óticos (risco estendido).*

*CLASSE 2:*

- *Tipo de Laser – Lasers visíveis de baixa potência.*
- *Nível de Significância: Seguro se a exposição for curta, exposição prolongada deve ser evitada.*
- *Em relação ao MPE: Duração nominal de 0,25 segundos quando da exposição refletida no olho. MPE para 0,25 segundos não é excedida, mesmo com o uso de instrumentos óticos.*
- *Situação de Risco: Sem risco quando baseada na exposição involuntária (0,25 segundos de duração da exposição).*

*CLASSE 2M:*

- *Tipo de Laser – Lasers visíveis de baixa potência; com qualquer colimação com longo feixe de luz ou altamente divergente.*
- *Nível de Significância: Mesmo que a Classe 2, é potencialmente perigoso quando usados instrumentos óticos.*
- *Em relação ao MPE: MPE de 0,25 segundos não excedido a olho nu, mas pode ser excedido com o uso de instrumentos óticos.*
- *Situação de Risco: Sem risco a olho nu quando ocorrida a exposição acidental (0,25 segundos de duração), mas possui risco se usado com instrumentos óticos.*

*CLASSE 3R:*

- *Tipo de Laser – Lasers de baixa potência.*
- *Nível de Significância: Seguro quando utilizado com cuidado. Pouco perigoso se houver exposição acidental.*
- *Em relação ao MPE: MPE a olho nu e com instrumentos óticos pode ser excedido em até 5 vezes o tempo.*
- *Situação de Risco: 5 vezes o limite da Classe 1 para os raios UV e IR, e 5 vezes o limite de tempo para a Classe 2 no visível, isto é, 5mW.*

*CLASSE 3B:*

- *Tipo de Laser – Lasers de média potência*
- *Nível de Significância: Perigoso quando o olho é exposto. Geralmente não perigoso a pele. Reflexões Difusas geralmente seguras.*
- *Em relação ao MPE: MPE ocular, a olho nu e instrumentos óticos pode ser excedido mais que 5 vezes o MPE. MPE da pele, geralmente não é excedido.*
- *Situação de Risco: Risco para os olhos, não perigoso para a pele.*

**CLASSE 4:**

- *Tipo de Laser – Lasers de alta potência*
- *Nível de Significância: Perigoso ao olho e a pele, a reflexão difusa pode ser perigosa, risco de fogo.*
- *Em relação ao MPE: MPE dos olhos e pele é excedido, reflexão difusa excede a MPE dos olhos.*
- *Situação de Risco: Risco para os olhos e pele, risco também na reflexão difusa.*

A padronização “Segurança Fotobiológica de Lâmpadas e Sistemas de Iluminação”, a CIE S 009/E, sobre lâmpadas e bandas de energia foi publicada pela CIE (*International Commission on Illumination*), nesta norma, as classes de segurança são definidas para lâmpadas e bandas de energia. Por esta razão os grupos de risco podem ser definidos, os quais surgem de um período seguro de exposição da pele e dos olhos, dependendo da região espectral. O Quadro 18 mostra os grupos de risco de acordo com a norma da CIE.

QUADRO 18 - GRUPOS DE RISCO DE ACORDO COM A NORMA CIE

RISCO	GRUPO SEM RISCO	GRUPO DE RISCO 1	GRUPO DE RISCO 2	GRUPO DE RISCO 3
	SEM RISCO	BAIXO RISCO	MÉDIO RISCO	GRANDE RISCO
INICIARÁ O RISCO SE O LIMITE EXCEDER A				
UV (pele e olhos)	30 000 segundos	10 000 segundos	1000 segundos	< 1000 segundos
UV-A (lentes)	1000 segundos (aprox. 16 minutos)	300 segundos	100 segundos	< 100 segundos
Risco Fotoquímico para a Retina	10 000 segundos (aprox. 2,8 horas)	100 segundos	0,25 segundos (reação natural)	< 0,25 segundos
Risco Termal para a Retina	10 segundos	10 segundos	0,25 segundos (reação natural)	< 0,25 segundos
Infravermelho (olhos)	1000 segundos	100 segundos	10 segundos	< 10 segundos

FONTES: SCHULMEISTER (2004)

