

PEDRO LUIS FAGGION

**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, Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências pela Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas

**CURITIBA
2001**

Faggion, Pedro Luis.

Obtenção dos elementos de calibração e certificação de medidores eletrônicos de distância em campo e laboratório / Pedro Luis Faggion. Curitiba, 2001.

xiii, 134 p. : il.; tabs.

Orientador: Sílvio Rogério Correia de Freitas.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra.

1. Distanciômetros eletrônicos. 2. Calibração - Distanciômetros eletrônicos. I. Freitas, Sílvio Rogério Correia de. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.
Termo livre: Certificação - Distanciômetros eletrônicos.

CDD 20 526.3

**“OBTENÇÃO DOS ELEMENTOS DE CALIBRAÇÃO E
CERTIFICAÇÃO DE MEDIDORES ELETRÔNICOS DE
DISTÂNCIA EM CAMPO E LABORATÓRIO”**

POR

PEDRO LUIS FAGGION

Tese nº 023 aprovada como requisito parcial do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Curitiba, 14 de dezembro de 2001.



Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas - Orientador e Presidente (UFPR)



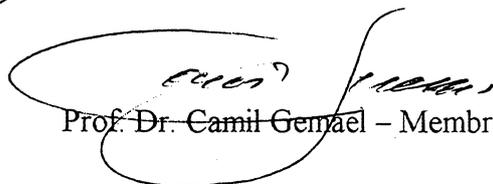
Prof. Dr. Nicola Pacilé Netto - Membro (USP)



Prof. Dr. Valdemar Antônio Demétrio - Membro (ESALQ/USP)



Eng. Dr. Carlito Vieira de Moraes - Membro (CNPq)



Prof. Dr. Camil Gemael - Membro (UFPR)



Prof. Dr. Edson Aparecido Nishita - Membro (UFPR)

DEDICATÓRIA

A minha esposa Ana Tereza pela
compreensão e apoio

A meus filhos Arthur e Heloisa pelo
carinho e afeto

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas pela orientação segura, competente e a disponibilização da estrutura montada pelos Projetos de Pesquisa Otimização de Levantamentos Geodésicos com registro no CNPq sob o número 524030/96-0 e Base de Dados para o Estado do Paraná, com registro no CNPq sob o número 520885/99-6;

Ao Prof. MSc. Álvaro Doubek por ter confiado em meu trabalho e viabilizado minha vinda para o Laboratório de Instrumentação Geodésica em 1988, ainda como acadêmico do curso de Engenharia Cartográfica.

A Prof^a Mary Angélica de Azevedo Olivas, Chefe do Departamento de Geomática pelo adiamento de seu processo de aposentadoria, possibilitando desta forma minha dedicação integral na fase final do meu trabalho;

Ao Professor Dr. Luís Augusto Koenig Veiga pela colaboração na coleta de dados e pelas discussões extremamente relevantes.

A todos os colegas, servidores docentes e técnicos administrativos do Departamento de Geomática pela colaboração e amizade;

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, em especial Alex Sória Medina e Alexandre do Prado pelo auxílio na coleta de dados;

Ao Programa de Iniciação Científica da Universidade Federal do Paraná que possibilitou a participação neste trabalho dos seguintes alunos:

a) Rafael Correia de Freitas, que através de seu conhecimento em mecânica por sua formação de segundo grau, contribuiu significativamente na elaboração do projeto dos suportes dos espelhos e também na coleta e redução dos dados de campo;

b) Luisnei Martini e Daniel Perozzo dos Santos pela colaboração, principalmente na fase final deste trabalho.

Aos alunos Jair Silveira da Silva Júnior, Kauem Simões e Teotônio Marques da Silva Filho que estão vinculados ao projeto Base de Dados Geodésicos para o Paraná no Programa de Iniciação Científica, pela colaboração na coleta, redução e revisão dos dados;

Ao Dr. Carlito Vieira de Moraes, pela colaboração na revisão prévia do trabalho e nas discussões extremamente válidas do tema deste trabalho.

As empresas MANFRA & CIA e ALLEZI TEODOLINE, pelo empréstimo de equipamentos de ponta não disponíveis no âmbito da UFPR.

Ao LACTEC pelo empréstimo de um Psicômetro Eletrônico e também pela calibração do freqüencímetro.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE QUADROS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO	2
1.2. JUSTIFICATIVA	2
1.3. ESTRURA DA PESQUISA	3
2 TERMOS TÉCNICOS UTILIZADOS EM INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA E FUNDAMENTOS DA MEDIÇÃO ELETRÔNICA DE DISTÂNCIA	4
2.1 TERMOS TÉCNICOS UTILIZADOS EM INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA	4
2.1.1 Termos Técnicos Utilizados em Metrologia	4
2.1.2 Termos Técnicos Utilizados em Tempo e Freqüência	11
2.2 FUNDAMENTOS DA MEDIÇÃO ELETRÔNICA DE DISTÂNCIA	13
2.2.1 Generalidades	13
2.2.2 Fundamentos dos Medidores Eletrônicos de Distâncias	17
2.2.2.1 Sistemas de modulação	21
2.2.2.1.1 Modulação em amplitude	23
2.2.2.1.2 Modulação em pulso	23
2.2.2.2 Devolução do sinal	24
2.2.2.3 Recepção do sinal	26
2.2.2.3.1 Comparação de fase	27
2.2.2.3.2 Processo digital	27
2.2.2.4 Erros na medição eletrônica de distância	30
2.2.2.4.1 Erro de zero	31
2.2.2.4.2 Fator de escala	33
2.2.2.4.3 Erro cíclico	34
3 ASPECTOS BASILARES PARA A CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES ELETRÔNICOS DE DISTÂNCIA EM CAMPO E LABORATÓRIO	35
3.1 COM OBSERVAÇÕES DE CAMPO	35
3.1.1 Implantação do Sistema de Centragem Forçada	37
3.1.2 Determinação do Desnível entre os Pilares	38
3.1.3 Correções Ambientais das Distâncias entre os Pilares	41
3.1.3.1 Metodologia de campo	42
3.1.4 Controle da Estabilidade dos Pilares	43
3.1.4.1 Determinação da influência do erro instrumental na determinação das coordenadas dos pilares	44
3.1.4.2 Determinação das coordenadas planas dos pilares	49
3.1.4.2.1 Obtenção das equações diferenciais de azimute e de lado	50
3.1.4.3 Solução matemática	56
3.1.4.4 Procedimento de campo	58
3.1.4.5 Obtenção das coordenadas preliminares	60
3.1.4.6 Processo de ajustamento para a obtenção das coordenadas definitivas	61
3.2 COM OBSERVAÇÕES DE LABORATÓRIO	63
3.2.1 Requisitos para a Determinação das Componentes do Erro Cíclico	63

3.2.1.1 Base para a calibração.....	63
3.2.1.2 Alinhamento dos trilhos.....	66
3.2.2 Requisitos para a Determinação do Fator de Escala.....	69
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	72
4.1 QUALIDADE DO AJUSTAMENTO QUE DETERMINOU AS COORDENADAS DOS PILARES.....	72
4.2 ESTUDO DA SENSIBILIDADE DA BASE DE CALIBRAÇÃO DE CAMPO	78
5 METODOLOGIA DE CALIBRAÇÃO EM PROPOSIÇÃO	80
5.1 COM OBSERVAÇÃO DE CAMPO.....	80
5.1.1 Determinação da Escala da Base.....	83
5.2 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA APLICADA NA DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE CALIBRAÇÃO COM OBSERVAÇÃO DE CAMPO.....	83
5.2.1 Determinação do Fator de Escala e Erro de Zero.....	83
5.2.2 Determinação dos Elementos do Erro Cíclico.....	84
5.3 COM OBSERVAÇÕES DE LABORATÓRIO.....	86
5.3.1 Determinação do Fator de Escala.....	86
5.3.2 Determinação das Componentes do Erro Cíclico.....	88
5.4 CALIBRAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO TOTAL APLICANDO A METODOLOGIA PROPOSTA.....	91
5.4.1 Com Observações de Campo.....	91
5.4.2 Com Observações de Laboratório.....	93
5.4.2.1 Fator de escala.....	93
5.4.2.2 Elementos do erro cíclico.....	94
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	96
6.1 CONCLUSÃO.....	96
6.2 RECOMENDAÇÕES.....	97
REFERÊNCIAS	99
APÊNDICES	103
CURRÍCULO RESUMIDO DO AUTOR	130

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	: Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASK	: <i>Amplitude Shift Keying</i> (Modulação em Amplitude)
CdS	: Enxofre Cádmio
DIN	: <i>Deutsches Institut für Normung</i>
FSK	: <i>Frequency Shift Keying</i> (Modulação em Frequência)
GaAs	: Arsenio Gálio
GPS	: <i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
INMETR	: Instituto Nacional de Metrologia
O	
LACTEC	: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
LAIG	: Laboratório de Instrumentação Geodésica
LASER	: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Amplificação de luz por emissão estimulada de radiação)
MED	: Medidor Eletrônico de Distância
NBR	: Norma Brasileira da ABNT
ppm	: Parte por milhão
PbS	: Enxofre Chumbo
PbSeTe	: Telúrio Selênio Chumbo
PbTe	: Telúrio Enxofre
PSP	: Phase Shift Keying (Modulação em Pulso)
UFPR	: Universidade Federal do Paraná
UGGI	: União Geodésia e Geofísica Internacional
ZnO	: Oxigênio Zinco
ZnS	: Enxofre Zinco
ϕ	: Diâmetro

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1- PRINCÍPIO DA MEDIÇÃO ELETRÔNICA DE DISTÂNCIA	13
FIGURA 2.2- REPRESENTAÇÃO DA FUNÇÃO TRIGONOMÉTRICA ENVOLVIDA EM UM SISTEMA DE COORDENADAS POLAR E RETANGULAR	15
FIGURA 2.3- DOIS SINAIS SENOIDAIS COM MESMA AMPLITUDE E FASE DIFERENTES.....	17
FIGURA 2.4- ESQUEMA DOS DIODOS NORMAL E LASER.....	18
FIGURA 2.5- REPRESENTAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA.....	19
FIGURA 2.6- CURVAS CARACTERÍSTICAS DE EMISSÃO DOS DIODOS.....	20
FIGURA 2.7- COLIMAÇÃO DO FEIXE LASER.....	21
FIGURA 2.8- MODULAÇÃO DA ONDA PORTADORA COM SINAL SENOIDAL	22
FIGURA 2.9- CARACTERÍSTICA DE UM DIODO NORMAL	23
FIGURA 2.10-MODULAÇÃO DA ONDA PORTADORA COM UM SINAL QUADRADO	24
FIGURA 2.11-MODELO DE PRISMA DE REFLEXÃO TOTAL	24
FIGURA 2.12-ALVO DE REFLEXÃO ATRAVÉS DE SUPERFÍCIE ESPECULAR.....	25
FIGURA 2.13-ALVO DE REFLEXÃO DIFUSA	26
FIGURA 2.14-CARACTERÍSTICAS DE UM FOTODIODO.....	28
FIGURA 2.15-SISTEMA DIGITAL DE COMPARAÇÃO DE FASE.....	28
FIGURA 2.16-DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UM "MED".....	29
FIGURA 2.17-DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE ADITIVA.....	32
FIGURA 3.1- ESTRUTURAS DOS PILARES.....	36
FIGURA 3.2- PRIMEIRO SISTEMA DE CENTRAGEM FORÇADA.....	37
FIGURA 3.3- SISTEMA DE CENTRAGEM UTILIZADO ATUALMENTE.....	38
FIGURA 3.4- HORIZONTALIZAÇÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE PILARES.	40
FIGURA 3.5- PERFIL DO TERRENO ONDE SE LOCALIZA A BASE.....	40
FIGURA 3.6- GRÁFICO DAS CORREÇÕES DAS DISTÂNCIAS EM ppm.....	43
FIGURA 3.7- CONFIGURAÇÃO DA BASE COM OS PILARES EXCÊNTRICOS.....	44
FIGURA 3.8- DISTRIBUIÇÃO NORMAL PADRONIZADA	47
FIGURA 3.9- REPRESENTAÇÃO DO AZIMUTE E DISTÂNCIA ENTRE DOIS PONTOS NO PLANO.....	50
FIGURA 3.10-REPRESENTAÇÃO DA BASE NO SISTEMA DE COORDENADAS LOCAL UTILIZADO.....	55
FIGURA 3.11-ESTAÇÃO TOTAL ELTA 10 DA ZEISS.....	58
FIGURA 3.12-ESTAÇÃO TOTAL TC2002 DA LEICA.....	59
FIGURA 3.13-SISTEMA DE ALVOS.....	59
FIGURA 3.14-REFLETOR.....	59
FIGURA 3.15-BASE DE CALIBRAÇÃO DE MED EM LABORATÓRIO.....	63
FIGURA 3.16-ESPELHO UTILIZADO.....	64
FIGURA 3.17-SUPORTE DE ESPELHO.....	65
FIGURA 3.18-SISTEMA DE TRILHOS DO INTERFERÔMETRO.....	65
FIGURA 3.19-GRÁFICO DO DESNÍVEL DOS TRILHOS.....	66
FIGURA 3.20-REPRESENTAÇÃO DA HORIZONTALIZAÇÃO DA DISTÂNCIA...	67
FIGURA 3.21-RÉGUA HORIZONTAL DESENVOLVIDA PARA MEDIR A ONDULAÇÃO DOS TRILHOS.....	68
FIGURA 3.22-REPRESENTAÇÃO DO EIXO DA ROLDANA E O REFLETOR MÓVEL DO INTERFERÔMETRO.....	69

FIGURA 3.23- FOTODETECTOR – THORN-EMI.....	70
FIGURA 3.23- FREQUÊNCÍMETRO PM6673.....	70
FIGURA 3.24- OSCILOSCÓPIO PM3055.....	71
FIGURA 4.1 - GRÁFICO COM A REPRESENTAÇÃO DAS COORDENADAS CAMPANHA 1	73
FIGURA 4.2 - GRÁFICO COM A REPRESENTAÇÃO DAS COORDENADAS CAMPANHA 2	74
FIGURA 4.3 - GRÁFICO COM A REPRESENTAÇÃO DAS COORDENADAS CAMPANHA 3	75
FIGURA 4.4 - GRÁFICO COM A REPRESENTAÇÃO DAS COORDENADAS CAMPANHA 4	76
FIGURA 4.5 - GRÁFICO COM A REPRESENTAÇÃO DAS COORDENADAS CAMPANHA 5	77
FIGURA 5.1- CONJUNTO DE MEDIÇÕES REALIZADAS SOBRE A BASE.....	80
FIGURA 5.2- FOTODETECTOR CAPTANDO O SINAL DE MEDIÇÃO DA TC2002.....	87
FIGURA 5.3- TELA DO PROGRAMA DE CALIBRAÇÃO DE MED	91
FIGURA 5.4- ENTRADA DE DADOS EM CÁLCULOS- CAMPO ..	92
FIGURA 5.5- ENTRADA DE DADOS EM CÁLCULOS- LABORATÓRIO	94

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 - CARACTERÍSTICA DOS DIODOS LASER E NORMAL(AsAlGa).....	20
QUADRO 2.2 - ERROS ENVOLVIDOS NA MEDIDA ELETRÔNICA DE DISTÂNCIA	30
QUADRO 3.1 - DESNÍVEIS ENTRE OS PILARES.....	40
QUADRO 3.2 - COORDENADAS PRELIMINARES DOS PILARES.....	61
QUADRO 4.1 - RESULTADO DA CAMPANHA REALIZADA EM 17 DE MAIO DE 2000 (EQUIPAMENTO TC2002).....	73
QUADRO 4.2 - RESULTADO DA CAMPANHA REALIZADA EM 27 DE SETEMBRO DE 2000 (EQUIPAMENTO TC2002).....	74
QUADRO 4.3 - RESULTADO DA CAMPANHA REALIZADA EM 6 DE NOVEMBRO DE 2000(EQUIPAMENTO ELTA10).....	75
QUADRO 4.4 - RESULTADO DA CAMPANHA REALIZADA EM 6 DE NOVEMBRO DE 2000 (EQUIPAMENTO TC2002).....	76
QUADRO 4.5 - RESULTADO DA CAMPANHA REALIZADA EM 2 DE JULHO DE 2001 (EQUIPAMENTO TC2002).....	77
QUADRO 5.1 - ESCALA DA BASE OBTIDA COM O MED	82
QUADRO 5.2 - DESLOCAMENTOS CORRIGIDOS DO INTERFERÔMETRO....	88
QUADRO 5.3 - RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO DE CAMPO E LABORATÓRIO.....	95

RESUMO

A calibração de Medidores Eletrônicos de Distância (MED) consiste na determinação do erro de zero, fator de escala e elementos do erro cíclico. Para tal, são necessárias três etapas envolvendo operações de campo e de laboratório. Essas etapas são: determinação do erro de zero (não coincidência entre o centro mecânico e o centro eletrônico do MED); fator de escala (variação na frequência da onda portadora do sinal de medida); elementos do erro cíclico (amplitude e fase). Suas determinações são efetuadas respectivamente por meio de: observações em uma base para calibração em campo, tal como a disponível na UFPR; determinação do fator de escala em laboratório (medindo a frequência da onda portadora) e determinação precisa dos elementos do erro cíclico (amplitude e fase) por observações em uma base em ambiente fechado. O presente trabalho aborda a determinação dos fatores de calibração dos MEDs em laboratório e compara-os com o valor obtido em campo. As principais fontes de erros nos MEDs estão diretamente relacionadas com as variações produzidas pelo envelhecimento e temperatura dos cristais que modulam o sinal utilizado para determinar a distância entre o emissor e refletor, e também mau uso do equipamento. Com relação à medida da frequência o Professor Harald Schlemmer da Universidade de Darmstadt desenvolveu um fotodetector (EMI C536) cuja finalidade é captar o sinal emitido pelo MED, o qual é analisado por um freqüencímetro e por um osciloscópio de alta precisão disponível no (LAIG) e calibrados em laboratório credenciado pelo (INMETRO). O primeiro faz a medida da frequência e o segundo mostra o comportamento da onda. Esses procedimentos permitem a determinação da diferença entre a frequência nominal do equipamento fornecida pelo fabricante, e a frequência obtida em laboratório. Essa diferença afeta o fator de escala. Com relação ao erro cíclico, a calibração em laboratório consiste em comparar deslocamentos dados pelo instrumento que está sendo calibrado e o mesmo deslocamento medido com um instrumento de alta precisão. Neste trabalho de pesquisa, o instrumento que será considerado como padrão primário é um interferômetro LASER, que nas condições em que está instalado permite definir deslocamentos com precisão de 10 μm . No campo, são necessárias observações sobre uma base linear. Essa base deve ser medida, em uma primeira fase, com um MED de alta precisão e, posteriormente pelo processo de ajustamento, obtem-se os fatores de calibração dos MEDs de menor precisão ou equivalente. Neste processo é possível determinar também o erro de zero e uma estimativa do erro cíclico. O presente trabalho, além de apresentar a metodologia de calibração de MED com observações de campo e laboratório, faz um estudo da estabilidade de redes geodésicas para definir possíveis variações temporais dos pilares que compõem a base de calibração de campo.

Palavras-chave: Calibração, medidor eletrônico de distância, erro de zero, fator de escala, elementos do erro cíclico, base para calibração em campo, base para calibração em laboratório.

ABSTRACT

The calibration of Electronic Distance Meters (EDM) consists in the determination of the zero mistake, scale factor and elements of the cyclical mistake. For such, it is necessary three stages involving field and laboratory operations. These stages are: determination of the zero mistake (no coincidence between the mechanical and electronic center of MED); scale factor (variation in the frequency of the wave bearer of the measure sign); elements of the cyclical mistake (width and phase). These determinations are made respectively through: observations in a field base, just as the available in the extent of UFPR; determination of the scale factor in laboratory (measuring the frequency of the wave bearer); determination the elements of the cyclical mistake (width and phase) through observations in a base in closed atmosphere. The present work approaches the determination of the factors of calibration of MEDs in laboratory and it compares them with the value obtained in field. The principal error source in the EDMs are directly related with the variations produced by ageing and temperature of the crystals that modulate the sign used to determine the distance between the originator and reflector, and also bad use of the equipment. Regarding measure of the frequency the professor Harald Schlemmer of the University of Darmstadt developed a fotodetector (EMI C536) whose purpose is to capture the sign emitted by MED, which is analyzed by a frequency metero and for an oscilloscope of high precision, available in LAIG and gaged at laboratory accredited by INMETRO. The first makes the measure of the frequency and the second shows the behavior of the wave. Those procedures allow the determination of the difference between the nominal frequency of the equipment, supplied by the manufacturer, and the frequency obtained at laboratory. That difference affects the scale factor. Regarding the cyclical mistake, the calibration in laboratory consists of comparing displacements given by the instrument that is being gaged and the same measured displacement with an instrument of high precision. In this research work, the instrument that will be considered as pattern it is an interferômetro LASER, that in the conditions that it is installed allows to define displacements accurately of 10 micrometers. In the field, it is necessary observations on a base (as the one of UFPR). That base should be measured, in a first phase with a MED of high precision and later, through adjustment process, be obtained the calibration factors of MEDs of smaller equivalent precision. In this process it is possible also to determine the zero mistake and an estimate of the cyclical mistake. The present work besides presenting the methodology of calibration of MED with field observations and laboratory, makes a study of the geodesic stability of nets to define possible temporary variations of the pillars that compose the calibration field base.

Key words: Calibration, Electronic Distance Meter, Mistake of Zero, scale Factor she climbs, Elements of the Cyclical Mistake, Base for calibration in field, base for calibration in laboratory.