	<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ          SETOR DE DIÊNCIAS DA TERRA          DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA          CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS          GEODÉSICAS          LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO          GEODÉSICA</p>	
---	--	---

## CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 001/2005

### DADOS DO SOLICITANTE

<b>EMPRESA:</b>	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		
<b>ENDEREÇO:</b>	CENTRO POLITÉCNICO, BAIRRO JARDIM DAS AMÉRICAS.		
<b>MUNICÍPIO:</b>	CURITIBA	<b>ESTADO:</b>	PARANÁ
<b>CGC:</b>	75.095.679/0001-49	<b>INSCRIÇÃO ESTADUAL:</b>	ISENTA

### OBJETO DA CONSULTA

<b>EQUIPAMENTO:</b>	REFLETOR EM FORMA DE FITA ADESIVA MONTADO EM ALVO TOPOGRÁFICO, EM CONJUNTO COM A ESTAÇÃO TOTAL LEICA TCRA 1205
<b>IDENTIFICAÇÃO LAIG:</b>	LAUDO 01 – 10/01/2005

#### FOTOS DOS EQUIPAMENTOS:



REFLETOR EM FORMA DE FITA ADESIVA



ESTAÇÃO TOTAL LEICA TCRA 1205

### PROCEDIMENTOS E RESULTADOS OBTIDOS

Estes resultados foram obtidos utilizando como o refletor padrão para a comparação dos resultados o Prisma de Vidro LEICA GPH1P. Os locais onde foram realizados os testes são o Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG) e a Base Linear para Calibração de Estações Totais, localizada na Fazenda do Cangüiri.

## 1 ÂNGULO DE ROTAÇÃO

### 1.1 EM CAMPO

QUADRO 1 – VALORES DOS ÂNGULOS MÁXIMOS DE ROTAÇÃO DO REFLETOR EM CAMPO

<b>TCRA 1205 NA BASE LINEAR</b>		
<b>ROTAÇÃO DO PRISMA</b>	<b>PRISMA (m)</b>	<b>FITA (m)</b>
0°	70,8667	70,8312
5°	70,8668	70,8314
10°	70,8667	70,8310
15°	70,8667	70,8306
20°	70,8668	70,8306
25°	70,8668	70,8306
30°	70,8668	70,8306
35°	70,8670	70,8305
40°	70,8671	70,8305
45°	70,8672	70,8304
50°	70,8674	70,8303
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>70,8669</b>	<b>70,8307</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,23</b>	<b>0,34</b>

### 1.2 EM LABORATÓRIO

QUADRO 2 – VALORES DOS ÂNGULOS MÁXIMOS DE ROTAÇÃO DO REFLETOR EM LABORATÓRIO

<b>TCRA 1205 NO LABORATÓRIO</b>		
<b>ROTAÇÃO DO PRISMA</b>	<b>PRISMA (m)</b>	<b>FITA (m)</b>
0°	3,7290	3,6940
5°	3,7291	3,6942
10°	3,7292	3,6941
15°	3,7291	3,6940
20°	3,7291	3,6941
25°	3,7292	3,6939
30°	3,7293	3,6937
35°	3,7292	3,6937
40°	3,7293	3,6936
45°	3,7292	3,6935
50°	3,7294	3,6935
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>3,7292</b>	<b>3,6938</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,1136</b>	<b>0,2544</b>

## 2. DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DO REFLETOR

### 2.1 EM CAMPO

QUADRO 3 – VALORES OBTIDOS NA BASE LINEAR UTILIZANDO A TCRA 1205

ESCALA DETERMINADA		ESTAÇÃO TOTAL	
		PRISMA	FITA ADESIVA
PILARES	ESCALA DA BASE (m)	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA (m)
P1-P2	70,8686	70,8697	70,8356
P1-P3	222,7890	222,7921	222,7580
P1-P4	385,8444	385,8485	—
P1-P5	648,2498	648,2583	—
P1-P6	759,6788	759,6871	—
P1-P7	789,9196	—	—
P2-P3	151,9200	151,9219	151,8874
P2-P4	314,9758	314,9785	—
P2-P5	577,3808	577,3866	—
P2-P6	688,8104	688,8176	—
P2-P7	719,0506	719,0579	—
P3-P4	163,0546	163,0559	163,0214
P3-P5	425,4598	425,4640	—
P3-P6	536,8890	536,8933	—
P3-P7	567,1298	567,1350	—
P4-P5	262,4048	262,4079	262,3741
P4-P6	373,8340	373,8380	—
P4-P7	404,0744	404,0790	—
P5-P6	111,4290	111,4294	111,3944
P5-P7	141,6698	141,6704	141,6360
P6-P7	30,2404	30,2402	30,2047

## 2.2 EM LABORATÓRIO

QUADRO 4 – VALORES DOS DESLOCAMENTOS OBTIDOS COM A TCRA 1205

INTERFERÔMETRO	ESTAÇÃO TOTAL			
	PRISMA		FITA ADESIVA	
	DESLOC.(mm)	MEDIDA (m)	DESLOC. (mm)	MEDIDA (m)
-	12,1782	-	12,1435	-
100,0000	12,0785	99,7036	12,0434	100,1036
200,0000	11,9783	199,9072	11,9436	199,9072
300,0000	11,8784	299,8108	11,8436	299,9108
400,0000	11,7783	399,9144	11,7434	400,1144
500,0000	11,6782	500,0180	11,6435	500,0180
600,0000	11,5783	599,9216	11,5434	600,1216
700,0000	11,4783	699,9252	11,4439	699,6262
800,0000	11,3783	799,9288	11,3438	799,7298
900,0000	11,2784	899,8325	11,2437	899,8334
1000,0000	11,1785	999,7361	11,1438	999,7369
1100,0000	11,0784	1099,8406	11,0439	1099,6405
1200,0000	10,9785	1199,7443	10,9437	1199,8441
1300,0000	10,8785	1299,7479	10,8437	1299,8477
1400,0000	10,7785	1399,7515	10,7436	1399,9513
1500,0000	10,6786	1499,6551	10,6437	1499,8549
1600,0000	10,5786	1599,6587	10,5435	1600,0585
1700,0000	10,4785	1699,7623	10,4439	1699,6621
1800,0000	10,3785	1799,7659	10,3439	1799,6657
1900,0000	10,2785	1899,7695	10,2439	1899,6693
2000,0000	10,1784	1999,8776	10,1438	1999,7775
2100,0000	10,0783	2099,9812	10,0437	2099,8811
2200,0000	9,9783	2199,9839	9,9437	2199,8846
2300,0000	9,8782	2300,0874	9,8437	2299,7882
2400,0000	9,7781	2400,0910	9,7436	2399,8917
2500,0000	9,6781	2500,0938	9,6435	2499,9958
2600,0000	9,5782	2599,9973	9,5435	2599,9993
2700,0000	9,4781	2700,1001	9,4435	2700,0036
2800,0000	9,3782	2800,0021	9,3435	2800,0064
2900,0000	9,2782	2900,0050	9,2434	2900,1099
3000,0000	9,1785	2999,7086	9,1436	2999,9135
3100,0000	9,0783	3099,9122	9,0435	3100,0170
3200,0000	8,9783	3199,9158	8,9435	3200,0206
3300,0000	8,8784	3299,8179	8,8434	3300,1234
3400,0000	8,7785	3399,7215	8,7435	3400,0269
3500,0000	8,6783	3499,9251	8,6436	3499,9304
3600,0000	8,5782	3600,0280	8,5436	3599,9340
3700,0000	8,4781	3700,1317	8,4436	3699,9368
3800,0000	8,3784	3799,8353	8,3435	3800,0404
3900,0000	8,2783	3899,9389	8,2437	3899,8439
4000,0000	8,1781	4000,1425	8,1437	3999,8475

## 2.3 VALOR DETERMINADO PARA A CONSTANTE DO REFLETOR

QUADRO 5 – VALOR DAS CONTANTE DO REFLETOR PARA A ESTAÇÃO TOTAL TCRA 1205

ESTAÇÃO TOTAL	REFLETOR EM FORMA DE FITA	
TCRA 1205	MÉDIA (mm)	34,60
	$\sigma$ (mm)	0,16
	TOTAL DE OBS	49

## DEFINIÇÕES

**Calibração:** Conjunto de operações que estabelece, em condições especificadas, a correlação entre valores indicados por um instrumento de medida, ou sistema de medida, ou uma medida materializada e os verdadeiros convencionais da grandeza medida.