1 INTRODUÇÃO

A calibração de Medidores Eletrônicos de Distância (MEDs) está pautada pela determinação do erro de zero ou constante aditiva (não coincidência do centro eletrônico do MED com o centro mecânico do teodolito, materializado pelo eixo principal do mesmo), pela determinação do fator de escala (variação da frequência da onda portadora, causada principalmente pelo envelhecimento do cristal) e pela determinação das componentes de erro cíclico (que consiste na determinação da sua amplitude e o ângulo de fase).

A calibração destes equipamentos tem sido muito explorada principalmente utilizando bases lineares de campo. Na Austrália, por exemplo, em uma região do país, estado de Victoria, foram implantadas cinco bases lineares para a calibração destes equipamentos (VICTORIA 1998, p. 6). Porém a calibração de MED com observações de laboratório é um tema pouco explorado e é uma proposição de metodologia apresentada neste trabalho.

RÜEGER (1996, p. 209) sugere que sejam realizados estudos para a determinação das componentes do erro cíclico utilizando interferômetro *Laser*. Este experimento faz parte deste trabalho.

A calibração de MEDs no Brasil teve início em 1974 com a implantação de uma base de calibração com dois quilômetros, materializada no terreno por sete marcos de concreto ao longo da BR 277 que liga Curitiba a Paranaguá, realizada pelo Eng. Civil Álvaro Doubek MSc., professor da UFPR. A definição da escala da base foi realizada com uma fita de invar 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 com 789,920m na Fazenda Cangüiri pertencente à UFPR.

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

Outra instituição de ensino que também 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 $1\text{mm} + 1\text{ppm}$ (PACILEO NETTO, 1990).

Até aqui, todas as propostas de calibração destes equipamentos estão 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 Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas 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 Universidade Federal do Pernambuco para calibração de MED (BRANDÃO, 1996)

1.1. OBJETIVOS

A proposta desta Tese de Doutorado é estabelecer uma metodologia para a calibração de MEDs, seja de forma isolada ou compondo uma Estação Total, com observações de campo e laboratório. Para tal, foi desenvolvido um estudo da estabilidade dos pilares que compõem a base de campo, além da implantação de um sistema de centragem forçada mais eficiente. Associados a este processo foram implementados dois procedimentos no LAIG. O primeiro, teve o objetivo de medir a frequência do instrumento em laboratório, com freqüencímetro certificado e com isso determinar o fator de escala. O segundo, teve o objetivo de determinar as componentes do erro cíclico utilizando o interferômetro LASER, disponível no LAIG.

1.2. JUSTIFICATIVA

Poucas são as instituições no Brasil que desenvolvem pesquisa nesta área. Porém atualmente, praticamente todos os projetos que utilizam como base um produto cartográfico em desenvolvimento ou em fase de licitação, têm exigido dentro dos seus quesitos, a verificação, classificação e calibração do instrumental. Tal

atribuição é delegada pela ABNT para instituições públicas, entre elas as Universidades.

A utilização conjunta de observações de campo e laboratório, para determinar os três elementos de calibração de Medidores Eletrônicos de Distância, é inédito a nível de Brasil.

Outro aspecto importante, que deve ser abordado, é a contribuição que este trabalho trará para o aperfeiçoamento das Normas Técnicas Brasileiras, no que tange aos processos de calibração destes equipamentos.

1.3. ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA

A fim de transmitir aos leitores os procedimentos adotados e os resultados obtidos, o assunto é tratado com o desenvolvimento dos seguintes conteúdos:

No capítulo 2 são apresentados a conceituação sobre termos técnicos utilizados em metrologia e, também, a fundamentação teórica sobre a medição eletrônica de distância;

No capítulo 3 são apresentados os aspectos descritivos a serem abordados neste trabalho, no que diz respeito à metodologia de campo e de laboratório. Tais como: Determinação da estabilidade dos pilares, projeto e construção dos suportes de refletor ajustáveis de alta precisão utilizados na determinação dos elementos do erro cíclico em laboratório, calibração do freqüencímetro que foi utilizado para medir a freqüência de operação do instrumento que está sendo calibrado.

No capítulo 4 realiza-se uma análise da estabilidade dos pilares que compõem a base de campo. Para tal, determinou-se às coordenadas dos pilares em épocas diferentes utilizando ajustamento pelo método de variação de coordenadas. NO capítulo 5 aborda-se a metodologia de calibração proposta neste trabalho, bem como a calibração de um instrumento aplicando esta metodologia;

No capítulo 6 apresentam-se as conclusões e recomendações, evidenciando a contribuição deste trabalho;

Nos apêndices são apresentadas as cadernetas de campo, projeto do suporte dos espelhos, certificado de calibração do freqüencímetro realizado pelo LACTEC, utilizando um padrão primário, certificado de calibração da TC2002, seguindo a proposta deste trabalho e a sua classificação conforme MEDINA (1998).

2 TERMOS TÉCNICOS UTILIZADOS EM INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA E FUNDAMENTOS DA MEDIÇÃO ELETRÔNICA DE DISTÂNCIA

2.1 TERMOS TÉCNICOS UTILIZADOS EM INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA

A terminologia utilizada em levantamentos geodésicos, principalmente no que se refere à instrumentação geodésica, gera muita incerteza e mesmo conflito de interpretação na comunidade. Na seqüência serão apresentados termos técnicos que podem contribuir para a compreensão do tema abordado neste trabalho, como também para aprofundar a discussão da terminologia aplicada em instrumentação e metrologia no contexto deste estudo.

2.1.1 Termos Técnicos Utilizados em Metrologia

O INMETRO, através da publicação “*Vocabulário de metrologia legal e Vocabulário de termos fundamentais e gerais de metrologia*”, define Verificação, Aferição e Calibração da seguinte forma (INMETRO, 1989):

Verificação - Conjunto de operações, compreendendo o exame, a marcação ou selagem (ou) emissão de um certificado e que constate que o instrumento de medir ou medida materializada satisfaz às exigências regulamentares.

Aferição - Conjunto de operações que estabelece, em condições especiais, a correspondência entre os valores indicados por um instrumento de medir, ou por um sistema de medição ou por uma medida materializada e os verdadeiros convencionais da grandeza medida.

Observações:

- 1) O resultado de uma aferição permite determinar os erros de indicação de um instrumento de medir;
- 2) Uma aferição pode também, através de ensaios, determinar outras propriedades metrológicas;
- 3) O resultado de uma aferição pode ser registrado num documento chamado certificado ou relatório de aferição.

Calibração - Conjunto de operações que estabelece, em condições especiais, a correspondência entre o estímulo e a resposta de um instrumento de medir, sistema de medir ou mostrador de medição.

Observações:

- 1) O resultado de uma calibração pode permitir a determinação de um ou mais parâmetros da curva característica que relaciona o estímulo a resposta ou os valores das grandezas correspondentes às divisões de escalas identificadas de um instrumento de medir.
- 2) Os termos "**Aferição**" e "**Calibração**" estão reunidos nos termos "**étalonnage**" em francês, e "**Calibration**" em inglês.

Classificar - consiste em distribuir em classes ou grupos segundo um sistema de classificação. A norma brasileira NBR13133 (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 (NBR13133,1994).

O Bureau Internacional de Pesos e Medidas mantém uma publicação, em Inglês e Francês, sobre os principais termos técnicos utilizados em metrologia. Com relação ao abordado nesta publicação devem ser destacadas, principalmente as definições vinculadas ao termo Calibração (ISBN, 1993).

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

Observações:

- 1) o resultado de uma calibração permite determinar os valores das medidas indicadas ou as correções com relativas aos valores indicados.
- 2) uma calibração também pode determinar outras propriedades metrológicas como, por exemplo, a influência da aplicação das correções nas medições.

- 3) o resultado de uma calibração pode ser registrado em um documento, chamado de certificado de calibração ou relatório de calibração. Trad. Pelo Autor.

A norma alemã DIN 2257 de novembro de 1982 define calibração da seguinte forma (DIN 2257, 1982).

Calibração - é a determinação da relação (ou coerência) entre a quantidade de saída e a quantidade de entrada; por exemplo, entre a indicação de um aparelho de medir ou de um equipamento de medição e o valor da quantidade de medição.

Em regra, é averiguada a diferença entre a indicação real (ou instantânea) e o valor correto (ou valor nominal ou valor teórico).

O resultado da calibração pode ser aplicado ou ajustado.

NOTA:

A denominação “aferição” deve ser evitada, por ser utilizada, também, no sentido legal e por isso pode conduzir para o mau entendimento. Trad. Pelo Autor.

A mais recente definição do termo calibração é encontrada em (MÖSER, et al 2000):

Calibração - Entende-se por calibração a exame (“Chekup”) de aparelhos de medição e a determinação de desvios desde o valor nominal (ou teórico) , ou então, a observância das fronteiras de erro.

Não se efetua junto da calibração nenhuma intervenção e nenhuma alteração no aparelho de medição; Todavia, eventualmente, a possibilidade de eliminar os desvios mediante a fixação dos valores de correção existe. Trad. Pelo Autor.

Os termos técnicos relacionados à metrologia, freqüência e tempo apresentados na seqüência, foram estruturados a partir das bibliografias encontradas em. SISMETRA (2001) e ON (2001).

Acurácia ⇒ **Exatidão** - Grau de conformidade de um valor medido ou calculado em relação à sua definição ou com respeito a uma referência padrão.

NOTA:

Na visão do autor exatidão é um termo descritivo de resultados de operações exatas, portanto desvinculadas de observações.

A definição acima cabe ao termo **Acurácia**. Este termo quando traduzido para o português pode ser vinculado à palavra precisão e exatidão, porém se sabe que em português suas definições são diferentes.

Acurácia de medição - Grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando.

Acurácia de um instrumento de medição - Aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas a um valor verdadeiro

Ajustabilidade - Capacidade de um dispositivo em reproduzir o mesmo valor quando parâmetros específicos são ajustados independentemente sob condições estabelecidas de uso.

Certificação - Procedimento pelo qual um organismo imparcial credenciado atesta por escrito que o sistema ou pessoas são competente para realizar tarefas específicas.

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.

Envelhecimento - Mudança sistemática em frequência, ao longo do tempo, devido a mudanças internas em um oscilador. Por exemplo, a frequência de 100 kHz de um oscilador a quartzo pode envelhecer até que sua frequência se torne 100,01 kHz (ver, deslizamento).

Faixa Nominal - Faixa de indicação que se pode obter em uma posição específica dos controles de um instrumento de medição

Faixa de medição - Conjunto de valores de um mensurando, para o qual admite-se que o erro de um instrumento de medição mantenha-se dentro dos limites especificados.

Incerteza de medição - Parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando.

Instrumento de medição - dispositivo utilizado para uma medição, sozinho ou em conjunto com dispositivo(s) complementar(es).

✓ **Indicação (de um instrumento de medição)**: valor de uma grandeza fornecida por um instrumento de medição.

✓ **Grandeza (mensurável)**: atributo de um fenômeno, corpo ou substância que pode ser qualitativamente distinguido e quantitativamente determinado.

✓ **Escala (de um instrumento de medição)**: conjunto ordenado de marcas, associado a qualquer numeração, que faz parte de um dispositivo mostrador de um instrumento de medição.

Mensurando - Grandeza específica submetida à medição.

Metrologia - Ciência das medições.

Metrologia científica - Parte da metrologia que trata da pesquisa e manutenção dos padrões primários. No Brasil o Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) é o órgão que detém os padrões nacionais, no Laboratório Nacional de Metrologia, e que é encarregado de repassar os valores dos mesmos aos demais laboratórios nacionais, inclusive aos responsáveis pela metrologia legal.

Metrologia legal - Parte da metrologia que trata das unidades de medida, métodos de medição e instrumentos de medição em relação às exigências técnicas

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

Padrão de trabalho - Padrão utilizado rotineiramente para calibrar ou controlar medidas materializadas, instrumentos de medição ou materiais de referência.

Precisão - O grau de concordância mútua entre uma série de medidas individuais. A precisão é muitas vezes, mas não necessariamente, expressa pelo desvio padrão das medidas.

Rastreabilidade - Propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas.

Reprodutibilidade - Quando se refere às medidas realizadas por um conjunto independente de dispositivos semelhantes, a reprodutibilidade constitui a habilidade desses dispositivos em reproduzir os mesmos resultados.

Resolução - Resolução de uma medida é o algarismo menos significativo que pode ser medido, e depende do instrumento utilizado para realizar a medida. Por exemplo, a medida de deslocamentos lineares feitos com um interferômetro *LASER* pode ter uma resolução de $1\mu.m$

2.1.2 - Termos Técnicos Utilizados em Tempo e Freqüência

Ambigüidade em tempo - Condição em que se tenha mais do que um valor possível. Por exemplo, se um relógio de 24 horas mostra 15 horas, 5 minutos e 8 segundos, há uma ambigüidade em relação ao dia, mês e ano.

Fase - Medida de uma fração do período de um fenômeno repetitivo, em relação a alguma característica bem definida do fenômeno em si. Nos serviços de freqüência padrão e sinais horários, são consideradas principalmente as diferenças de fase em tempo tais como as diferenças de tempo entre duas fases identificadas do mesmo fenômeno ou de dois fenômenos diferentes.

- ✓ **Salto de Fase** - Uma mudança súbita de fase em um sinal.
- ✓ **Afastamento de Fase** - Uma mudança intencional em fase a partir de uma referência.
- ✓ **Desvio de fase** - A diferença da fase a partir de uma referência.
- ✓ **Marca da Fase** - Um deslocamento deliberado de fase para a identificação de um sinal.

Freqüência - Razão de variação temporal de um fenômeno periódico.

- ✓ **Afastamento de freqüência** - Mudança em freqüência a partir de um padrão de referência.
- ✓ **Desvio de freqüência** - Diferença entre valores de freqüência de um mesmo sinal em dois instantes diferentes ou a diferença entre a freqüência instantânea de um sinal e a freqüência média do sinal.
- ✓ **Diferença de freqüência** - A diferença entre as freqüências de dois sinais diferentes.
- ✓ **Deslocamento de freqüência** - A diferença de freqüência entre um valor obtido e o valor da freqüência de referência. O deslocamento não é obrigatoriamente referido ao valor nominal. Por exemplo, durante testes de irradiação, o deslocamento é referido à freqüência anterior à irradiação.
- ✓ **Deslizamento de freqüência** - O componente linear (primeira ordem) de uma mudança sistemática em freqüência de um oscilador ao longo do tempo. O

deslizamento é devido ao envelhecimento mais as mudanças ambientais e outros fatores externos ao oscilador (**Ver envelhecimento**).

✓ **Estabilidade de frequência** - Estimativa estatística das flutuações na frequência de um sinal em um dado intervalo de tempo.

✓ **Padrão de frequência** - Um gerador de frequência tal como rubídio, césio ou maser de hidrogênio cujas saídas de frequência são usadas como referência.

✓ **Padrão primário de frequência** - Um padrão cuja frequência corresponde a definição adotada para o segundo com a obtenção da sua acurácia especificada, sem necessidade de calibração externa. Na atualidade, somente os padrões de frequência de césio são definidos como padrões primários. Células a gás de rubídio, masers de hidrogênio, e outros tipos de padrões atômicos não são por definição, considerados padrões primários.

✓ **Padrões secundários de frequência** - Um padrão de frequências que requer calibração externa.

✓ **Estabilidade em longo período** - Normalmente envolve médias de medidas realizadas em intervalos de 100 ou mais segundos.

✓ **Estabilidade em curto período** - Normalmente envolve médias de medidas realizadas em intervalos de décimos de segundo a 100s.

NOTA:

Geralmente, há uma distinção entre efeitos sistemáticos tais como deslizamentos de frequência e flutuações estocásticas de frequência. Variâncias especiais foram desenvolvidas para a caracterização dessas flutuações. Instabilidades sistemáticas podem ser causadas por radiação, pressão, temperatura, e umidade. Instabilidades randômicas ou estocásticas são caracterizadas tipicamente no domínio do tempo ou da frequência. Elas são tipicamente dependentes da largura de banda do sistema de medidas ou nas amostragens de tempo ou tempo de integração

2.2 – FUNDAMENTOS DA MEDIÇÃO ELETRÔNICA DE DISTÂNCIA

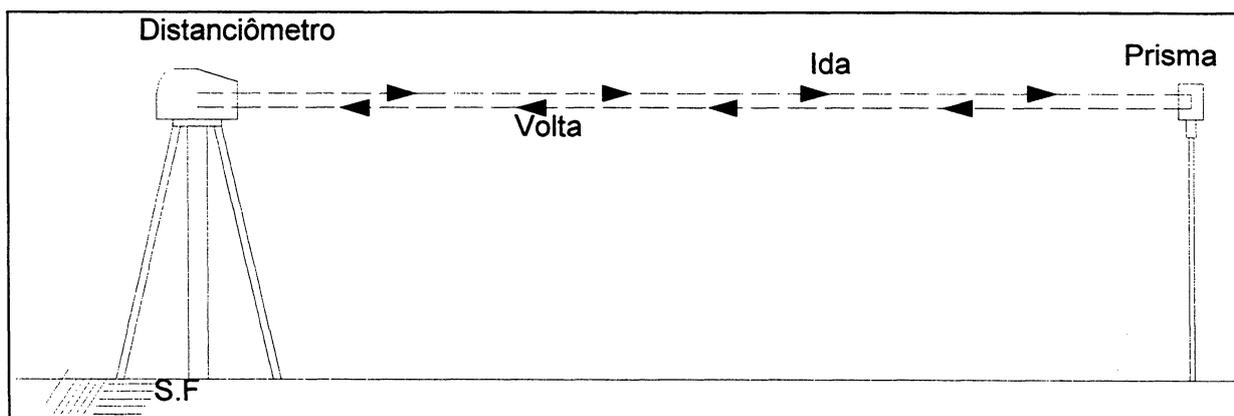
2.2.1 - Generalidades

A medição de distância na Topografia e na Geodésia sempre foi um problema, devido ao tempo necessário para realizá-la e também devido à dificuldade de se obter boa precisão.

Baseado no princípio de funcionamento do RADAR surgiram em 1948 os geodímetros e em 1957 os telurômetros. Estes são primeiros equipamentos que permitiram a medida indireta da distância utilizando o tempo e a velocidade de propagação da onda eletromagnética.

Em 1968 surgiu o primeiro distanciômetro optico-eletrônico. Todo o princípio de funcionamento baseia-se na determinação do tempo t que leva a onda eletromagnética para percorrer a distância, de ida e volta, entre o equipamento de medição e o refletor (figura 2.1).

FIGURA 2.1- PRINCÍPIO DA MEDIÇÃO ELETRÔNICA DE DISTÂNCIA



A equação aplicável a este modelo é:

$$2D = C \Delta t. \quad (2.1)$$

Onde:

C : Velocidade de propagação da luz no meio;

D : Distância entre o emissor e o refletor;

Δt : Tempo de percurso do sinal.

Logo, para obter esta distância, usando esta metodologia é necessário conhecer a velocidade de propagação da luz no meio e o tempo de deslocamento do sinal.

A velocidade de propagação da luz no meio não é possível ser determinada diretamente em campo; em virtude disso utiliza-se a velocidade de propagação desta mesma onda no vácuo e do índice de refração no meio (n) para obter este valor.

Este índice de refração é determinado em ensaios de laboratório durante a fabricação do equipamento para um determinado comprimento de onda, pressão atmosférica e temperatura.

A velocidade de propagação da luz no vácuo (C_0) é uma constante física obtida por experimentos, e sua determinação precisa é um desafio constante para físicos e até mesmo para o desenvolvimento de Medidores Eletrônicos de Distância (MED) de alta precisão (RÜEGER, 1990, p.06).

De posse dos parâmetros C_0 e n , a velocidade de propagação da onda eletromagnética no meio (C) é dada por:

$$C = C_0 / n. \quad (2.2)$$

Outro parâmetro necessário para determinação da distância é o tempo de deslocamento do sinal. Atualmente não existem cronômetros para uso em campo capazes de determinar este tempo uma vez que o mesmo é pequeno e o desvio admissível na medida é da ordem de 10^{-12} s. Para perceber esta dificuldade é apresentado a seguir um exemplo com base no tempo gasto por uma onda eletromagnética para percorrer uma distância de 1km e retornar à unidade emissora do sinal. Isolando Δt na equação 2.1 obtém-se a seguinte expressão:

$$\Delta t = 2D / C. \quad (2.3)$$

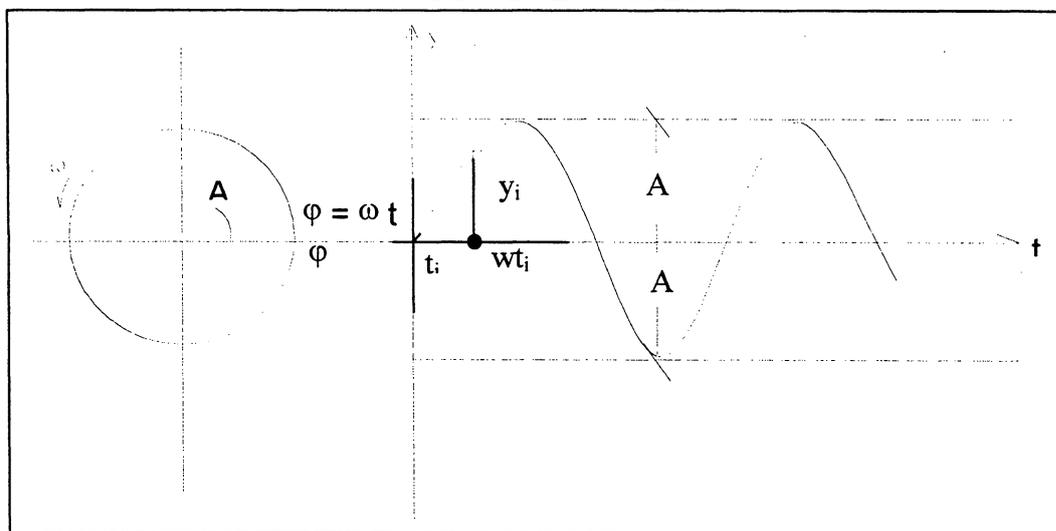
Considerando que a velocidade de propagação da luz no vácuo é cerca de 300.000 km/s e aplicando-o na equação 2.3, obtém-se:

$$\Delta t = (2 \times 1 \text{ km}) / (3 \times 10^5 \text{ km/s}) \approx (2 / 3) \times 10^{-5} \Rightarrow \Delta t = 6 \times 10^{-6}$$

Assim sendo, para um distanciômetro garantir a precisão nominal de 1 km, o tempo deve ser medido com a precisão da ordem de 6×10^{-6} s. Continuando com a mesma analogia, para um distanciômetro garantir a precisão de 1 cm deve-se medir o tempo com precisão de 6×10^{-11} s. Como já foi dito, inexistem cronômetros práticos com tal precisão, inviabilizando a utilização desta técnica. A alternativa encontrada foi relacionar a variação de tempo com a variação da fase do sinal de medida.