**Classificação:** Consiste em distribuir em classes ou grupos segundo um sistema de classificação. A Norma brasileira NBR 13.133 (Execução de levantamentos topográficos), define as classes que deve ser enquadrados os instrumentos, baseado no desvio padrão de um conjunto de observações obtidas seguindo uma metodologia própria.

**Incerteza de Medição:** Parâmetro associado ao resultado de uma medição caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos ao mensurando.

**Certificado de Calibração:** Documento que atesta e fornece ao proprietário do equipamento as informações necessárias para a interpretação dos resultados da calibração e, a metodologia utilizada no processo de calibração.

**Padrão de Referência:** Padrão, geralmente tendo a mais alta qualidade metrológica disponível em um local ou em uma dada organização, a partir do qual as medições lá executadas são derivadas.

**Verificação:** Conjunto de operações, compreendendo o exame, a marcação ou selagem (ou) emissão de um certificado e que constante que o instrumento de medir ou medida materializada satisfaz as exigências regulamentares.

## RECOMENDAÇÕES

### 1 ÂNGULO DE ROTAÇÃO

Baseado nos resultados obtidos, recomenda-se utilizar o refletor em forma de fita adesiva em um ângulo de rotação em relação a linha de visada do instrumento de no máximo 50°, pois para ângulos de rotação superiores o sinal não retornou para a Estação Total.

### 2 CONSTANTE DO REFLETOR

Baseado nos resultados obtidos, recomenda-se utilizar o valor da constante de 34,60 mm para o refletor em forma de fita adesiva quando utilizado e conjunto com a estação total LEICA TCRA 1205.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GEMAEL, C. (1994). **Introdução ao Ajustamento de Observações: aplicações geodésicas**. Editora UFPR, 319pp.

INMETRO;ABNT, (2004). **Guia para a expressão da incerteza de medição**. disponível em <http://www.inmetro.gov.br/kits/nitdici021r02.pdf> acessado em 26 de dezembro de 2004, referente a, segunda edição brasileira publica pelo INMETRO/ABNT, agosto de 2004.

Curitiba, 10 de Janeiro de 2005.

	<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ          SETOR DE DIÊNCIAS DA TERRA          DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA          CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS          GEODÉSICAS          LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO          GEODÉSICA</p>	
---	--	---

## CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N° 002/2005

### DADOS DO SOLICITANTE

<b>EMPRESA:</b>	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		
<b>ENDEREÇO:</b>	CENTRO POLITÉCNICO, BAIRRO JARDIM DAS AMÉRICAS.		
<b>MUNICÍPIO:</b>	CURITIBA	<b>ESTADO:</b>	PARANÁ
<b>CGC:</b>	75.095.679/0001-49	<b>INSCRIÇÃO ESTADUAL:</b>	ISENTA

### OBJETO DA CONSULTA

<b>EQUIPAMENTO:</b>	REFLETOR EM FORMA DE ACRÍLICO MONTADO EM ALVO TOPOGRÁFICO, EM CONJUNTO COM A ESTAÇÃO TOTAL LEICA TCRA 1205
<b>IDENTIFICAÇÃO LAIG:</b>	LAUDO 02 – 10/01/2005

#### FOTOS DOS EQUIPAMENTOS:



REFLETOR EM FORMA DE ACRÍLICO



ESTAÇÃO TOTAL LEICA TCRA 1205

### PROCEDIMENTOS E RESULTADOS OBTIDOS

Estes resultados foram obtidos utilizando como o refletor padrão para a comparação dos resultados o Prisma de Vidro LEICA GPH1P. Os locais onde foram realizados os testes são o Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG) e a Base Linear para Calibração de Estações Totais, localizada na Fazenda do Cangüiri.