Os elementos que caracterizam a onda eletromagnética (figura 2.2) são a amplitude (A), a velocidade angular (ω), a frequência (f) o ângulo de fase (φ) e o tempo de percurso do sinal (t). $\varphi = \omega t$

FIGURA 2.2 - REPRESENTAÇÃO DA FUNÇÃO TRIGONOMÉTRICA ENVOLVIDA EM UM SISTEMA DE COORDENADAS POLAR E RETANGULAR



FONTE: Adaptada de RÜEGGER, (1996, p.04)

A relação entre o tempo de deslocamento de um sinal, e o ângulo de fase deste mesmo sinal é apresentado, com base na (figura 2.2), no desenvolvimento a seguir.

$$y = A \cdot \text{sen}(\varphi) \quad (2.4)$$

ou

$$y = A \cdot \text{sen}(\omega t). \quad (2.5)$$

Como

$$\varphi = \omega t$$

e

$$\omega = 2\pi f, \quad (2.6)$$

Então, a equação 2.5 é reescrita como:

$$y = A \text{ sen } (2 \pi f t). \quad (2.7)$$

O efeito de uma variação de fase ($\Delta\varphi$) é igual a uma variação de tempo (Δt) para o mesmo sinal. Substituindo a equação 2.6 nas equações 2.4 e 2.5, estas variações ficam assim expressas:

$$y = A \cdot \text{sen } [\omega (\Delta t + t)] \quad (2.8)$$

ou

$$y = A \cdot \text{sen } (\Delta\varphi + \varphi), \quad (2.9)$$

onde:

$\Delta t =$ Variação do tempo;

$\Delta\varphi =$ Variação de fase.

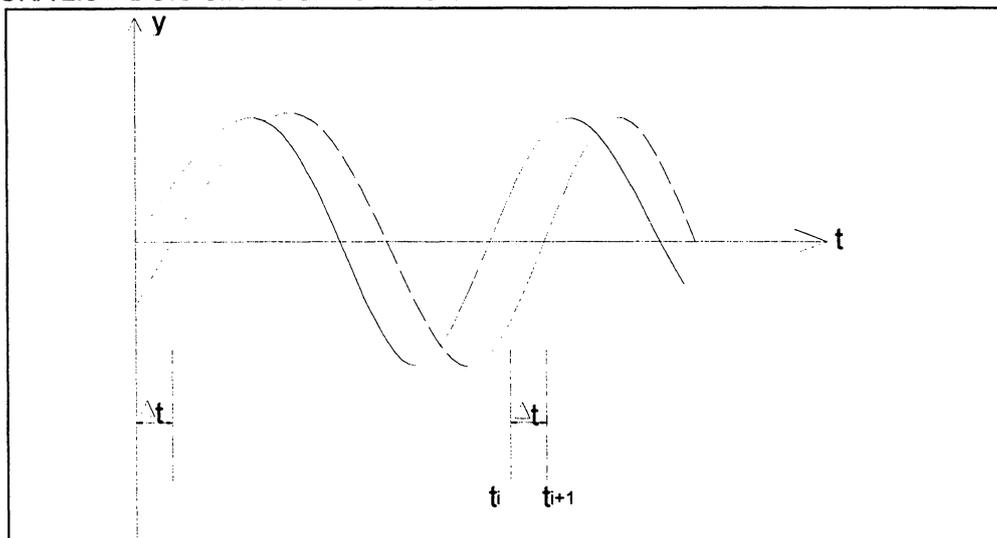
Na (figura 2.3) apresenta-se uma variação de tempo Δt entre duas fases identificadas de mesmo fenômeno ou de fenômenos diferentes. Esta variação também pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\Delta\varphi = \Delta t \omega,$$

ou

$$\Delta t = \Delta\varphi / 2\pi f. \quad (2.10)$$

FIGURA 2.3 – DOIS SINAIS SENOIDAIS COM MESMA AMPLITUDE E FASE DIFERENTES



FONTE: Adaptada de RÜEGER, (1996, p.05)

Na (figura 2.3), admitindo $i = 1$, a equação 2.10 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$t_2 - t_1 = (\varphi_2 - \varphi_1) / 2\pi f. \quad (2.11)$$

Substituindo as equações 2.2 e 2.11 na equação 2.1 obtém-se a seguinte equação para a distância:

$$D = C_0 (\varphi_2 - \varphi_1) / 4\pi f n. \quad (2.12)$$

A equação 2.12 apresenta a forma utilizada para determinar a distância (figura 2.1), considerando a variação da fase do sinal de medida ao em vez da variação do tempo de deslocamento deste mesmo sinal.

2.2.2 Fundamentos dos Medidores Eletrônicos de Distâncias

As estações totais atualmente disponíveis no mercado, em sua maioria, possuem MEDs que trabalham com onda portadora na faixa infravermelho do espectro eletromagnético. Um dos primeiros instrumentos que utiliza portadora diferente é um modelo da AGA que usa LASER hélio néon (HeNe). Lançamentos recentes, como por exemplo, a Leica a TCR 307 utilizam LASER, porém com diodos

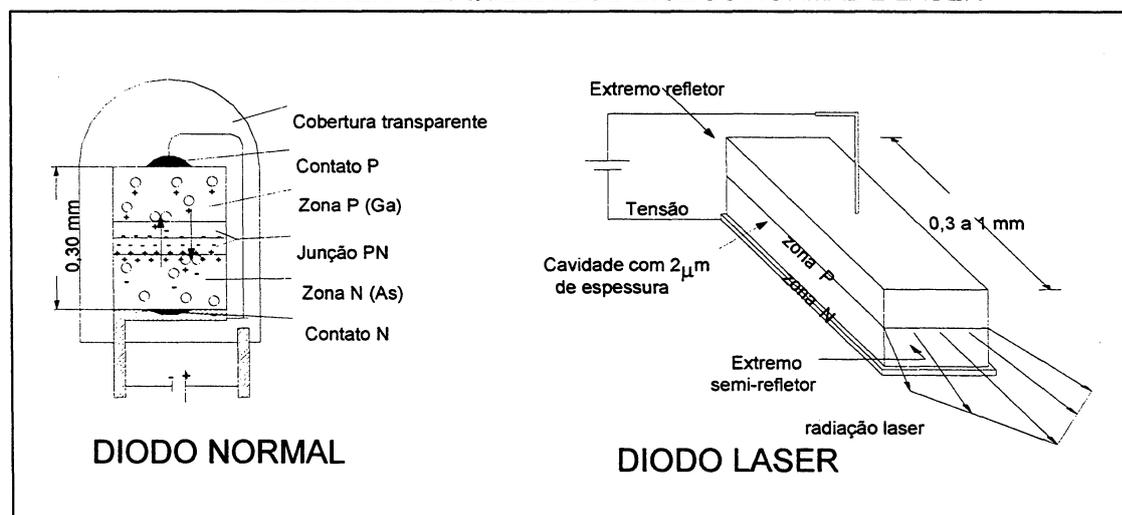
de Gálio e Arsênio (GaAs). Segundo o manual do usuário deste equipamento a precisão nominal na distância é de 2mm + 2ppm, quando utiliza infravermelho e 3mm + 2ppm quando utiliza (LASER LAICA TCR 307, 2000).

A maioria das fontes da onda portadora, no caso do infravermelho, utiliza um díodo de Gálio e Arsênio (GaAs), com um comprimento de onda entre 900 e 920 nm (RÜEGER, 1996; KAHMEN e FAÍG, 1988)

Os díodos emissores de luz, bastante difundidos, também podem gerar uma emissão LASER, porém com baixa potência, mas com a vantagem de ter um baixo custo e pequeno volume. O primeiro díodo LASER concebido a partir de um díodo emissor de luz foi viabilizado em 1962.

No caso do infravermelho, o díodo é um mono-cristal de arsênio, gálio e alumínio, dopado com átomos fornecedores de elétrons como o telúrio (Te) e receptores de elétrons como o zinco (Zn) unidos de maneira que formem uma junção Positiva Negativa (PN) no que se refere a sua polaridade elétrica (figura 2.4).

FIGURA 2.4 – ESQUEMA DOS DÍODOS NORMAL E LASER



FONTE: VALBUENA, ([199?], p.46)

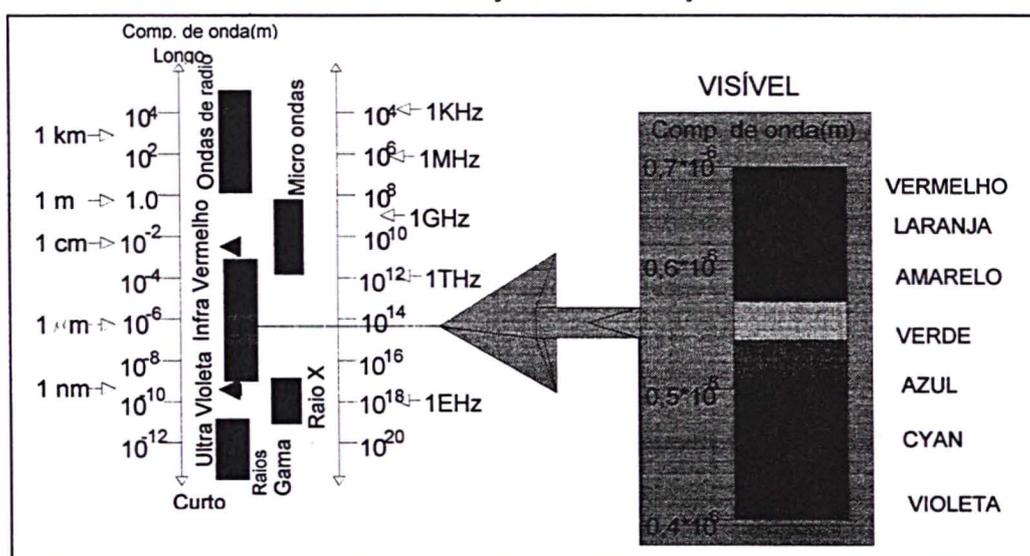
A estrutura cristalina de união é covalente e os elétrons, denominados elétrons de valência, se encontram em diferentes órbitas sendo que sua energia está localizada na chamada Banda de Valência. Se aplicada uma determinada energia, os elétrons passam para uma banda mais energizada chamada de Banda de Condução. Tais bandas estão separadas por uma zona denominada Zona Proibida. É ali que ocorre a excitação dos elétrons que não haviam conseguido chegar para a

zona de condução, e com isso retornam para a zona de valência, emitindo um fóton, devolvendo a energia recebida. Em todos os semicondutores existe um excesso de elétrons na zona Positiva, e buracos ou lacunas na zona negativa em função da dopagem. Na zona intermediária ou região de transição, os elétrons e os buracos formam uma barreira. Se aplicarmos uma diferença de potencial nesta região, os elétrons energizam-se e entram na junção ou zona proibida, conduzindo a corrente (MILLMAM e HALKIAS, 1981; VALBUENA, [199?]).

O díodo luminescente e o díodo LASER são também baseados em parte neste princípio, porém com diferenças nos seguintes aspectos: No caso do LASER, (Figura 2.4), além de a parte superior ter uma aparência maciça, o semiconductor termina em faces planoparalelas perpendiculares com a junção das bandas formando uma cavidade ressonante. Esta característica faz com que a onda eletromagnética emitida tenha um comportamento unidimensional com uma orientação definida e não espalha (radiação coerente). O díodo normal ou luminescente tem o mesmo princípio, porém sua emissão espalha uniformemente para todas as direções na forma de radiação incoerente (HOWARD, 1999).

Como pode ser visto na (figura 2.5), as ondas eletromagnéticas podem ser representadas em termos de comprimento de onda ou frequência.

FIGURA 2.5 – REPRESENTAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA



Conforme informações contidas no manual técnico da (TC2002, 1994, p.24-5) o comprimento da onda portadora é de $0,850 \mu\text{m}$. Observando a (figura 2.5), este

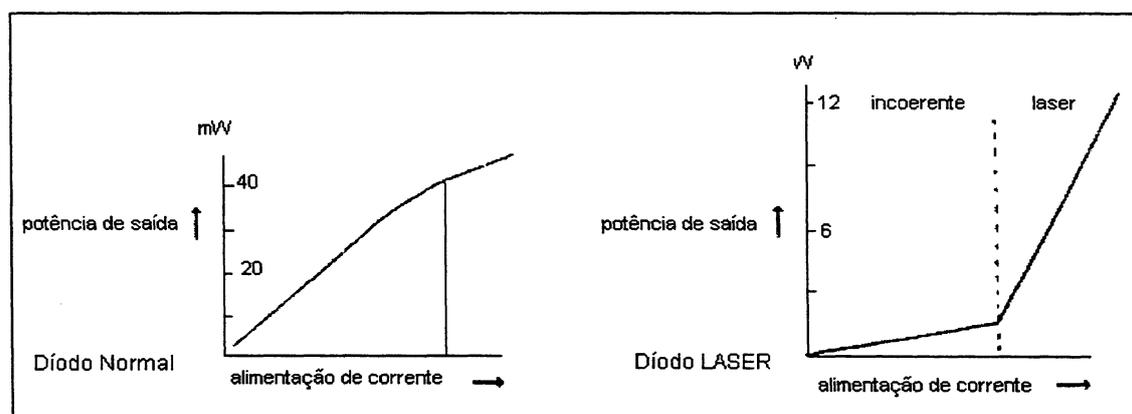
valor encontra-se na faixa do infravermelho. Já quando se utiliza a portadora LASER, o comprimento de onda vai de 620 a 690nm (TCR307, 2000, p. 132). Observando novamente a (figura 2.5), percebe-se que neste caso o sinal LASER utilizado pelo equipamento encontra-se na faixa do visível.

Se a tensão aplicada a um diodo luminescente for aumentada e essa passar de um certo valor mínimo a onda moduladora entra em ressonância proporcionando um sinal diferente denominado de LASER de Injeção (RÜEGER, 1996).

Além dos diodos de GaAs, que se utiliza na maioria das Estações Totais e MEDs, existem diversas outras combinações, como: ZnS, ZnO, CdS, PbS, PbTe, PbSe, PbSeTe, dentre outras, que operam numa faixa de freqüência, com comprimento de onda que vai desde 330 nm até 3,12 μm . Observando novamente a (figura 2.5), o LASER produzido pelos diodos citados, não está na faixa do visível.

Os diodos luminosos e LASER de GaAs têm diferentes características como pode ser visto na (figura 2.6) e na (quadro 2.1).

FIGURA 2.6 – CURVAS CARACTERÍSTICAS DE EMISSÃO DOS DÍODOS



FONTE: VALBUENA, ([199?], p.48)

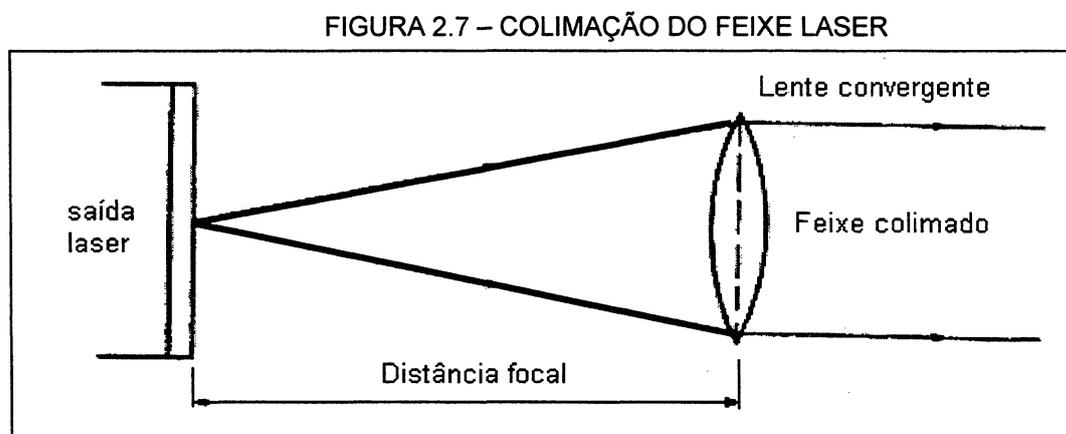
QUADRO 2.1 - CARACTERÍSTICA DOS DÍODOS LASER E NORMAL (AsGa)

FUNÇÃO	DÍODO COM RADIAÇÃO INCOERENTE	DÍODO COM RADIAÇÃO COERENTE
Regime de Trabalho	Contínuo	Pulsos
Pico de potência na saída	40 mw	12 w
Mínima potência de saída	3 mw	12 mw
Rendimento	4 %	4 %
Capacidade de trabalho	100 %	0,1 %
Inércia	300 ns	< 1 ns
Tamanho da Banda espectral	40 nm	3 nm
Abertura do feixe ou dispersão	< 15 ^o	< 10 ^o

Considerando-se a dispersão e orientação do feixe espectral emitido pelos diodos *Laser* de GaAs, em comparação com emissores LASER convencionais, os mesmos são de potência bastante modesta. Porém, seu alto rendimento utilizando baixa voltagem, rapidez de resposta, solidez, tamanho reduzido e baixo consumo fazem deles fontes ideais para a emissão da onda portadora em Estações Totais e MEDs (MILLMAM e HALKIAS, 1981; VALBUENA, [199?]).

Com relação à dispersão ou ângulo de abertura do feixe e à falta de orientação, tal fato pode ser explicado pela existência de pequena separação entre as superfícies refletoras do diodo, que varia de 0,3 a 1 mm.

Devido à dispersão, conforme a tabela 01, consequência da pequena dimensão do diodo Laser GaAs, o feixe deve ser colimado utilizando um sistema de lentes convergentes (figura 2.7).



FONTE: VALBUENA, ([199?], p.48)

2.2.2.1. Sistemas de modulação

Utiliza-se o termo modulação para descrever o processo pelo qual a característica de uma onda, chamada portadora, é alterada de acordo com o sinal de uma segunda onda chamada moduladora.

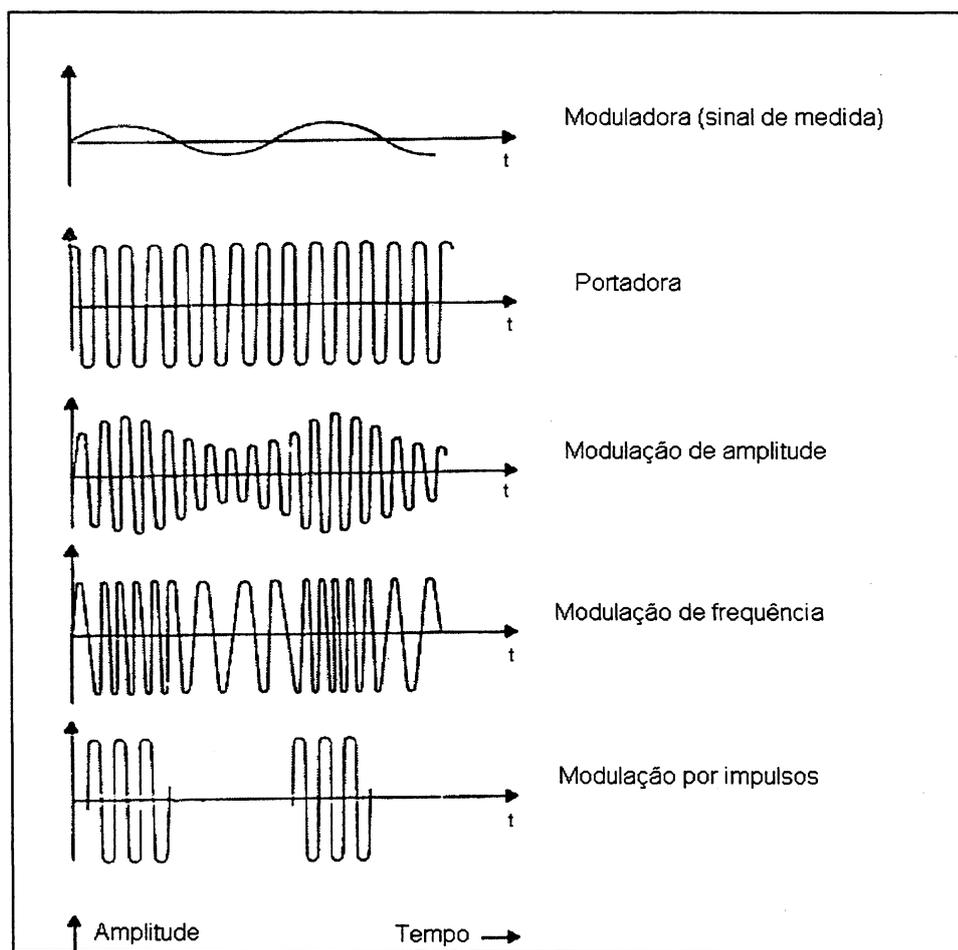
A onda portadora serve como meio de transporte para a informação, o qual neste trabalho é o sinal de medição. Para transportá-lo, modula-se a onda portadora.