## 1 ÂNGULO DE ROTAÇÃO

### 1.1 EM CAMPO

QUADRO 1 – VALORES DOS ÂNGULOS MÁXIMOS DE ROTAÇÃO DO REFLETOR EM CAMPO

TCRA 1205 NA BASE LINEAR		
ROTAÇÃO DO PRISMA	PRISMA (m)	ACRÍLICO (m)
0°	70,8667	70,8371
5°	70,8668	70,8372
10°	70,8667	70,8369
15°	70,8667	70,8371
20°	70,8668	70,8372
25°	70,8668	70,8380
30°	70,8668	—
35°	70,8670	—
40°	70,8671	—
45°	70,8672	—
50°	70,8674	—
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>70,8669</b>	<b>70,8373</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,23</b>	<b>0,38</b>

### 1.2 EM LABORATÓRIO

QUADRO 2 – VALORES DOS ÂNGULOS MÁXIMOS DE ROTAÇÃO DO REFLETOR EM LABORATÓRIO

TCRA 1205 NO LABORATÓRIO		
ROTAÇÃO DO PRISMA	PRISMA (m)	ACRÍLICO (m)
0°	3,7290	3,6980
5°	3,7291	3,6979
10°	3,7292	3,6976
15°	3,7291	3,6973
20°	3,7291	3,6974
25°	3,7292	3,6971
30°	3,7293	—
35°	3,7292	—
40°	3,7293	—
45°	3,7292	—
50°	3,7294	—
<b>MÉDIA (m)</b>	<b>3,7292</b>	<b>3,6976</b>
<b><math>\sigma</math> (mm)</b>	<b>0,1136</b>	<b>0,3507</b>

## 2. DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DO REFLETOR

### 2.1 EM CAMPO

QUADRO 3 – VALORES OBTIDOS NA BASE LINEAR UTILIZANDO A TCRA 1205

ESCALA DETERMINADA		ESTAÇÃO TOTAL	
		PRISMA	ACRÍLICO
PILARES	ESCALA DA BASE (m)	DISTÂNCIA (m)	DISTÂNCIA (m)
P1-P2	70,8686	70,8697	70,8356
P1-P3	222,7890	222,7921	222,7580
P1-P4	385,8444	385,8485	—
P1-P5	648,2498	648,2583	—
P1-P6	759,6788	759,6871	—
P1-P7	789,9196	—	—
P2-P3	151,9200	151,9219	151,8874
P2-P4	314,9758	314,9785	—
P2-P5	577,3808	577,3866	—
P2-P6	688,8104	688,8176	—
P2-P7	719,0506	719,0579	—
P3-P4	163,0546	163,0559	163,0214
P3-P5	425,4598	425,4640	—
P3-P6	536,8890	536,8933	—
P3-P7	567,1298	567,1350	—
P4-P5	262,4048	262,4079	262,3741
P4-P6	373,8340	373,8380	—
P4-P7	404,0744	404,0790	—
P5-P6	111,4290	111,4294	111,3944
P5-P7	141,6698	141,6704	141,6360
P6-P7	30,2404	30,2402	30,2047

## 2.2 EM LABORATÓRIO

QUADRO 4 – VALORES DOS DESLOCAMENTOS OBTIDOS COM A TCRA 1205

INTERFERÔMETRO	ESTAÇÃO TOTAL			
	PRISMA		ACRÍLICO	
	DESLOC.(mm)	MEDIDA (m)	DESLOC. (mm)	MEDIDA (m)
-	12,1782	-	12,1470	-
100,0000	12,0785	99,7036	12,0470	100,0027
200,0000	11,9783	199,9072	11,9468	200,2065
300,0000	11,8784	299,8108	11,8469	300,0103
400,0000	11,7783	399,9144	11,7469	400,0141
500,0000	11,6782	500,0180	11,6469	500,0179
600,0000	11,5783	599,9216	11,5470	599,9217
700,0000	11,4783	699,9252	11,4468	700,1255
800,0000	11,3783	799,9288	11,3467	800,2293
900,0000	11,2784	899,8325	11,2470	899,9330
1000,0000	11,1785	999,7361	11,1471	999,8368
1100,0000	11,0784	1099,8406	11,0469	1100,0406
1200,0000	10,9785	1199,7443	10,9469	1200,0444
1300,0000	10,8785	1299,7479	10,8471	1299,8482
1400,0000	10,7785	1399,7515	10,7469	1400,0520
1500,0000	10,6786	1499,6551	10,6471	1499,8558
1600,0000	10,5786	1599,6587	10,5468	1600,1596
1700,0000	10,4785	1699,7623	10,4470	1699,9633
1800,0000	10,3785	1799,7659	10,3471	1799,8671
1900,0000	10,2785	1899,7695	10,2470	1899,9709
2000,0000	10,1784	1999,8776	10,1467	2000,2808
2100,0000	10,0783	2099,9812	10,0470	2099,9845
2200,0000	9,9783	2199,9839	9,9469	2200,0883
2300,0000	9,8782	2300,0874	9,8470	2299,9904
2400,0000	9,7781	2400,0910	9,7469	2400,0941
2500,0000	9,6781	2500,0938	9,6468	2500,1979
2600,0000	9,5782	2599,9973	9,5469	2600,1024
2700,0000	9,4781	2700,1001	9,4469	2700,1061
2800,0000	9,3782	2800,0021	9,3468	2800,1099
2900,0000	9,2782	2900,0050	9,2469	2900,0136
3000,0000	9,1785	2999,7086	9,1469	3000,0181
3100,0000	9,0783	3099,9122	9,0467	3100,2218
3200,0000	8,9783	3199,9158	8,9469	3200,0248
3300,0000	8,8784	3299,8179	8,8467	3300,2285
3400,0000	8,7785	3399,7215	8,7469	3400,0323
3500,0000	8,6783	3499,9251	8,6468	3500,1360
3600,0000	8,5782	3600,0280	8,5467	3600,2390
3700,0000	8,4781	3700,1317	8,4470	3699,9428
3800,0000	8,3784	3799,8353	8,3469	3800,0465
3900,0000	8,2783	3899,9389	8,2467	3900,2503
4000,0000	8,1781	4000,1425	8,1466	4000,3534