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 retorno do sinal de medida é provável que a fase do sinal não fique estável.

Esta modulação do sinal pode ser feita em freqüência, amplitude, pulso (figura 2.8) e em rotação do plano criado pela passagem do sinal (CORDINI, 1991; KAHMEN e FÁIG, 1988).

FIGURA 2.8 – MODULAÇÃO DA ONDA PORTADORA COM UM SINAL SENOIDAL



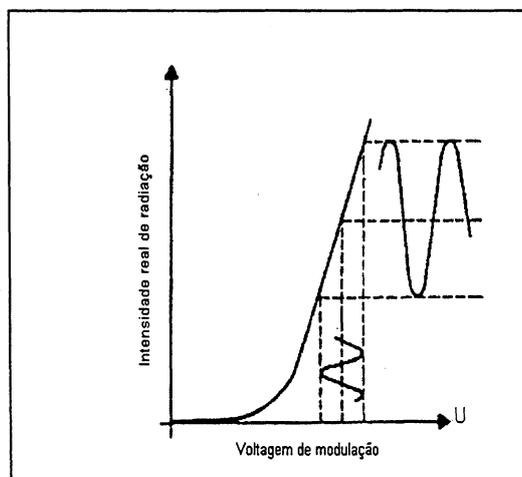
FONTE: KAHMEN & FÁIG, 1988, p.154

No presente estudo será tratada a modulação em amplitude e pulso, métodos estes largamente aplicados pelos MEDs que utilizam infravermelho e LASER respectivamente como portadora.

2.2.2.1.1. Modulação em amplitude

Neste caso a amplitude da onda portadora é proporcional a amplitude da onda moduladora, no instante de emissão, com frequência constante (figura 2.9).

FIGURA 2.9 – CARACTERÍSTICA DE UM DÍODO NORMAL



FONTE: KAHMEN & FÁIG, 1988, p.160

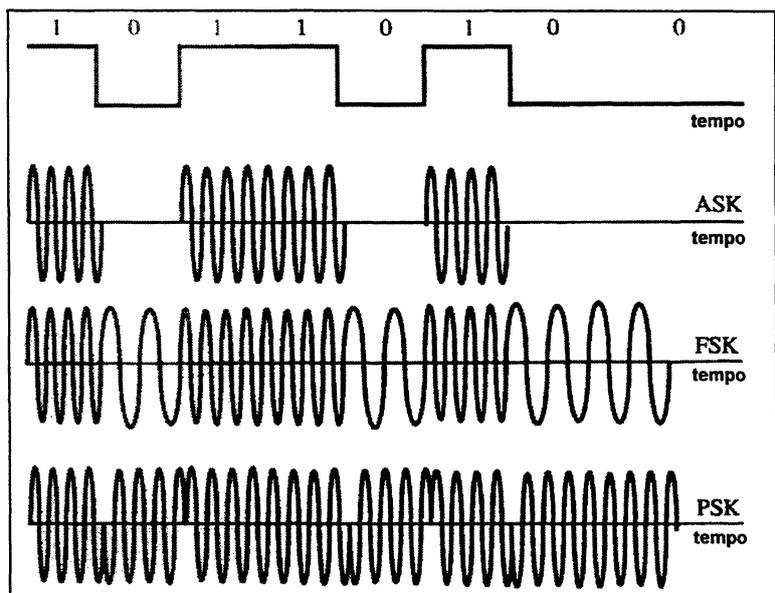
Neste processo, a amplitude da portadora ou intensidade do sinal emitido, sempre com frequência constante, é proporcional ao sinal modulador sob a forma de uma tensão elétrica (voltagem).

Na maioria dos instrumentos, onde a modulação da onda é feita em amplitude, um circuito eletrônico estabilizado por um cristal de quartzo é responsável por esta tarefa, aplicando uma tensão proporcional à amplitude do sinal modulador no cristal emissor do sinal da onda portadora (RUGÜER, 1996, p31).

2.2.2.1.2. Modulação em pulso

Na modulação em pulso a onda moduladora é primeiramente transformada em onda quadrada. Neste caso a amplitude da onda portadora é proporcional a onda moduladora, ou seja, a portadora passa de emissão máxima (dígito 1 do sistema binário) para uma pausa na emissão (dígito zero do sistema binário) e vice-versa sem estágios intermediários (figura 2.10). Logo a obtenção do tempo de deslocamento do sinal de medida é de forma direta. Este método é aplicado nos equipamentos que empregam portadora LASER.

FIGURA 2.10 – MODULAÇÃO DA ONDA PORTADORA COM UM SINAL QUADRADO



FONTE: LEICK, (1994, p.69)

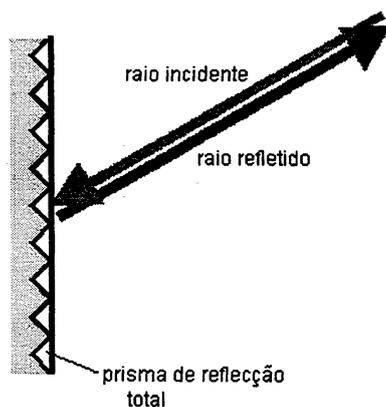
Nos MEDs a modulação é feita por um circuito eletrônico que aplica ao diodo emissor uma tensão proporcional à amplitude da onda moduladora.

2.2.2.2 Devolução do sinal

A devolução do sinal de medida, nos MEDs, pode ser feita de três maneiras: reflexão total, superfície especular e reflexão difusa.

a) Reflexão Total - Utilizado por equipamentos com portadora Infravermelho, e para portadoras LASER para medida de grandes distâncias (figura. 2.11).

FIGURA 2.11 – MODELO DE PRISMA DE REFLEXÃO TOTAL



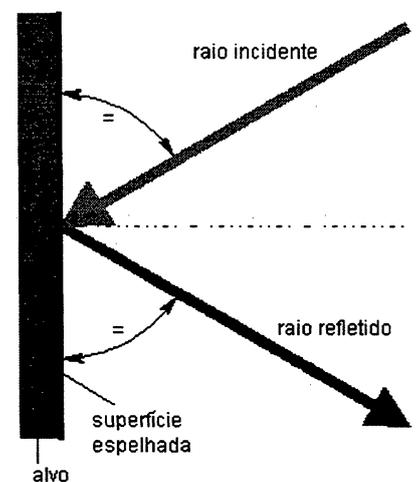
FONTE: FAGGION (1999, p11)

Este tipo de refletor é mais conhecido como refletor de canto, formado por três faces ortogonais. Sua principal característica consiste na devolução do sinal independentemente do ângulo de incidência no refletor. O mesmo retorna paralelamente.

Nesta estrutura encaixam-se também as fitas adesivas utilizadas em rodovias para sinalização, conhecidas popularmente como "olho-de-gato". Estes modelos são econômicos e eficientes, porém só têm boas respostas para distâncias curtas. Tais sistemas podem ser utilizados na locação de máquinas industriais e como alvos permanentes para controle de estruturas.

b) Superfície especular - pode ser utilizado em casos específicos, como no posicionamento em três dimensões de pontos onde não é possível realizar uma visada direta.

FIGURA 2.12 – ÁLVO DE REFLEXÃO ATRAVÉS DE SUPERFÍCIE ESPECULAR

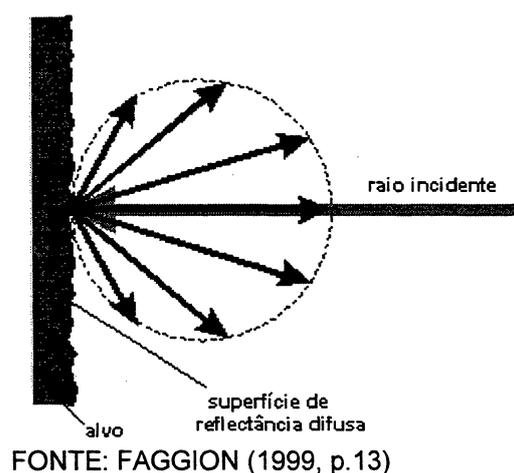


FONTE: FAGGION, (1999, p.12)

Como pode ser visto na (figura 2.12), a característica deste alvo consiste em refletir o raio incidente com o mesmo ângulo de incidência. A aplicação deste tipo de alvo na medida eletrônica de distancia é muito restrita.

c) Reflexão difusa - Este princípio de reflexão está sendo muito explorado pelos fabricantes de estações totais que utilizam díodos LASER para gerar a onda portadora.

FIGURA 2.13 – ÁLVO DE REFLEXÃO DIFUSA



O Laser é uma fonte de luz coerente, ou seja, com todas seus fótons em fase, logo com incidência bem localizada. Tal fato possibilita a utilização do princípio da reflexão difusa (figura 2.13), para realizar medidas de pequenas distâncias sem o processo da reflexão total. Isto só é possível tendo em vista que pelo menos uma porção do sinal refletido retorna paralelo ao sinal emitido. Tendo em vista este fato é possível determinar o tempo de deslocamento do sinal até o anteparo e retorno ao emissor.

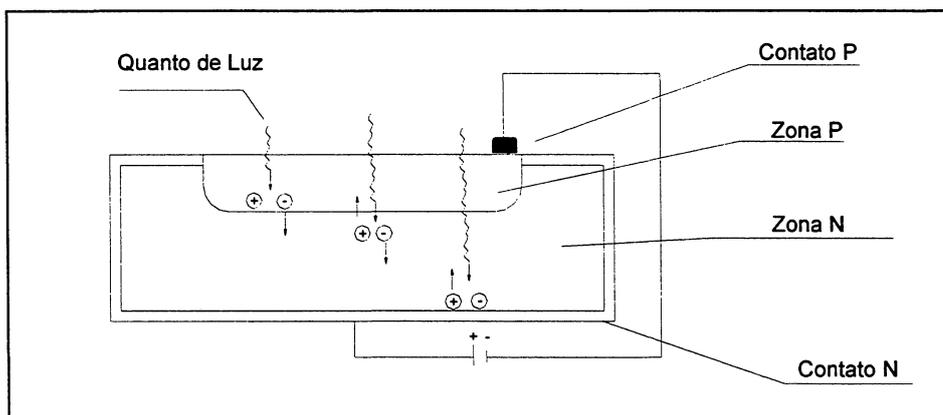
2.2.2.3 Recepção do sinal

O sinal de medida é modulado e enviado até o refletor ou superfície refletora, que materializa o outro extremo da distância que se deseja medir e retorna à origem. Nesse momento é necessário separar a onda portadora da moduladora, ou seja, realizar a demodulação do sinal recebido para que se possa comparar a fase de retorno com a fase de emissão, no caso dos equipamentos que utilizam portadora Infravermelho ou determinar o tempo de deslocamento do sinal para os equipamentos que utilizam LASER como portadora.

A recepção do sinal se faz em um sistema óptico, onde por um conjunto de refletores e ou refratores, que colimam o feixe refletido e o encaminham a um fotodetector. Quando o sinal é recebido, os fótons são absorvidos pela zona intermediária gerando, com isso, elétrons na zona positiva P e falta na zona negativa

"N". Submetendo este sinal a uma tensão, o fluxo de corrente torna-se proporcional a intensidade de luz incidente. Na (figura 2.14) pode ser visto este fenômeno.

FIGURA 2.14 – CARACTERÍSTICA DE UM FOTODIODO



FONTE: KAHMEN e FÁIG (1988, p.159)

2.2.2.3.1 Comparação de fase

O maior problema na determinação da distância se resume na medida na diferença de fase entre o sinal emitido (sinal de referência) e o recebido (sinal de retorno), ambos senoidais e relacionados com a onda moduladora. Nos equipamentos atuais a determinação do $\Delta\phi$, é feita pelo método da busca do nulo de forma digital. Este método consiste em relacionar o tempo de deslocamento do sinal por processos exclusivamente digitais.

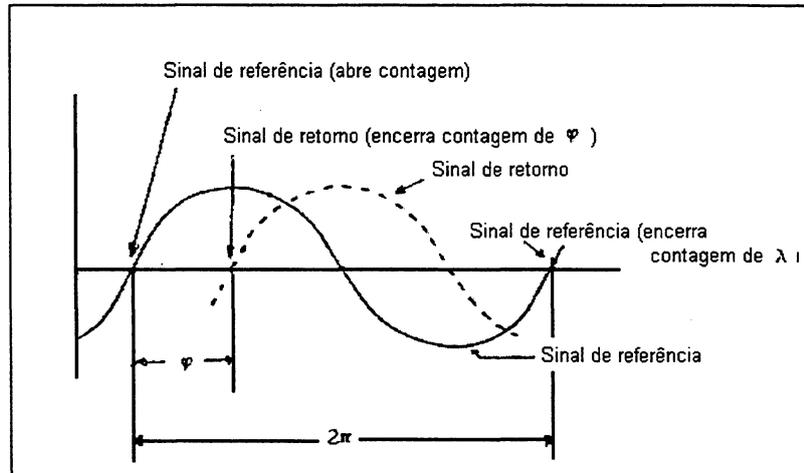
2.2.2.3.2 Processo digital

Este método é utilizado na maioria dos MEDs automáticos. O tempo do percurso de ida e volta do sinal é obtido por processos exclusivamente eletrônicos.

Neste processo observa-se a variação do sinal emitido e refletido que se repete muitas vezes e em muitas frequências, porém sempre obedecendo a um mesmo modelo. Para tal, dispara-se um contador de pulsos, gerados pelo oscilador principal do MED, no momento em que inicia a fase de um sinal de referência e trava-o no início da fase seguinte. Com isso, obtém-se o t_{λ} proporcional ao comprimento de onda λ (figura 2.14).

Outro circuito dispara um contador ao mesmo tempo; porém, agora o trava na origem da fase do sinal de retorno obtendo assim o valor de t_d , proporcional à diferença de fase.

FIGURA 2.15 – SISTEMA DIGITAL DE COMPARAÇÃO DE FASE.



FONTE: VALBUENA, ([199?], p.53)

O valor angular φ (defasagem do sinal emitido e detectado pelo fotodetector) será dado por:

$$\varphi = 2\pi (t_d / t_\lambda). \quad (2.14)$$

Onde:

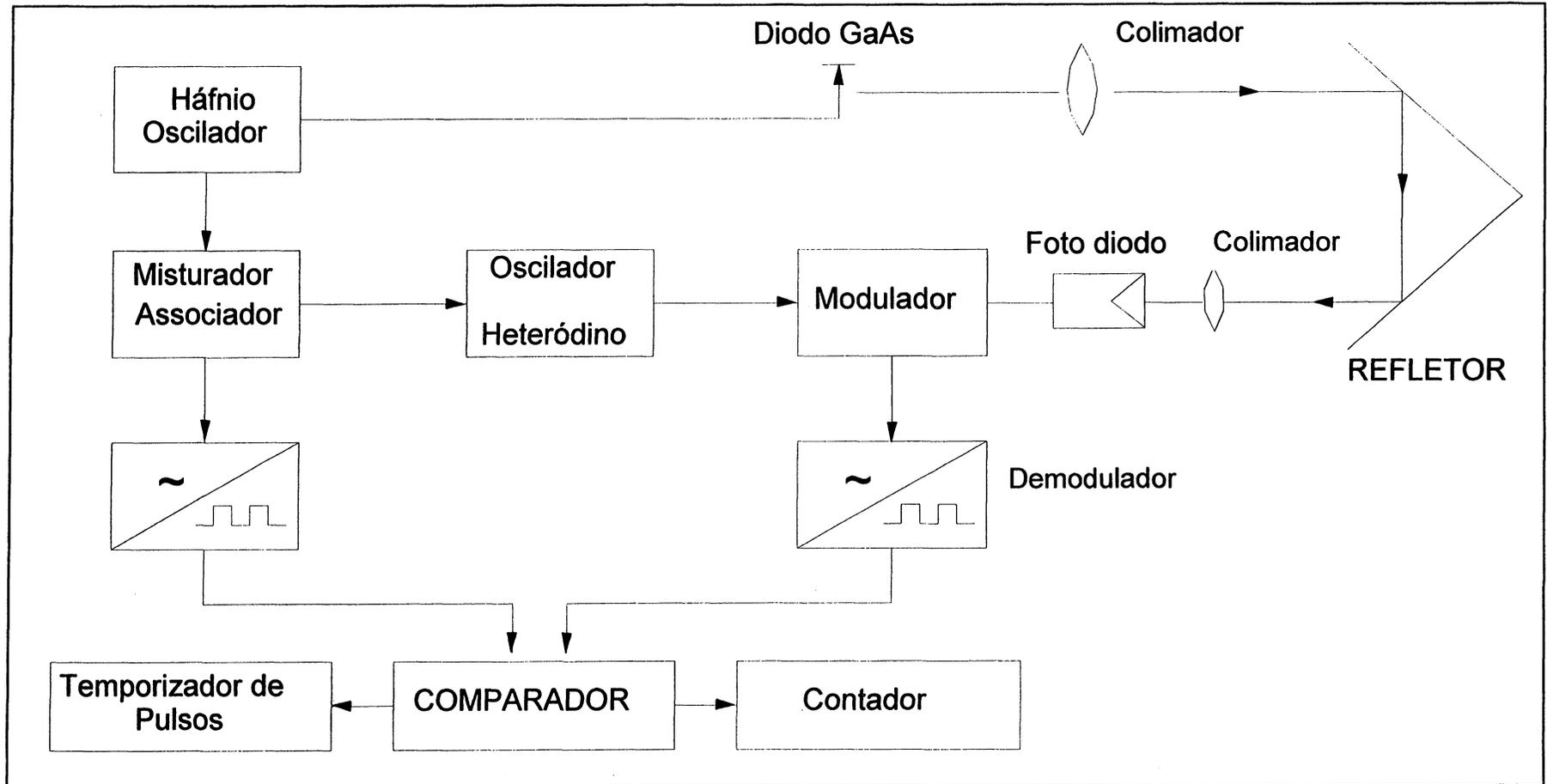
t_λ = Número de pulsos gerados pelo oscilador principal do MED, decorrido entre duas fases sucessivas do sinal de referência.

t_d = Número de pulsos do sinal de retorno, decorrido entre o início da contagem (sinal de referência) e a detecção do sinal de retorno.

Usualmente o valor de φ que é utilizado pelo processador interno do instrumento é a média de milhares de terminações sucessivas realizadas em um pequeno intervalo de tempo.

Com base nas informações apresentadas até aqui, pode ser estabelecido um diagrama de blocos ilustrando o princípio de medição de um MED, como pode ser visto na (figura 2.16).

FIGURA 2.16 – DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UM "MED"



2.2.2.4 Erros na medição eletrônica de distância

Todos os distanciômetros optico-eletrônicos apresentam um grande número de fontes de erros instrumentais, de origem óptica ou eletrônica, independentemente do princípio de determinação do tempo de deslocamento do sinal ser medida de pulso ou comparação de fase.

Normalmente a magnitude destes erros é pequena e, por um processo de calibração, são determinadas pelo fabricante. Efeitos não modelados são embutidos na precisão do instrumento, por exemplo, 2mm + 2ppm. A componente inteira (2mm) deste erro corresponde ao erro de zero e amplitude do erro cíclico e a componente variável (2ppm) corresponde ao erro provocado pela variação na frequência da onda portadora. Os significados destes erros estão descritos na seção seguinte.

Como alguns destes erros ultrapassam a especificação do instrumento e ocorrem com seu envelhecimento, eles devem ser determinados por de um processo de calibração.

Nas medições eletrônicas de distância estão envolvidos os seguintes erros nos medidores que utilizam Infravermelho como portadora (quadro 2.2).

QUADRO 2.2 – ERROS ENVOLVIDOS NA MEDIDA ELETRÔNICA DE DISTÂNCIA

Erros		Tipos de Erros							
		C	D	E	F	G	H	I	K
<i>Erros Instrumentais</i>									
1	Constante aditiva – Erro de zero		X				X		
2	Problemas na junção elétrica óptica.			X					
3	Multicaminho			X					
4	Falta de homogeneidade na emissão do diodo		X		X				
5	Erro em frequência –Fator de escala				X		X	X	X
7	Desvio de Fase	X	X						
6	Medida de fase: - Digital - Analógico	X	X	X					
8	Ponto: Ponto eletrônico Ponto óptico mal ajustado no telescópio	X	X		X	X			
9	Consequência da potência do sinal			X		X			
10	Atenuador do efeito do diafragma		X						
11	Variação da constante do refletor		X		X	X			
14	Resolução do valor de entrada em ppm	X			X				
<i>Erros não instrumentais</i>									
15	Erro de centragem do refletor	X							
16	Não nivelamento do refletor	X							

ERROS		Tipos de Erros							
		C	D	E	F	G	H	I	K
17	Estação do refletor	X							
18	Medida da temperatura	X			X				
19	Medida da pressão atmosférica	X			X				
20	Descuido na medida da umidade	X			X				
21	Reflexão, pelo refletor, de luz inerente a outras fontes luminosas diferentes da onda portadora								
22	Turbulência atmosférica	X							

FONTE: RÜEGER (1996, p.184)

Os erros descritos acima têm a seguinte distinção:

- C: Erro aleatório;
- D: Erro sistemático, apenas erro de constante;
- E: Erro sistemático, periódico de distância;
- F: Erro sistemático, na distância linear;
- G: Erro sistemático, não linear dependente da distância;
- H: Dependente da temperatura;
- I: Dependente do tempo;
- K: Dependente da voltagem.

Na seqüência serão detalhados os erros passíveis de serem determinados por um processo de calibração.

2.2.2.4.1 Erro de zero

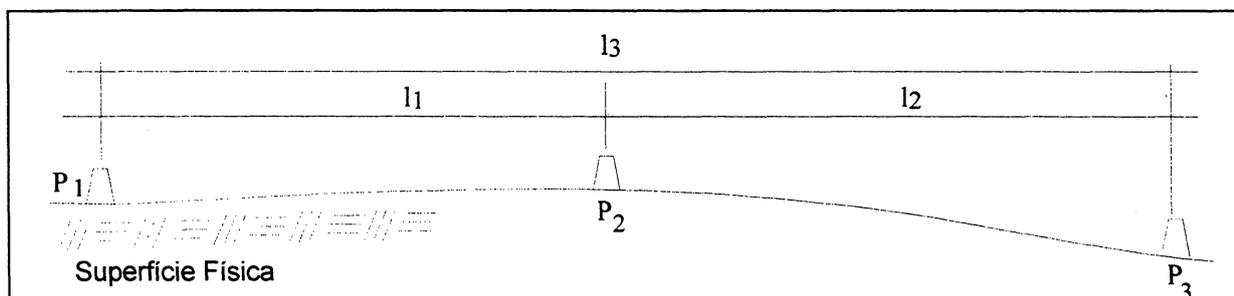
O erro de zero também chamado de constante aditiva, consiste na diferença entre o centro geométrico do instrumento, materializado pelo sistema de eixos, e o centro eletrônico, emissor do sinal para a medição eletrônica da distância. Sua determinação é feita pelo fabricante e incorporada ao instrumento.

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 se possa realizar as correções nas medições

Testes realizados em diversas pesquisas mostraram que a constante aditiva também pode ser afetada por inúmeros parâmetros, como por exemplo a variação brusca da temperatura.

Sua determinação pode ser feita, de forma simplificada, utilizando uma base com duas distâncias conhecidas conforme a (figura 2.17),

FIGURA 2.17 – DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE ADITIVA



FONTE: ADAPTADO DE (GRIPP, 1986)

Na (figura 2.17) tem-se

l_i = Distância real;

d_i = Distância medida;

Z_0 = Erro de zero $Z_0 = l_i - d_i$

Sendo possível obter:

$$(d_3 + Z_0) = (d_1 + Z_0) + (d_2 + Z_0);$$

$$Z_0 - 2Z_0 = -d_3 + d_1 + d_2;$$

$$d_3 + Z_0 = 2Z_0 + d_1 + d_2;$$

$$-Z_0 = -d_3 + d_1 + d_2 \cdot (-1)$$

$$Z_0 = d_3 - d_1 - d_2 \quad (2.15)$$

Utilizando as distâncias entre os pilares P5, P6 e P7 da base de campo implantada na fazenda Cangüiri da UFPR (o detalhamento sobre esta base será feito no capítulo 3), da campanha realizada em junho de 1996, com a Estação Total TC2002, chega-se ao seguinte valor para o erro de zero.

As distâncias medidas são as seguintes:

$$P_5 \rightarrow P_6 = 111,429 \text{ m};$$

$$P_6 \rightarrow P_7 = 30,241 \text{ m};$$

$$P_5 \rightarrow P_7 = 141,670 \text{ m}$$

Aplicando estas distâncias na equação 2.15, chega-se ao seguinte valor para a constante aditiva do instrumento.

$$Z_0 = 141,670 - 111,429 - 30,241$$

$$Z_0 = 0,0 \text{ m}$$

Este resultado é extremamente importante, tendo em vista que a TC2002 está sendo utilizada como padrão.

A determinação definitiva deste erro sairá do ajustamento que determinará os fatores de calibração dos MEDs. Este tema será tratado com mais propriedade no capítulo 3.

2.2.2.4.2 Fator de escala

A maior causa do afastamento de frequência, que proporciona o fator de escala nos MEDs, é a variação da temperatura e desgaste do cristal oscilador. Existe também um grande número de efeitos externos, como por exemplo:

Utilização de um valor incorreto para a velocidade da luz;

Erros na determinação da correção da primeira velocidade;

Erro na medida da temperatura e pressão atmosférica;

Reduções geométricas incorretas;

Omissão da correção da umidade.

A componente, passível de ser determinada no processo de calibração, é o afastamento de frequência.

Quase a totalidade dos distanciômetros de curta distância trabalham com osciladores que têm compensador de temperatura do tipo TCXO (*temperature-compensated crystal oscillator*), os quais garantem uma precisão de 1 ppm, quando trabalhando com temperaturas entre 0° e 50°, e uma precisão de 3 ppm quando trabalham em temperaturas de -20° a 50°. Nesse sistema, a compensação na temperatura é alcançada com um circuito usando capacitores termistores e/ou resistores sensíveis à temperatura, (RÜEGER, 1996).

Há mais dois outros tipos de compensadores, muito menos comuns, os OCXO (*Oven-controlled crystal oscillator*) e os do tipo RTXO (*room temperature crystal oscillator*), que garantem respectivamente maior e menor precisão que os distanciômetros que usam os TCXO como base de tempo.

Erros de frequência ocorrem principalmente por desgaste do cristal modulador do sinal de medida, provocando um acréscimo de 0,2 a 1 ppm, na distância medida, por ano de uso, para distanciômetros que usam compensadores dos tipos TCXO e OCXO respectivamente (RÜEGER, 1982; FRERKING, 1978). Os erros influenciados por temperatura, também podem ser muito significativos. Por estes motivos, faz-se necessária uma calibração periódica da frequência dos instrumentos.

2.2.2.4.3 Erro cíclico

Este tipo de erro só está presente em distanciômetros que utilizam comparador de fase para determinar o tempo de deslocamento do sinal de medição entre o emissor, refletor e seu retorno ao emissor/receptor. Esta característica está presente em instrumentos que utilizam infravermelho como portadora.

Segundo os fabricantes as componentes do erro cíclico são desprezíveis nos equipamentos atuais, porém trabalhos realizados por diversos pesquisadores demonstram a presença deste erro com o envelhecimento e uso dos equipamentos (RÜEGER, 1996).

O erro cíclico é provocado por um salto de fase entre a sua emissão e recepção do sinal de medição. O comportamento deste erro é de forma cíclica em meio comprimento de onda de modulação e sua variação é de forma senoidal.

No capítulo 5, será tratado sua determinação com observações de campo e laboratório.

3 ASPECTOS BASILARES PARA A CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES ELETRÔNICOS DE DISTÂNCIA EM CAMPO E LABORATÓRIO

3.1 COM OBSERVAÇÕES DE CAMPO

Tendo em vista a necessidade de calibração dos MEDs em intervalos regulares de tempo, devido às variações das constantes instrumentais, ou também devido ao manuseio intensivo e sem cuidado do equipamento, construiu-se nas dependências da fazenda experimental (chamada Cangüiri localizada na região metropolitana de Curitiba) da UFPR uma base linear multipilares constituída de sete pilares numa linha de projeção reta, num plano horizontal, onde o afastamento entre seus extremos é de aproximadamente 789,920 m.

Para determinar o espaçamento entre os pilares que constituem a linha base, dois critérios foram seguidos (GRIPP, 1986).

- a) A implantação dos pilares foi feita de forma a proporcionar uma boa distribuição das distâncias ao longo da metade do comprimento de onda de modulação básica dos principais MEDs disponíveis no mercado;
- b) Os pilares foram implantados de forma que haja pares de distâncias que diferem entre si de apenas um ciclo da curva do erro cíclico.

Assim, se para os equipamentos a serem calibrados, este ciclo é de 6m ou 10 m, deverá haver um número par de observações, existindo sempre duas que diferem entre si apenas de 3m ou 5m.

Para determinar o local de implantação da linha de base multipilares da UFPR seguiram-se os seguintes critérios citados por vários autores sobre o assunto, dentre os quais (RÜEGER, 1990; FAGGION, 1999):

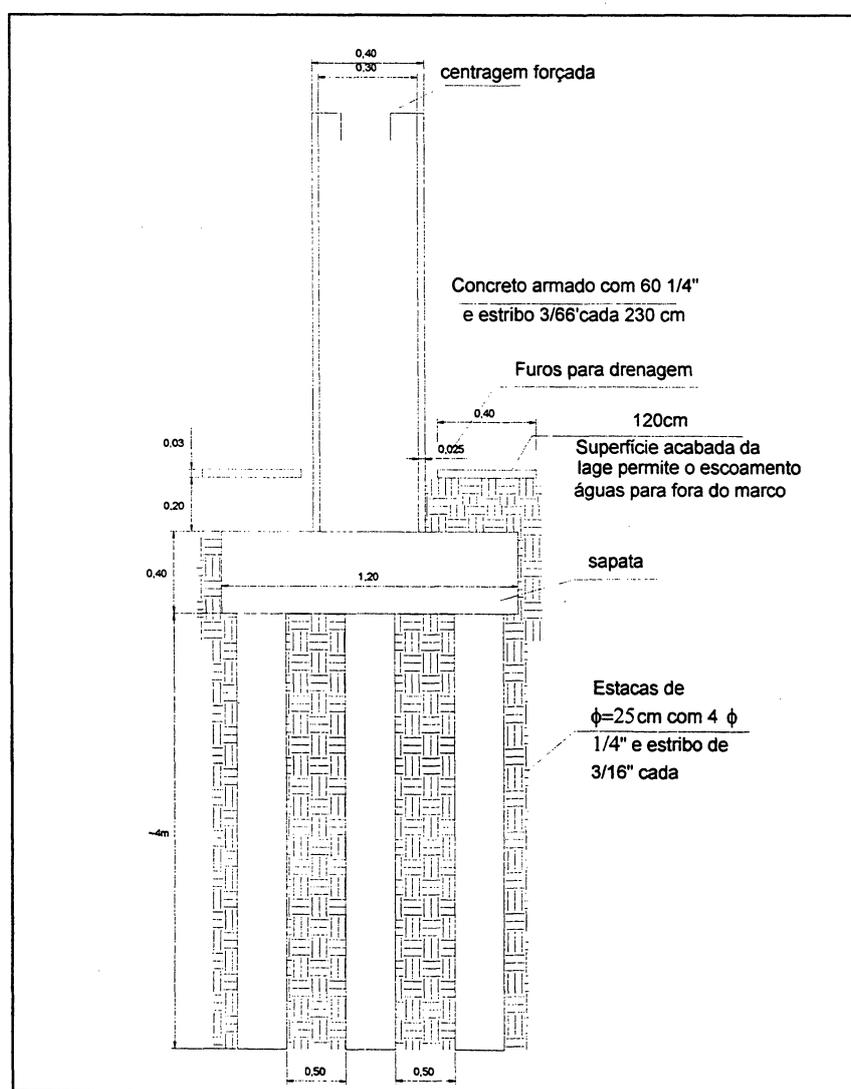
- a) O terreno deve ser plano ou ligeiramente côncavo para possibilitar a intervisibilidade entre os pilares;
- b) a insolação da base deve ser a mesma, em todos os pilares, durante o dia;
- c) tanto quanto possível a vegetação deve ser rasteira ou de pequeno porte;
- d) a orientação deve ser norte-sul, possibilitando leituras com ou sem sol;
- e) localização de fácil acesso;
- f) de preferência orientar a linha base ao longo de um caminho para dar maior velocidade no transporte do refletor;
- g) o acesso não deve ser público para evitar, com isso atos de vandalismo.

Todos os critérios citados foram observados quando da implantação da base na UFPR.

A estabilidade dos pilares é de fundamental importância, para tanto, com base em estudos geológicos da região, os mesmos foram construídos em concreto sobre uma sapata triangular apoiada em três estacas de 20 cm de diâmetro e comprimento aproximado de 4 m (figura 3.1).

Além deste cuidado, implantaram-se dois pilares excêntricos à base para possibilitar o controle da estabilidade dos pilares alinhados por uma rede através de processos lineares e angulares, permitindo desta forma utilizar os conceitos de triangulação e trilateração associados. Este assunto será tratado com mais propriedade na seqüência desta seção.

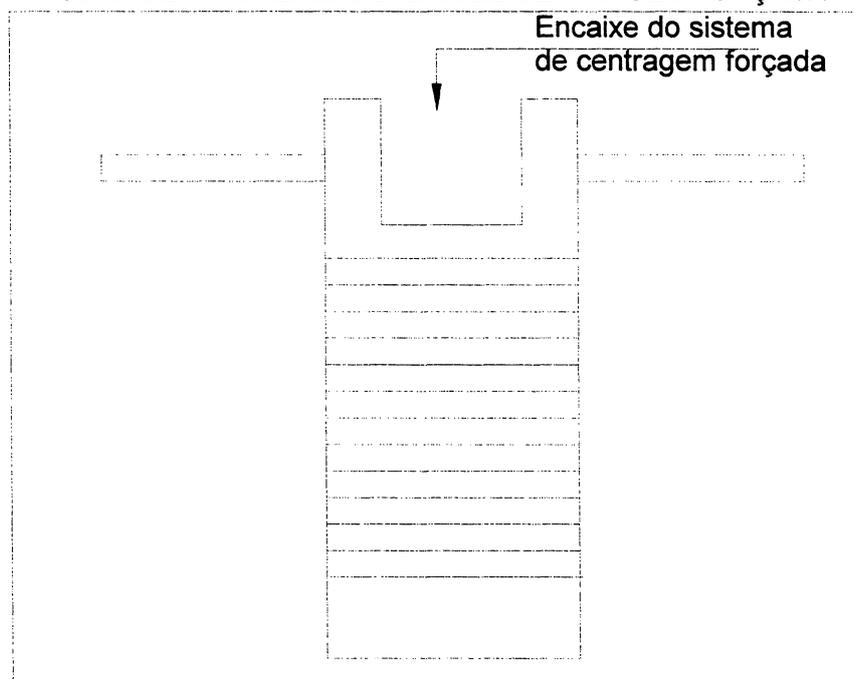
FIGURA 3.1 - ESTRUTURA DOS PILARES



3.1.1 Implantação do Sistema de Centragem Forçada

O sistema de centragem forçada utilizado na implantação da base (figura 3.2), não se mostrou muito eficiente tendo em vista a necessidade de centrar a base do teodolito com um pino dotado de um nível esférico não muito preciso.

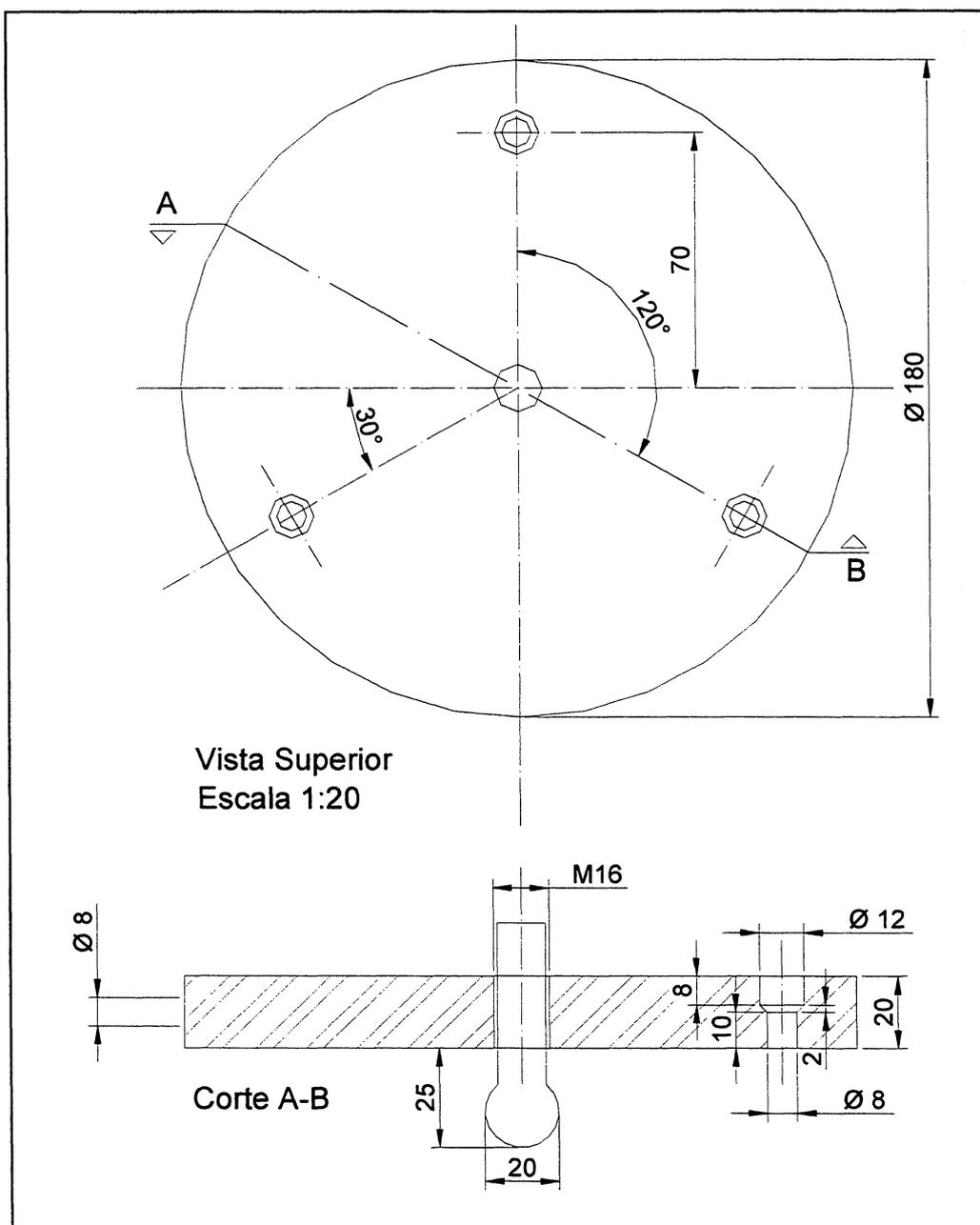
FIGURA 3.2 – PRIMEIRO SISTEMA DE CENTRAGEM FORÇADA



A dificuldade principal deste sistema é manter a mesma vertical entre um posicionamento de equipamento e outro; isto representa perda de precisão na determinação das distâncias, e em decorrência disto deficiência na determinação dos parâmetros de calibração.

Para sanar este problema, sem perder a origem já definida, desenvolveu-se uma nova base com um pino guia que se encaixa perfeitamente no sistema chumbado nos pilares da base. Acoplado a esse pino guia, encontra-se uma peça de alumínio com um parafuso de rosca universal. Essa peça foi fixada nos pilares por três parafusos que estão afastados entre si de um ângulo de aproximadamente 120 graus, reproduzindo um sistema de calagem de um teodolito (figura 3.3).

FIGURA 3.3 – SISTEMA DE CENTRAGEM UTILIZADO ATUALMENTE



3.1.2 Determinação do Desnível entre os Pilares

Para determinar o desnível entre os pilares utilizou-se nivelamento geométrico, método de visadas iguais. Neste método, o desnível entre dois pontos é determinado pela diferença de leituras realizadas nas réguas estacionadas sobre os pontos considerados, utilizando para isso uma luneta com eixo óptico

horizontalizado. Esses equipamentos são denominados níveis de lunetas ou simplesmente níveis.

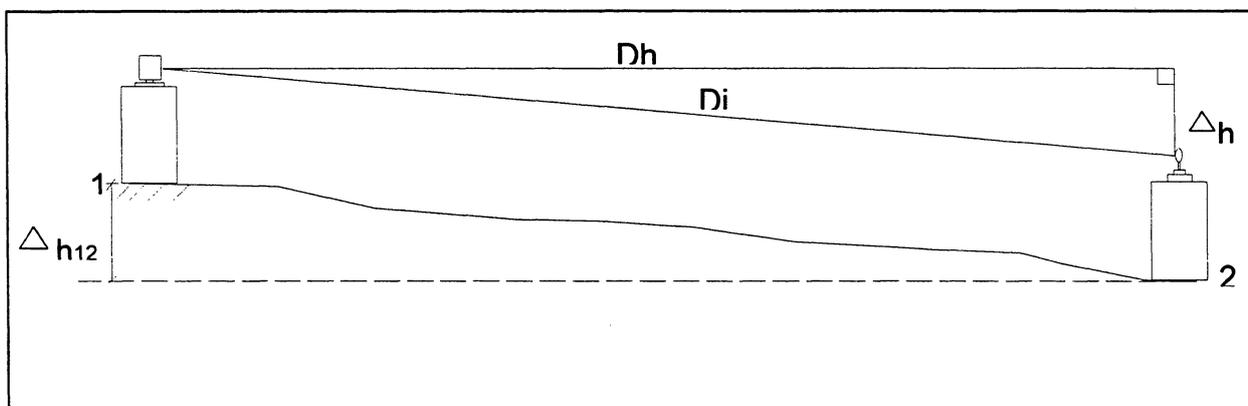
O equipamento utilizado neste trabalho foi o nível N3 da WILD, dotado de placa plano-paralela e duas miras de ínvar WILD centimétricas compatíveis com o nível.