## 2.3 VALOR DETERMINADO PARA A CONSTANTE DO REFLETOR

QUADRO 5 – VALOR DAS CONTANTE DO REFLETOR PARA A ESTAÇÃO TOTAL TCRA 1205

ESTAÇÃO TOTAL	REFLETOR EM ACRÍLICO	
TCRA 1205	MÉDIA (mm)	31,24
	$\sigma$ (mm)	0,29
	TOTAL DE OBS	53

## DEFINIÇÕES

**Calibração:** Conjunto de operações que estabelece, em condições especificadas, a correlação entre valores indicados por um instrumento de medida, ou sistema de medida, ou uma medida materializada e os verdadeiros convencionais da grandeza medida.

**Classificação:** Consiste em distribuir em classes ou grupos segundo um sistema de classificação. A Norma brasileira NBR 13.133 (Execução de levantamentos topográficos), define as classes que deve ser enquadrados os instrumentos, baseado no desvio padrão de um conjunto de observações obtidas seguindo uma metodologia própria.

**Incerteza de Medição:** Parâmetro associado ao resultado de uma medição caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos ao mensurando.

**Certificado de Calibração:** Documento que atesta e fornece ao proprietário do equipamento as informações necessárias para a interpretação dos resultados da calibração e, a metodologia utilizada no processo de calibração.

**Padrão de Referência:** Padrão, geralmente tendo a mais alta qualidade metrológica disponível em um local ou em uma dada organização, a partir do qual as medições lá executadas são derivadas.

**Verificação:** Conjunto de operações, compreendendo o exame, a marcação ou selagem (ou) emissão de um certificado e que constante que o instrumento de medir ou medida materializada satisfaz as exigências regulamentares.

## RECOMENDAÇÕES

### 1 ÂNGULO DE ROTAÇÃO

Baseado nos resultados obtidos, recomenda-se utilizar o refletor em forma de acrílico em um ângulo de rotação em relação a linha de visada do instrumento de no máximo 25°, pois para ângulos de rotação superiores o sinal não retornou para a Estação Total.

### 2 CONSTANTE DO REFLETOR

Baseado nos resultados obtidos, recomenda-se utilizar o valor da constante de 31,24 mm para o refletor em forma de acrílico quando utilizado e conjunto com a estação total LEICA TCRA 1205.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GEMAEL, C. (1994). **Introdução ao Ajustamento de Observações: aplicações geodésicas**. Editora UFPR, 319pp.

INMETRO;ABNT, (2004). **Guia para a expressão da incerteza de medição**. disponível em <http://www.inmetro.gov.br/kits/nitdcla021r02.pdf> acessado em 26 de dezembro de 2004, referente a, segunda edição brasileira publica pelo INMETRO/ABNT, agosto de 2004.

Curitiba, 10 de Janeiro de 2005.