No intuito de determinar o desnível com bastante rigor adotou-se a metodologia aplicada no nivelamento da rede altimétrica de precisão implantada no *campus* III, Centro Politécnico, na Universidade Federal do Paraná. Esta metodologia consta de MEDEIROS, (1999) e DE FREITAS, et al, (1996):

- a) Variação máxima entre a visada de ré e vante, em uma mesma seção, não deve ser superior a 2m. Tal cuidado minimiza os erros provocados pela curvatura da terra, refração atmosférica e falta de paralelismo entre a linha de visada e o eixo do nível tubular;
- b) Leituras sobre as miras nunca inferior a 20 cm, para evitar o efeito da reverberação, e também superiores a 270 cm para minimizar os efeitos provocados pelo vento;
- c) Lances pares entre referências de nível; este fato elimina o erro de índice da mira. Tal erro consiste na distância entre a base da mira e o primeiro traço gravado na fita de ínvar. Outro aspecto importante com relação a isto é que o primeiro traço gravado na fita de ínvar é utilizado como referência na calibração destes equipamentos (FAGGION, 1993, p 28);
- d) Comprimento máximo das visadas recomenda-se 60 m. Porém, neste trabalho não se realizaram lances com visadas maiores de 40m. Este critério foi adotado para melhorar a tangência do fio nivelador do nível com o traço gravado na fita de ínvar da mira;
- e) Divergência entre duas leituras consecutivas da placa plano-paralela do nível nunca maior do que 0,03 unidades, ou seja, variação máxima entre leituras de 3 centésimos de milímetros;
- f) Divergência máxima da constante da mira 0,010 unidades, ou seja, de 301,545 a 301, 565. Tal cuidado possibilita um controle rigoroso do desnível da seção tendo em vista que a diferença da constante de ré e a de vante é igual à diferença de nível obtida com as leituras do lado direito e esquerdo da mira.

A obtenção do desnível entre os pilares foi com o propósito de horizontalizar as distâncias inclinadas obtidas com os MEDs (figura 3.4)

FIGURA 3.4 – HORIZONTALIZAÇÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE PILARES

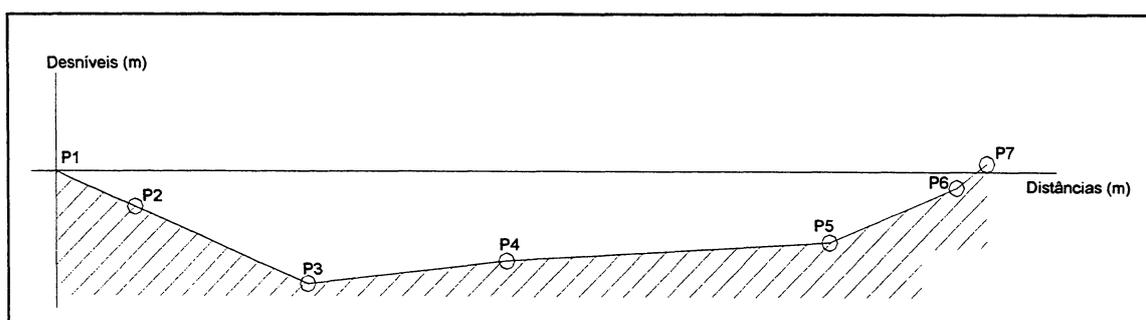


Na tabela a seguir apresentam-se os resultados médios obtidos com o nivelamento e contra-nivelamento entre os pilares que compõem a base.

QUADRO 3.1 – DESNÍVEIS ENTRE OS PILARES

Linha	P1 – P2	P2 – P3	P3 – P4	P4 – P5	P5 – P6	P6 – P7
Δh	-0,9244m	-2,0036m	0,6060m	0,4887m	1,4338m	0,6107m

FIGURA 3.5 – PERFIL DO TERRENO ONDE SE LOCALIZA A BASE



3.1.3 Correções Ambientais das Distâncias entre os Pilares

Como já visto no Capítulo 2, a velocidade de propagação da luz utilizada para determinar a distância entre dois pontos é no vácuo tendo em vista que é a única passível de ser determinada por procedimentos físicos. Porém, a que nos interessa é a velocidade de propagação no meio. Para realizar esta transformação, o fabricante determina um índice de refração em laboratório. Mesmo assim continua sendo necessária a medida de temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica no momento das observações, e com estes valores realizar a correção particular para o local de operação.

As variações nas condições atmosféricas causam um aumento ou diminuição na velocidade de propagação da onda eletromagnética e provocam, conseqüentemente, os erros sistemáticos nas medidas da distâncias. A maioria das estações totais permite a aplicação desta correção em tempo real obtendo esta correção das seguintes maneiras (RÜEGER, 1996):

- a) utilizando o ábaco que acompanha o manual do equipamento onde as informações necessárias para se obter a correção em ppm são a temperatura e a pressão;
- b) utilizando as fórmulas que acompanham o manual do equipamento, neste caso as informações necessárias são a temperatura pressão e umidade;
- c) utilizando as fórmulas adotadas pela UGGI.
- d) utilizando as fórmulas apresentadas por RÜEGER (1996, p.80), para redução de medidas obtidas em levantamentos de alta precisão.

Testes realizados com um conjunto de observações de distâncias medidas sobre a base da fazenda Cangüiri demonstraram que as diferenças só são significativas quando as correções determinadas com o ábaco são comparadas com um dos outros três conjuntos de fórmulas estudados. A diferença entre os valores das correções obtidas com os três conjuntos de fórmulas está na casa do centésimo do milímetro. Tendo em vista este aspecto optou-se pela utilização do formulário constante no manual do equipamento (WILD TC2002, 1994, p.24-9):

$$\Delta D_1 = 281,8 - \left[\frac{0,29065 \cdot P}{(1 + \alpha \cdot t)} - \frac{4,126 \cdot 10^{-4} \cdot h}{(1 + \alpha \cdot t)} \cdot 10^x \right] \quad (3.1)$$

onde:

ΔD_1 = Correção Atmosférica em ppm

P = Pressão Atmosférica (mb)

t = Temperatura Ambiente (°C)

h = Umidade Relativa (%)

$\alpha = 1/273,16$

$$x = \frac{7,5t}{237,3 + t} + 0,7857 \quad (3.2)$$

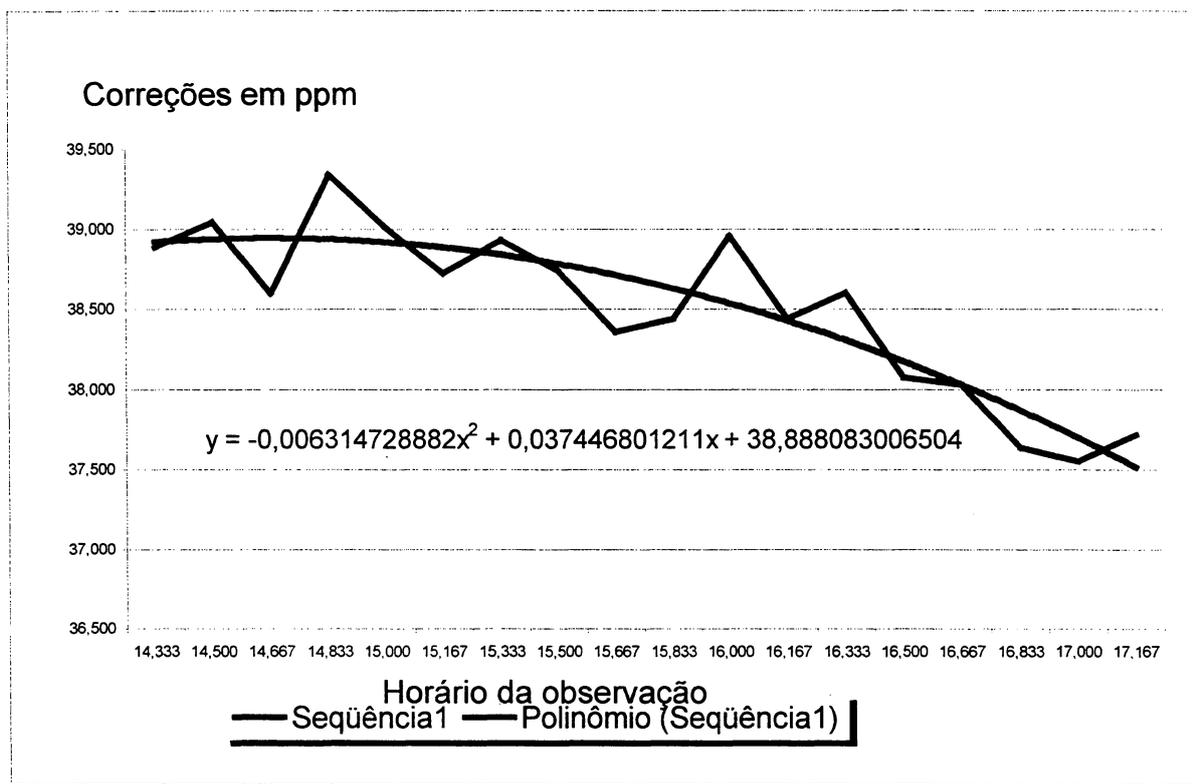
3.1.3.1 Metodologia de campo

Em cada campanha realizada para a definição da escala da base foram coletados parâmetros ambientais (temperatura, pressão e umidade relativa do ar) em um intervalo de tempo de 5 minutos nos dois extremos da base, ou seja, junto ao pilar número 1 e o pilar número 7. Com isso foi possível determinar um valor médio para cada parâmetro ambiental, com os quais foi possível calcular o valor da correção utilizando a equação 3.1. Para aplicar as correções às distâncias medidas determina-se um polinômio de correção onde o argumento de entrada é a hora da da medida da distância entre os pilares (figura 3.6).

Utilizando o polinômio apresentado na (figura 3.6), chega-se ao seguinte valor para a correção em ppm de uma medida de distância realizada às 14 horas e 30 minutos.

$$y = -0,006314728882x^2 + 0,037446x + 38,888083 = 37,61\text{ppm} \quad (3.3)$$

FIGURA 3.6 – GRÁFICO DAS CORREÇÕES DAS DISTÂNCIAS EM ppm

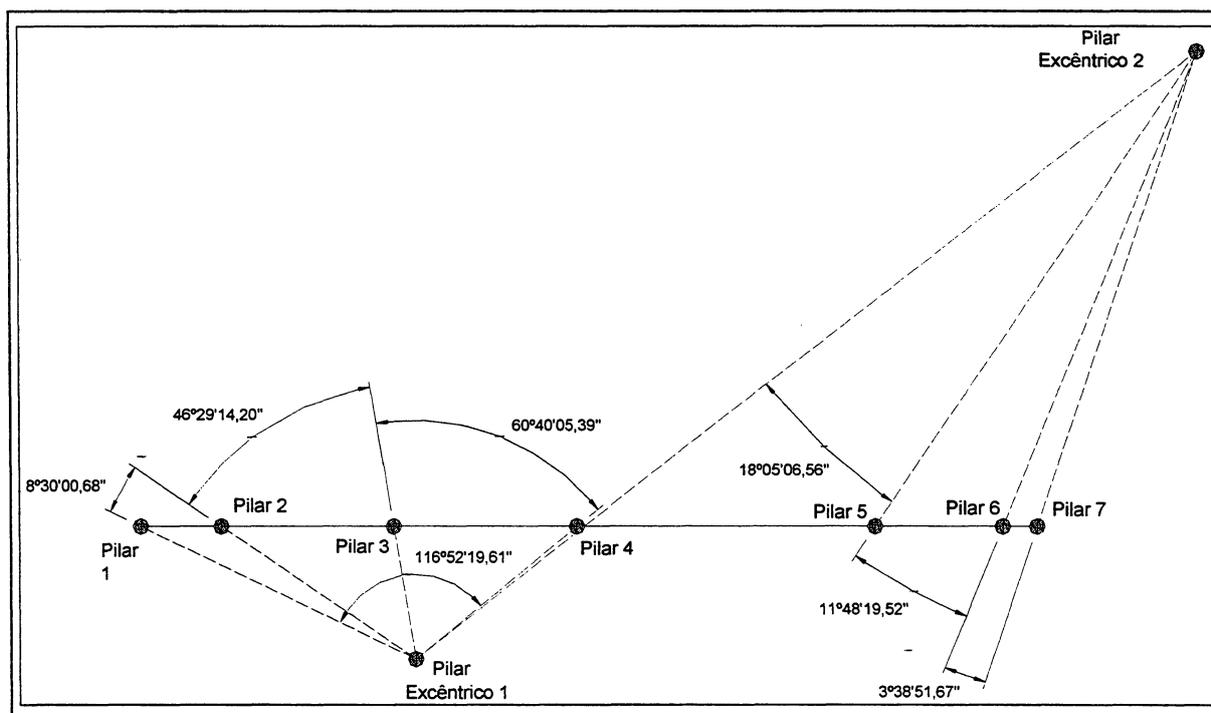


3.1.4 Controle da Estabilidade dos Pilares

A calibração de MEDs consiste em uma atividade periódica tendo em vista o desgaste do equipamento com seu uso e com o tempo. Tendo em vista estes aspectos, para a certificação contínua destes equipamentos, é necessária a estabilidade dos pilares para que não haja uma variação da escala da base com o tempo.

Considerando este aspecto implantou-se dois pilares excêntricos à base e, a partir destes, realizaram-se observações de distância e direção para cada pilar que compõe a base (figura 3.7). Com isso foi possível calcular as coordenadas dos mesmos considerando um sistema topográfico local.

FIGURA 3.7 – CONFIGURAÇÃO DA BASE COM OS PILARES EXCÊNTRICOS



3.1.4.1 Determinação da influência do erro instrumental na determinação das coordenadas dos pilares

O equipamento utilizado para a obtenção das direções e distâncias entre os pilares excêntricos e os pilares alinhados que compõe a base foi a estação total TC 2002, cuja precisão angular é $\sigma_a = 0,5''$ de arco e a precisão linear é de $\sigma_d = 1\text{mm} + 1\text{ppm}$ (WILD TC2002, 1994).

A metodologia aplicada se baseia na determinação da matriz variância-covariância dos valores observados para identificar a influência do Medidor Eletrônico de Distâncias e Direções na determinação das coordenadas dos pilares e com isso identificar possíveis variações nos mesmos por meio de observações em épocas diferentes.

A variância mede o grau de dispersão de uma variável com relação ao valor médio e a covariância mede a interdependência entre dois parâmetros utilizados para determinar um terceiro. Por exemplo, qual a influência da componente linear e angular de uma estação total na determinação da coordenada de um vértice de uma poligonal. Isto pode ser determinado pela propagação da covariância.

O conceito de propagação das covariâncias utilizado para realizar esta estimativa é dado pelo seguinte modelo matemático (GEMAEL, 1994).

$$\Sigma_{x,y} = M \Sigma_{Az,l} M^T \quad (3.7)$$

onde:

$\Sigma_{x,y}$ = Matriz Variância-Covariância dos valores calculados;

M = Matriz das derivadas parciais das funções f_i

$$X_i = f(D_{ij}, Az_{ij}) = D_{ij} \text{ sen } Az_{ij} \quad (3.8)$$

$$Y_i = f(D_{ij}, Az_{ij}) = D_{ij} \text{ cos } Az_{ij} \quad (3.9)$$

$\Sigma_{Az,l} = P = \sigma_0^2 \Sigma_{lb}^{-1}$, $\sigma_0^2 = 1$. Matriz dos pesos, formada utilizando a precisão nominal dos MEDs e as distâncias medidas entre os pilares;

A matriz M, formada pela derivada parcial da função f_i em relação ao azimute e a distância, tem a seguinte configuração.

$$M = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial Az_{12}} & \frac{\partial x_1}{\partial Az_{13}} & \dots & \frac{\partial x_1}{\partial Az_{ij}} & \dots & \frac{\partial x_1}{\partial Az_{18}} & \vdots & \frac{\partial x_1}{\partial D_{12}} & \frac{\partial x_1}{\partial D_{13}} & \dots & \frac{\partial x_1}{\partial D_{ij}} & \dots & \frac{\partial x_1}{\partial D_{18}} \\ \frac{\partial y_1}{\partial Az_{12}} & \frac{\partial y_1}{\partial Az_{13}} & \dots & \frac{\partial y_1}{\partial Az_{ij}} & \dots & \frac{\partial y_1}{\partial Az_{18}} & \vdots & \frac{\partial y_1}{\partial D_{12}} & \frac{\partial y_1}{\partial D_{13}} & \dots & \frac{\partial y_1}{\partial D_{ij}} & \dots & \frac{\partial y_1}{\partial D_{18}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial x_i}{\partial Az_{ij}} & \frac{\partial x_i}{\partial Az_{ij}} & \dots & \frac{\partial x_i}{\partial Az_{ij}} & \dots & \frac{\partial x_i}{\partial Az_{ij}} & \vdots & \frac{\partial x_i}{\partial D_{ij}} & \frac{\partial x_i}{\partial D_{ij}} & \dots & \frac{\partial x_i}{\partial D_{ij}} & \dots & \frac{\partial x_i}{\partial D_{ij}} \\ \frac{\partial y_i}{\partial Az_{ij}} & \frac{\partial y_i}{\partial Az_{ij}} & \dots & \frac{\partial y_i}{\partial Az_{ij}} & \dots & \frac{\partial y_i}{\partial Az_{ij}} & \vdots & \frac{\partial y_i}{\partial D_{ij}} & \frac{\partial y_i}{\partial D_{ij}} & \dots & \frac{\partial y_i}{\partial D_{ij}} & \dots & \frac{\partial y_i}{\partial D_{ij}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial x_8}{\partial Az_{12}} & \frac{\partial x_8}{\partial Az_{13}} & \dots & \frac{\partial x_8}{\partial Az_{ij}} & \dots & \frac{\partial x_8}{\partial Az_{18}} & \vdots & \frac{\partial x_8}{\partial D_{12}} & \frac{\partial x_8}{\partial D_{13}} & \dots & \frac{\partial x_8}{\partial D_{ij}} & \dots & \frac{\partial x_8}{\partial D_{18}} \\ \frac{\partial y_8}{\partial Az_{12}} & \frac{\partial y_8}{\partial Az_{13}} & \dots & \frac{\partial y_8}{\partial Az_{ij}} & \dots & \frac{\partial y_8}{\partial Az_{18}} & \vdots & \frac{\partial y_8}{\partial D_{12}} & \frac{\partial y_8}{\partial D_{13}} & \dots & \frac{\partial y_8}{\partial D_{ij}} & \dots & \frac{\partial y_8}{\partial D_{18}} \end{bmatrix}$$

Onde:

$$\frac{\partial x_i}{\partial Az_{ij}} = D_{ij} \text{ cos } Az_{ij}$$

$$\frac{\partial y_i}{\partial Az_{ij}} = -D_{ij} \text{ sen } Az_{ij}$$

$$\frac{\partial x_i}{\partial D_{ij}} = \text{ sen } Az_{ij}$$

$$\frac{\partial y_i}{\partial D_{ij}} = \text{ cos } Az_{ij}$$

e:

D_{ij} = Distância entre o pilar excêntrico e os pilares alinhados da base;

Az_{ij} = Azimute das direções formadas entre o pilar excêntrico e os pilares alinhados da base.

A base da fazenda Cangüiri (figura 3.7), é composta por sete pilares alinhados e por dois excêntricos. Considerando um dos pilares excêntricos, no caso o 2 como origem do sistema, e aplicando a derivada parcial nas equações 3.8 e 3.9, chega-se a um sistema de 16 equações onde as incógnitas são as coordenadas X e Y dos demais pilares.

No caso deste trabalho foi utilizada a estação total TC2002, que como já foi visto tem precisão nominal de angular 0,5" e linear de (1mm + 1ppm).

Considerando estas condições a matriz dos pesos toma a seguinte configuração, tendo em vista que não existe correlação entre a medida de direções e distâncias.

$$P = \sum_{Az,D} = \left[\begin{array}{c|c} \Sigma Az & \text{Zero} \\ \hline \text{Zero} & \Sigma D \end{array} \right]_{16 \times 16} \quad (3.10)$$

onde:

ΣAz = Matriz variância covariância em função dos azimutes;

ΣD = Matriz variância covariância em função das distâncias;

A precisão nominal da componente angular da estação total é constante independente da distância. Logo, a matriz ΣAz toma seguinte forma.

$$\Sigma Az = \left[\begin{array}{cccccc} 0,5^2 & & & & & \\ & 0,5^2 & & & & \\ & & 0,5^2 & & & \text{zero} \\ & & & 0,5^2 & & \\ & & & & 0,5^2 & \\ & \text{zero} & & & & 0,5^2 \\ & & & & & & 0,5^2 \end{array} \right] \quad (3.11)$$

3.1.4.2 Determinação das coordenadas planas dos pilares

As reduções necessárias nas distâncias entre os pilares para a definição da escala da base consistem na horizontalização, visto na seção 3.2, e na redução das condições ambientais, visto na seção 3.3.

Como o objetivo primeiro é determinar a escala da base para a calibração de MEDs, optou-se pelo cálculo das coordenadas no plano topográfico local evitando, desta forma, a necessidade das reduções geodésicas, tendo em vista que a área é bastante pequena, ou seja, a maior distância entre os pilares que compõe a base é de 870,920 m, entre os pilares excêntricos.

As observações das distâncias e das direções foram realizadas com duas estações totais, a TC2002 e uma estação robotizada Elta 10, da Zeiss, cuja precisão nominal na medida de direções é $\sigma_a = 1''$ (um segundo de arco) e na medida linear é $\sigma_D = 2\text{mm} + 2\text{ppm}$.

A precisão obtida com o segundo instrumento, no que tange à medida das direções, foi compatível com a estação total TC2002, mesmo apresentando uma resolução instrumental menor. Isto ocorre por ser um equipamento robotizado eliminando desta forma a participação do operador na realização da pontaria.

Todas as medidas das distâncias e direções foram realizadas em posição direta e invertida da luneta. Com isto, minimiza-se o erro de zênite instrumental necessário, uma vez que nesta fase do trabalho as distâncias foram reduzidas por nivelamento trigonométrico. Esta metodologia foi possível uma vez que utilizou-se esta informação para determinar as coordenadas aproximadas dos pilares. Por outro lado, os maiores causadores da baixa precisão deste método são a altura do instrumento e a altura do sinal. Estas grandezas são eliminadas no processo uma vez que são iguais.

A determinação das direções foi efetuada por três séries de reiteração para minimizar o efeito do observador, uma vez que os erros instrumentais praticamente inexistem em equipamentos que utilizam limbos incrementais na medida de direções e que tem um controle rigoroso nas suas condições operacionais através de processos de calibração, verificação e classificação (CINTRA, 1993; KENNIE, 1990; NIEMEIER, 1985; STAIGER, 1998).

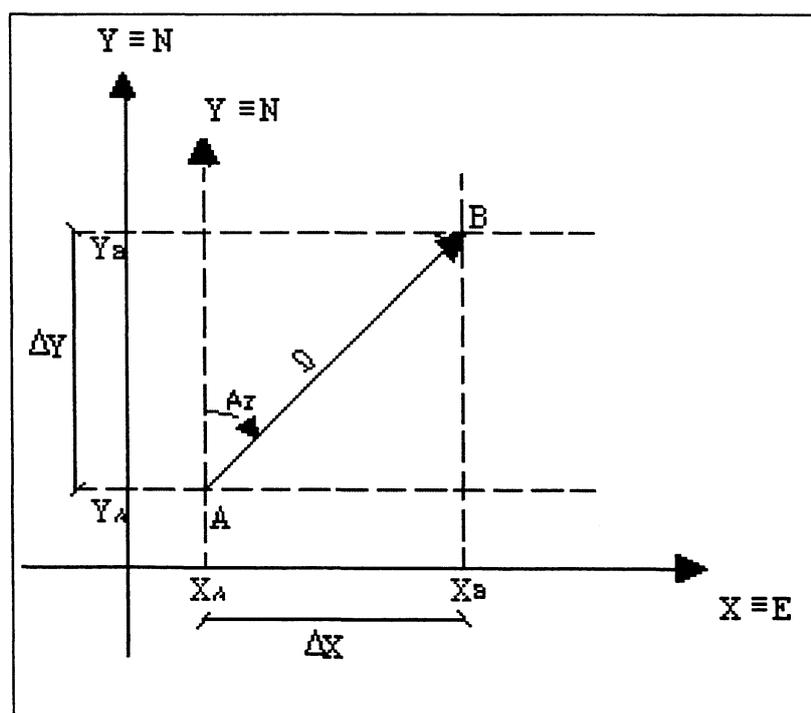
Na determinação das coordenadas definitivas, para cada campanha realizada na base de calibração, utilizou-se o pelo método de variação de coordenadas (aplicação do método paramétrico de ajustamento para redes). Uma característica deste método consiste na determinação das coordenadas finais no próprio processo de ajustamento.

Este método foi utilizado na ampliação de redes locais considerando a existência de vértices antigos. No processo de ajustamento essa informação é utilizada como injunção, ou seja, as coordenadas são fixas, para os vértices novos as coordenadas, serão determinadas. A facilidade de cálculo atingida pelo surgimento do computador permitiu sua generalização inclusive para o ajustamento livre, ou seja, nenhum ponto fixo (GEMAEL, 1994).

O ajustamento livre é o método utilizado neste trabalho, uma vez que o objetivo é determinar possíveis variações de todos os pilares que compõem a base com o passar do tempo.

3.1.4.2.1 Obtenção das equações diferenciais de azimute e lado

FIGURA 3.9 - REPRESENTAÇÃO DO AZIMUTE E DISTÂNCIA ENTRE DOIS PONTOS NO PLANO



Da (figura 3.9) é possível retirar as seguintes relações.

$$Y_B - Y_A = D_{AB} \cos Az \quad , \quad (3.12)$$

$$X_B - X_A = D_{AB} \operatorname{sen} Az \quad , \quad (3.13)$$

$$\operatorname{tg} Az_{AB} = \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} \quad , \quad (3.14)$$

$$D_{AB}^2 = (X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 \quad . \quad (3.15)$$

a) Equação Diferencial de Azimute no Plano

Diferenciando a equação (3.14), obtém-se:

$$\frac{1}{\cos^2 Az_{AB}} dAz_{AB} = \frac{(Y_B - Y_A)(dX_B - dX_A) - (X_B - X_A)(dY_B - dY_A)}{(Y_B - Y_A)^2} \quad . \quad (3.16)$$

Da equação 3.12 obtém-se que:

$$\cos Az_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{D_{AB}} \Rightarrow \frac{Y_B - Y_A}{\cos Az_{AB}} = D_{AB} \quad . \quad (3.17)$$

Invertendo a equação 3.17 e elevando-a ao quadrado a equação fica com a seguinte configuração:

$$\frac{1}{D_{AB}^2} = \frac{\cos^2 Az_{AB}}{(Y_B - Y_A)^2} \quad . \quad (3.18)$$

Substituindo-se as equações 3.12, 3.13 e 3.14 na equação 3.16 obtém-se:

$$dAz_{AB} = \frac{\cos^2 Az_{AB} (Y_B - Y_A)(dX_B - dX_A)}{(Y_B - Y_A)^2} - \frac{\cos^2 Az_{AB} (X_B - X_A)(dY_B - dY_A)}{(Y_B - Y_A)^2}. \quad (3.19)$$

Substituindo a equação 3.18 em 3.19, obtém-se:

$$dAz_{AB} = \frac{(Y_B - Y_A)(dX_B - dX_A)}{D_{AB}^2} - \frac{(X_B - X_A)(dY_B - dY_A)}{D_{AB}^2}. \quad (3.20)$$

Da equação 3.12 e 3.13 é possível isolar o co-seno e o seno respectivamente.

$$\frac{(Y_B - Y_A)}{D_{AB}} = \cos Az_{AB} \quad (3.21)$$

e

$$\frac{(X_B - X_A)}{D_{AB}} = \sin Az_{AB} \quad (3.22)$$

Substituindo as equações 3.21 e 3.22 na equação 3.20, a equação diferencial para azimute toma a seguinte configuração.

$$dAz_{AB} = \frac{[\cos Az_{AB} (dX_B - dX_A) - \sin Az_{AB} (dY_B - dY_A)]}{D_{AB}} \quad (3.23)$$

A equação 3.23 expressa em segundo de arco, toma a seguinte configuração:

$$d'' Az_{AB} = \frac{648000}{\pi D_{AB}} [\cos Az_{AB} dX_B - \cos Az_{AB} dX_A - \sin Az_{AB} dY_B + \sin Az_{AB} dY_A] \quad (3.24)$$

$$V''_{AB} = A''_{AB} - A''_{AB}$$

$$\frac{648000}{\pi D_{AB}} \cos Az_{AB} = P_{AB} \quad e \quad \frac{648000}{\pi D_{AB}} \operatorname{sen} Az_{AB} = Q_{AB}$$

Obtém-se:

$$A_{AB}^o - A_{AB}^c + V_{AB} = -P_{AB} dX_A + P_{AB} dX_B + Q_{AB} dY_A - Q_{AB} dY_B \quad (3.25)$$

Generalizando a equação 3.25 obtém-se

$$-P_{ij} dX_i + P_{ij} dX_j + Q_{ij} dY_i - Q_{ij} dY_j + A_{ij}^c - A_{ij}^o = V_{ij} \quad (3.26)$$

onde:

A_{ij}^c = Azimute da direção ij calculado;

A_{ij}^o = Azimute da direção ij observado;

V_i = Resíduo da equação "i"

b) Equação diferencial de distância no plano

Diferenciando-se a equação 3.13 obtém-se

$$2D_{AB} dD_{AB} = 2(X_B - X_A)(dX_B - dX_A) + 2(Y_B - Y_A)(dY_B - dY_A) \quad (3.27)$$

$$dD_{AB} = \frac{(X_B - X_A)(dX_B - dX_A) + (Y_B - Y_A)(dY_B - dY_A)}{D_{AB}} \quad (3.28)$$

Substituindo as equações 3.12 e 3.13 em 3.28 obtém-se:

$$dD_{AB} = \text{sen} Az_{AB} (dX_B - dX_A) + \text{cos} Az_{AB} (dY_B - dY_A)$$

ou

$$dD_{AB} = \text{sen} Az_{AB} dX_B - \text{sen} Az_{AB} dX_A + \text{cos} Az_{AB} dY_B - \text{cos} Az_{AB} dY_A \quad (3.29)$$

$$dD_{AB} = D_{AB}^O - D_{AB}^C + V_{D_{AB}}$$

(3.30)

Substituindo-se a equação 3.30 na equação 3.29 obtém-se

$$D_{AB}^O - D_{AB}^C + V_{D_{AB}} = \text{sen} Az_{AB} dX_B - \text{sen} Az_{AB} dX_A + \text{cos} Az_{AB} dY_B - \text{cos} Az_{AB} dY_A \quad (3.31)$$

Admitindo que $\text{sen} Az_{AB} = K_{AB}$ e $\text{cos} Az_{AB} = L_{AB}$ e substituindo na equação 3.26 obtém-se

$$D_{AB}^O - D_{AB}^C + V_{D_{AB}} = K_{AB} dX_B - K_{AB} dX_A + L_{AB} dY_B - L_{AB} dY_A \quad (3.32)$$

Ordenando a equação 3.32

$$V_{d_{ij}} = -K_{AB} dX_A - L_{AB} dY_A + K_{AB} dX_B + L_{AB} dY_B + D_{AB}^C - D_{AB}^O + V_{D_{AB}} \quad (3.33)$$

Generalizando

Substituindo as equações 3.12 e 3.13 em 3.28 obtém-se:

$$dD_{AB} = \text{sen}Az_{AB}(dX_B - dX_A) + \text{cos}Az_{AB}(dY_B - dY_A)$$

ou

$$dD_{AB} = \text{sen}Az_{AB}dX_B - \text{sen}Az_{AB}dX_A + \text{cos}Az_{AB}dY_B - \text{cos}Az_{AB}dY_A \quad (3.29)$$

$$dD_{AB} = D_{AB}^O - D_{AB}^C + V_{D_{AB}} \quad (3.30)$$

Substituindo-se a equação 3.30 na equação 3.29 obtém-se

$$D_{AB}^O - D_{AB}^C + V_{D_{AB}} = \text{sen}Az_{AB}dX_B - \text{sen}Az_{AB}dX_A + \text{cos}Az_{AB}dY_B - \text{cos}Az_{AB}dY_A \quad (3.31)$$

Admitindo que $\text{sen}Az_{AB} = K_{AB}$ e $\text{cos}Az_{AB} = L_{AB}$ e substituindo na equação 3.26 obtém-se

$$D_{AB}^O - D_{AB}^C + V_{D_{AB}} = K_{AB}dX_B - K_{AB}dX_A + L_{AB}dY_B - L_{AB}dY_A \quad (3.32)$$

Ordenando a equação 3.32

$$V_{d_{ij}} = -K_{AB}dX_A - L_{AB}dY_A + K_{AB}dX_B + L_{AB}dY_B + D_{AB}^C - D_{AB}^O + V_{D_{AB}} \quad (3.33)$$

Generalizando

$$-K_{ij}dX_i - L_{ij}dY_i + K_{ij}dX_j + L_{ij}dY_j + D_{ij}^C - D_{ij}^O = V_{ij} \quad (3.34)$$

Onde:

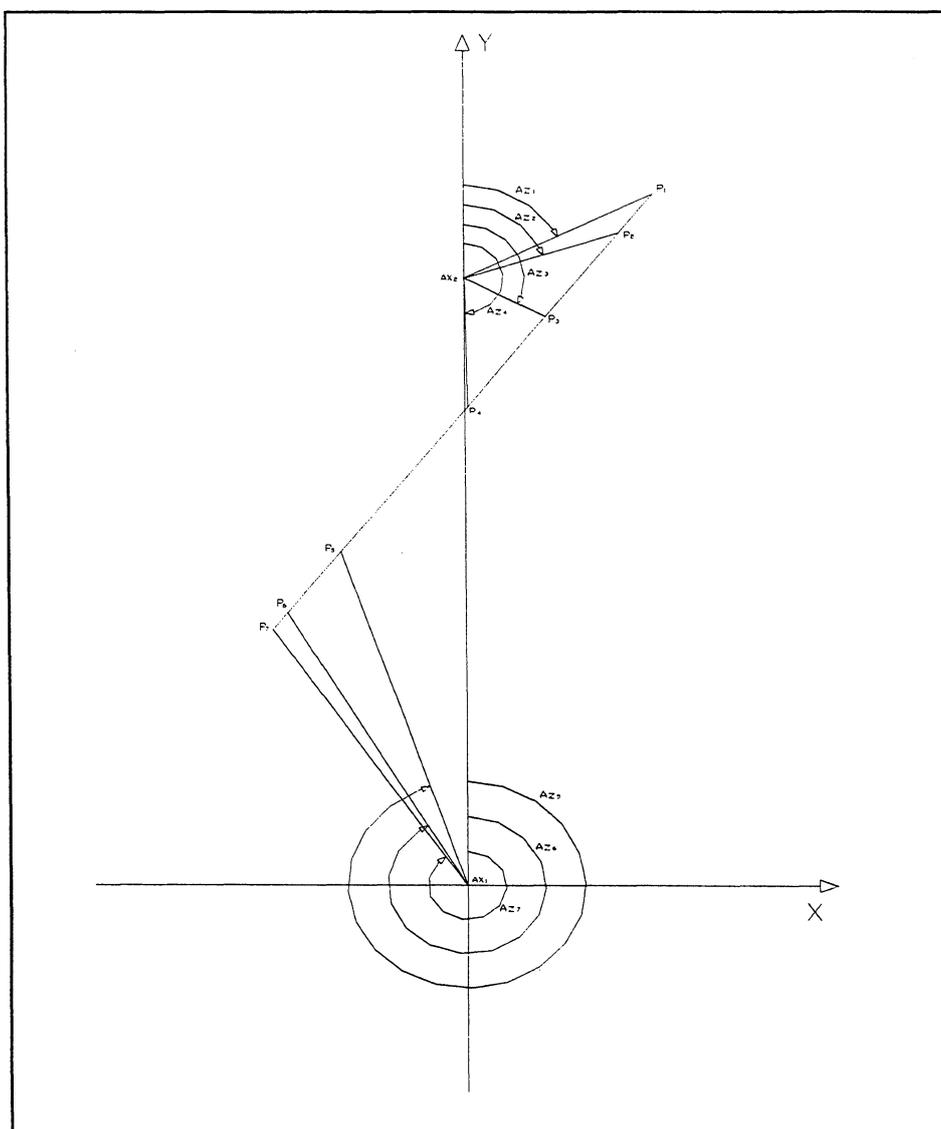
D^o = Distância observada

D^c = Distância calculada

V_i = Resíduo da i-ésima equação.

Na determinação de possíveis variações nas coordenadas dos pilares em épocas diferentes, adotou-se como a indicação de referência, o prolongamento do alinhamento dado pelos dois pilares excêntricos, tendo em vista que o objetivo é determinar as coordenadas dos pilares alinhados (figura 3.10).

FIGURA 3.10 – REPRESENTAÇÃO DA BASE NO SISTEMA DE COORDENADAS LOCAL UTILIZADO



A (figura 3.10), mostra os pilares P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7 estão alinhados. Os pilares Ex₁ e Ex₂ são os pilares excêntricos.

Esta simplificação evita a determinação do azimute em todas as campanhas, pois o mesmo varia com possíveis movimentos dos pilares. Qualquer equipamento disponível no mercado (GPS, Giro-Teodolito), utilizado para a determinação do azimute verdadeiro de uma direção não garante precisão melhor do que 20 segundos de arco. Já com observação ao sol e estrelas pode se chegar a precisões superiores dependendo da precisão nominal do equipamento.

Variações no azimute nesta ordem de grandeza acarretará um erro de aproximadamente 9 cm na coordenada X para distância entre pilares de aproximadamente 900 metros, caso da base. As possíveis variações esperadas para a estrutura são bem menores que este.

3.1.4.3 Solução matemática.

Nas equações geradas por variação de coordenadas, é possível expressar as observações em função dos parâmetros, neste caso o método de ajustamento a ser utilizado é o método paramétrico (GEMAEL, 1994; MORAES, 1997).

O modelo matemático é expresso por:

$$F(x^a) = L^a. \quad (3.35)$$

Este modelo diz que os valores observados ajustados são função explícita dos parâmetros ajustados:

$${}_u X_i^a = \begin{bmatrix} x_i^a \\ y_i^a \end{bmatrix}. \quad (3.36)$$

Linearizando-se o modelo pela série de Taylor (desprezando os termos de ordem igual a 2 e superior) obtém-se:

$${}_n A_{uu} X_1 + {}_n L_1 = {}_n V_1, \quad (3.37)$$

$$A = \left. \frac{\partial f_i}{\partial X_1} \right|_{X_0} \quad (3.38)$$

$$X_i = \begin{bmatrix} dX_i \\ dY \end{bmatrix}, \quad (3.39)$$

$$L = \begin{bmatrix} D_{ij}^{c''} & -D_{ij}^{0''} \\ Az_{jik}^{c''} & -Az_{jih}^{0''} \end{bmatrix}. \quad (3.40)$$

O sistema de equações normais será formado a partir da seguinte expressão:

$${}_u A_n^T {}_n P_{nn} A_{uu} X_1 + {}_u A_n^T {}_n P_{nn} L_1 = {}_u O_1. \quad (3.41)$$

Isolando X obtém-se.

$$X = -\left(A^T P A\right)^{-1} A^T P L. \quad (3.42)$$

A equação 3.42 também pode ser expressa por:

$$X = -N^{-1} U, \quad (3.43)$$

Onde:

$$N^{-1} = \left(A^T P A\right)^{-1}, \quad (3.44)$$

$$U = A^T PL. \quad (3.45)$$

As coordenadas ajustadas são apresentadas pela seguinte relação.

$$X^a = X^c + X. \quad (3.46)$$

Onde:

X^c é o vetor das coordenadas aproximadas.

Os programas para a obtenção de X^a foram desenvolvidos em MATLAB.

3.1.4.4 Procedimento de campo.

Nesta fase do trabalho determinou-se as coordenadas dos pilares em épocas diferentes e horários diferentes do dia. Para tal, foi necessário realizar medições em diferentes condições como: inverno, verão, pela manhã à tarde e a noite, como pode ser visto nas (figuras 3.11, 3.12, 3.13 e 3.14) dos equipamentos utilizados.

A comparação do conjunto de coordenadas obtidas em épocas diferentes vai permitir uma análise do comportamento temporal da estrutura.

FIGURA 3.11 – ESTAÇÃO TOTAL ELTA 10 DA ZEISS

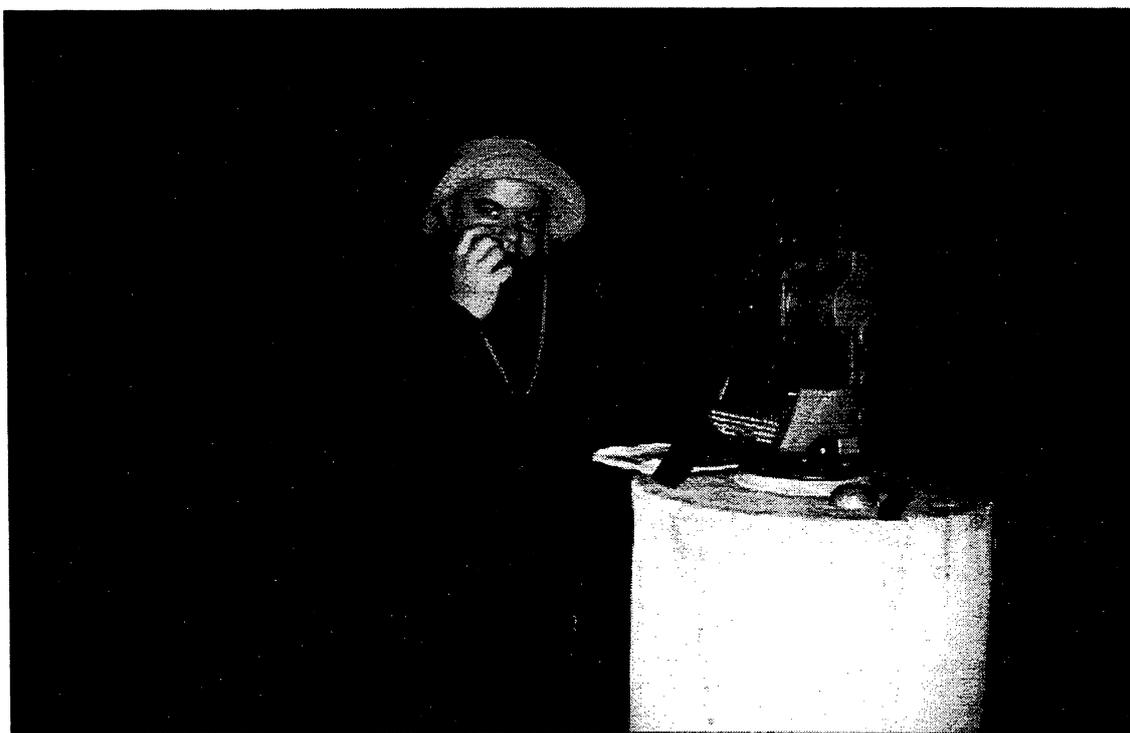


FIGURA 3.12 – ESTAÇÃO TOTAL TC 2002 DA LEICA

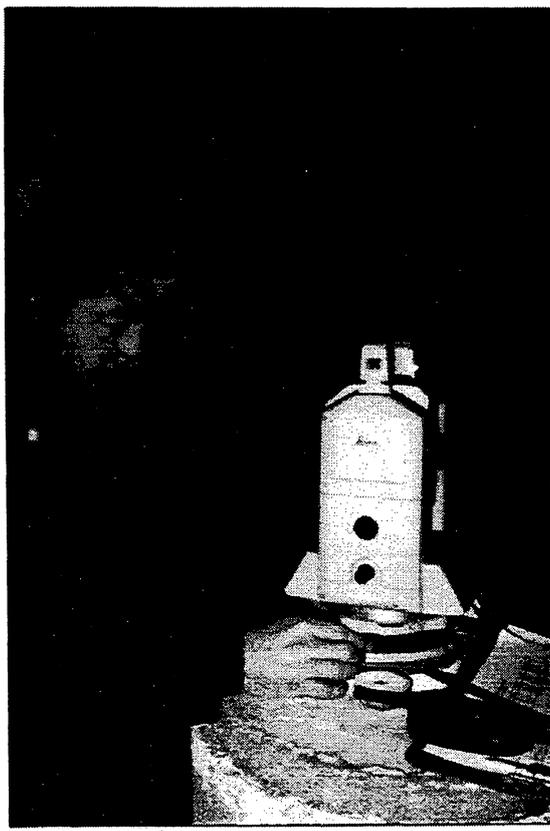


FIGURA 3.13 – SISTEMA DE ÁLVOS

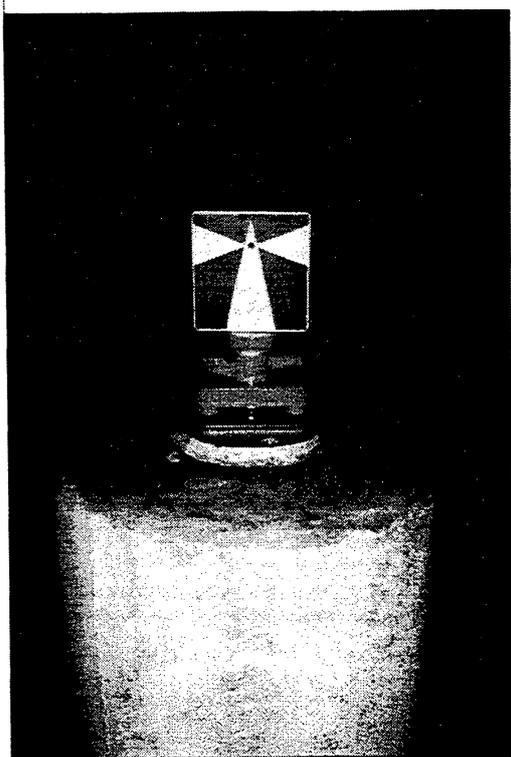
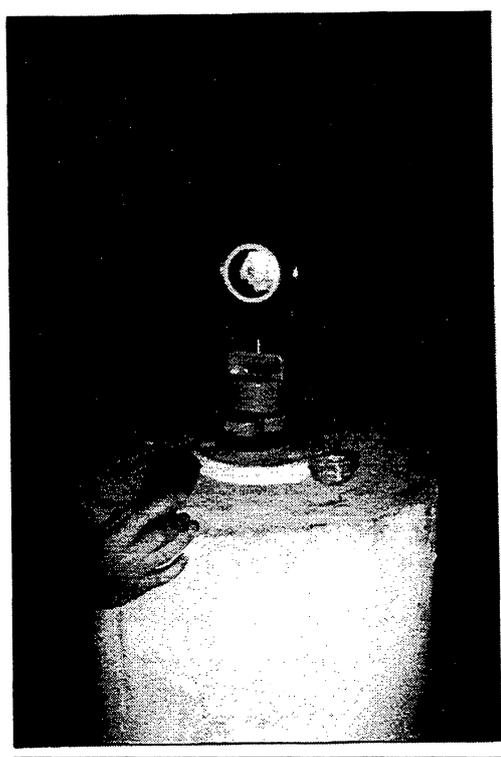


FIGURA 3.14 – REFLETOR



O sistema de alvo apresentado na (figura 3.13), foi utilizado para as medições das direções horizontais entre os pilares excêntricos e os pilares alinhados da base de calibração.

O refletor, (figura 3.14), foi utilizado para a determinação da distância linear e distância zenital.

As cadernetas com os dados obtidos nas quatro campanhas constam do apêndice 1.

3.1.4.5 Obtenção das coordenadas preliminares.

A partir das direções horizontais medidas em campo calcularam-se os azimutes conforme está apresentado na figura 3.9. Considerando o azimute de $63^{\circ} 07' 25,41''$ e distância de 268,291m obtidas na primeira campanha, entre o pilar excêntrico EX1 e o pilar P1, do conjunto de pilares alinhados, chega-se ao seguinte valor para as coordenadas X e Y de P1.

$$Y_B - Y_A = \Delta Y = D \cos Az$$

$$\Delta Y = 268,2912 \cos 63^{\circ} 07' 25,41'' \Rightarrow \Delta Y = 121,285m$$

$$\Delta X = X_B - X_A = D \sin Az$$

$$\Delta X = 268,2912 \sin 63^{\circ} 07' 25,41'' \Rightarrow \Delta X = 239,312m$$

Este procedimento foi realizado para cada pilar em cada campanha. Os valores obtidos com as observações da primeira campanha constam do quadro 3.2.

Cabe salientar que as distâncias utilizadas para a obtenção das coordenadas foram reduzidas seguindo a metodologia descrita nas seções 3.1.2 e 3.1.3.

QUADRO 3.2 – CORDENADAS PRELIMINARES DOS PILARES

Pilar	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)
EX1	0,0000	0,0000
EX2	0,0000	870,6215
P1	239,3052	991,9022
P2	196,0664	935,7512
P3	103,3750	815,3860
P4	3,9026	686,1872
P5	-156,1992	478,2788
P6	-224,1814	389,9896
P7	-242,6355	366,0315

3.1.4.6 Processo de ajustamento para a obtenção das coordenadas definitivas

Considerando a configuração da base apresentada pela (figura 3.10), e aplicando o método de ajustamento por variação de coordenadas, objetivando a determinação das correções que deverão ser aplicadas as coordenadas preliminares para obtê-las ajustadas, gera-se um sistema com 21 equações para determinar as coordenadas dos 9 pilares, ou seja, 18 incógnitas. O sistema será formado por 14 equações de lado (aplicando a equação 3.34) e 7 equações de azimute (aplicando a equação 3.26).

Como o objetivo é determinar as coordenadas dos pilares em épocas diferentes para analisar estabilidade dos mesmos, não faz sentido fixar qualquer um deles para analisar o comportamento relativo. Tendo em vista este aspecto aplicou-se o ajustamento livre, ou seja, as coordenadas de todos os pilares poderão receber correções obtidas pelo processo de ajustamento.

Aplicando-se as equações diferenciais 3.36 e 3.28, para a base da fazenda Cangüiri chega-se ao seguinte sistema de equações:

$$\begin{array}{l}
 -KdX_1 - LdY_1 + KdX_2 + LdY_2 + D_{12}^0 - D_{12}^c = V_1 \\
 -KdX_1 - LdY_1 + KdX_3 + LdY_3 + D_{13}^0 - D_{13}^c = V_2 \\
 -KdX_3 - LdY_3 + KdX_4 + LdY_4 + D_{34}^0 - D_{34}^c = V_3 \\
 \vdots \\
 -PdX_{13} + QdY_{13} + RdX_{13} + TdY_{13} + A_{13}^0 - A_{13}^c = V_{15} \\
 \vdots \\
 -PdX_{29} + QdY_{29} + RdX_{29} + TdY_{29} + A_{29}^0 - A_{29}^c = V_{21}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{equações de distância} \\
 \\
 \text{equações de direção}
 \end{array}$$

A solução do sistema de equações gerado pela aplicação ajustamento por variação de coordenadas, como já foi visto é o método paramétrico. A matriz A é dada pela derivada parcial nas equações de condição.

$${}_{21}A_{16} = \begin{bmatrix}
 \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial y_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\delta f_1}{\delta x_{16}} & \frac{\delta f_1}{\delta y_{16}} \\
 \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial y_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \dots & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \frac{\partial f_{21}}{\partial x_1} & \dots & \dots & \dots & \frac{\delta f_{21}}{\delta x_{16}} & \frac{\delta f_{21}}{\delta y_{16}}
 \end{bmatrix}$$

As coordenadas do vetor L são obtidas através da diferença entre os lados e as direções calculadas, equações 3.16 e 3.17 e medidos.

$${}_{16}L_1 = \begin{bmatrix}
 D_{12}^c - D_{12}^0 \\
 A_{12}^c - A_{12}^0 \\
 \vdots
 \end{bmatrix}$$

3.2 COM OBSERVAÇÕES DE LABORATÓRIO

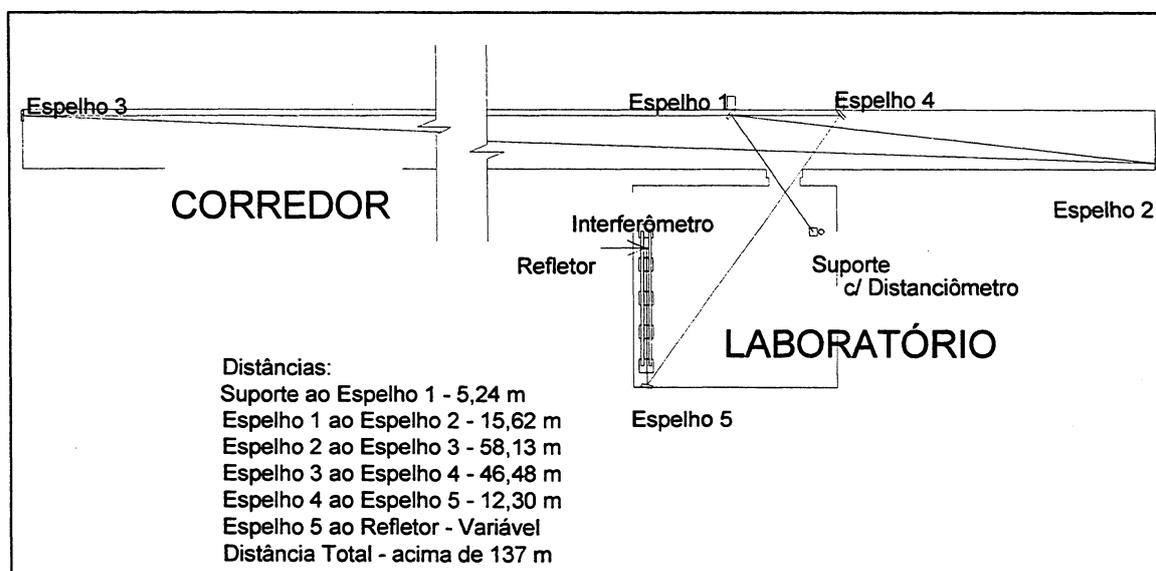
3.2.1 Requisitos para a Determinação das Componentes do Erro Cíclico.

A determinação das componentes do erro cíclico em laboratório requer ambiente com temperatura controlada e dimensões que permitam medições de distâncias superiores a 100 m, uma vez que este erro só ocorre em distâncias superiores a este valor (RÜEGER, 1996; CORDINI 1991; GRIPP 1986; PACILÉO NETTO, 1990). Para contornar este problema utilizou-se um sistema de espelhos, com espelhamento frontal, fixados em bases mecânicas para o ajuste fino, permitindo a medida de distâncias acima de 100m em ambientes reduzidos, como os disponíveis em nosso laboratório.

3.2.1.1 Base para a calibração

O estabelecimento da base para este experimento procurou utilizar a estrutura do LAIG, uma vez que o sistema de calibração de miras utilizando interferometria a LASER, que permite medir deslocamentos com precisão melhor do que centésimo do milímetro, está montado neste laboratório.

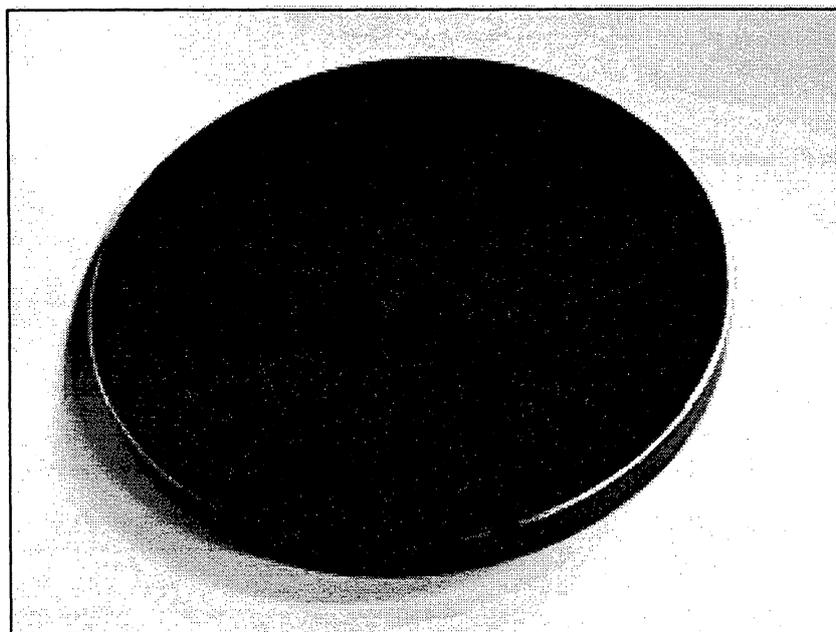
FIGURA 3.15 - BASE DE CALIBRAÇÃO DE "MED" EM LABORATÓRIO



A base foi montada utilizando a sala onde está montado o LAIG e o corredor de acesso, ou seja, o corredor do bloco VI. Como está apresentado na (figura 3.15).

Como pode ser visto, a ampliação da distância foi possível com a utilização de um conjunto de espelhos de alta resolução construídos especialmente para este trabalho (figura 3.16).

FIGURA 3.16 – ESPELHO UTILIZADO

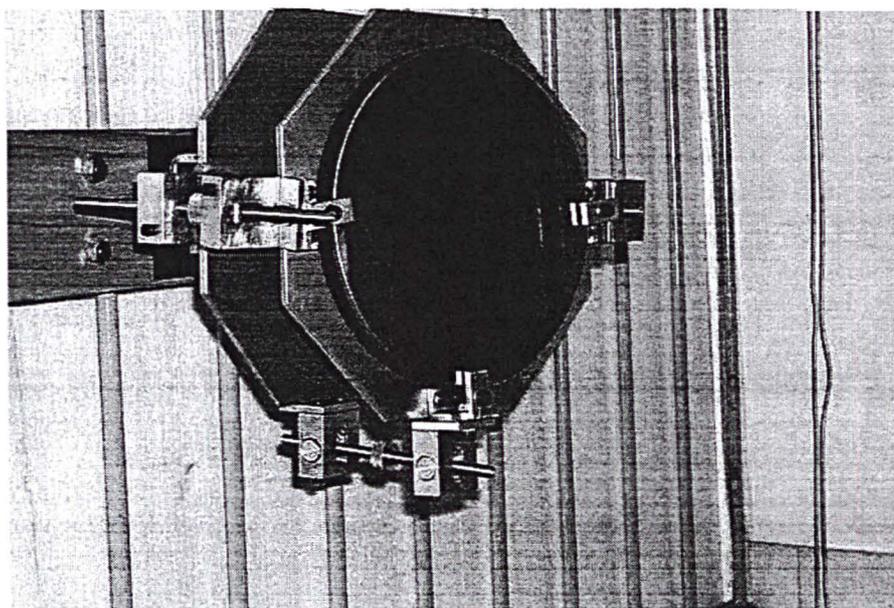


O posicionamento destes espelhos nos locais indicados na (figura 3.15) foi viabilizado por um suporte que permite movimentos de rotação e translação necessários para o envio do sinal para o próximo espelho. O projeto consta do apêndice 2.

O material utilizado na confecção destes suportes foi alumínio, tendo em vista que a relação resistência e peso ser adequada para este fim. Os parafusos, de rosca sem fim, utilizados para dar os movimentos de rotação e translação foram confeccionado em aço inox para evitar o desgaste com o tempo.

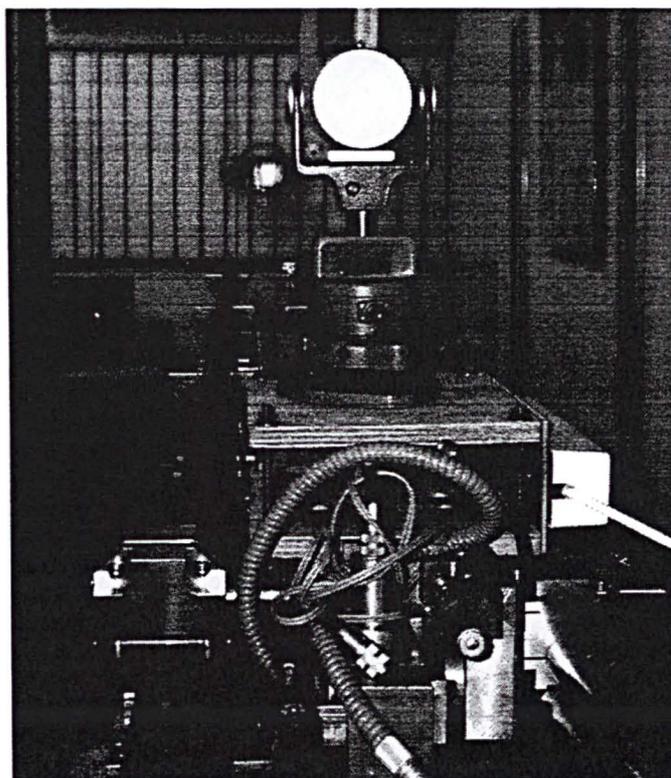
Como pode ser visto na (figura 3.17), utilizou-se um suporte na parede para facilitar a montagem do sistema quando da sua utilização.

FIGURA 3.17 – SUPORTE DE ESPELHO



O refletor do MED e o refletor móvel do interferômetro estão posicionados sobre uma estrutura que permite seu deslocamento sobre os trilhos e a medição do mesmo com precisão da ordem de $5 \mu\text{m}$, nas condições em que está instalado no LAIG (figura 3.18).

FIGURA 3.18 – SISTEMA DE TRILHOS DO INTERFERÔMETRO



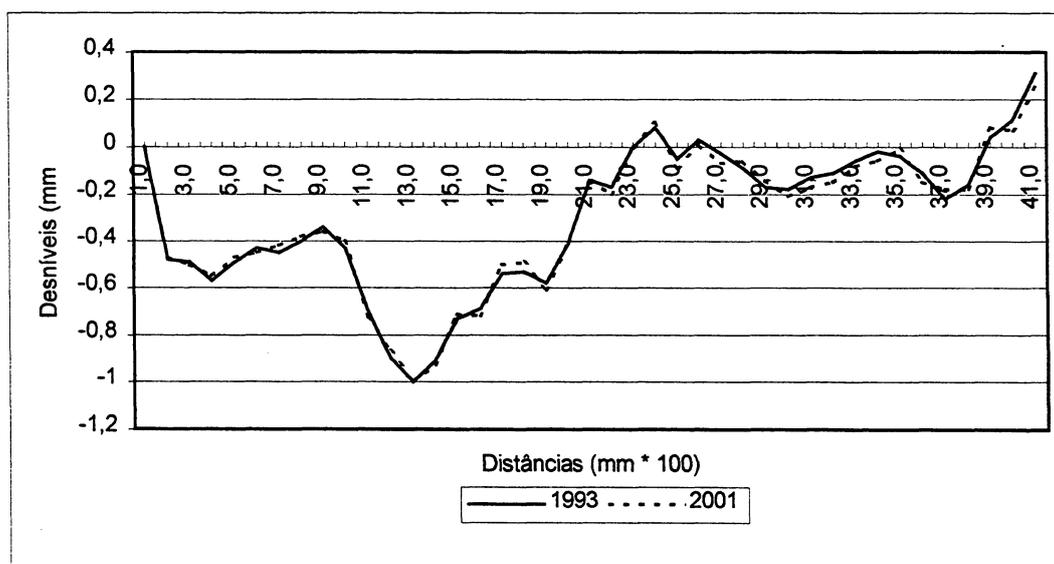
3.2.1.2 Alinhamento dos trilhos

Os trilhos estão apoiados em pilares engastados na laje do piso do laboratório proporcionando uma estabilidade na estrutura. Apesar de todo o cuidado quando do posicionamento dos trilhos, permaneceram algumas irregularidades provocando variações nos deslocamentos do refletor móvel, principalmente nas medidas com sistema interferométrico tendo em vista sua alta precisão.

Outro aspecto importante consiste nas medidas dos deslocamentos do refletor feitos com o MED. Neste caso, os deslocamentos são inclinados e, portanto, devem ser horizontalizados para compará-los com os mesmos deslocamentos medidos com o interferômetro. Para tal, determinaram-se os desníveis dos trilhos posicionando a plataforma que transporta o refletor móvel do interferômetro e o refletor do MED com afastamentos de 10 cm.

Os resultados encontrados demonstram um desnível máximo de 1,0 mm situado aproximadamente a 1,2 m da origem. Tendo em vista este procedimento ter sido realizado em 1993, repetiu-se o processo utilizando o nivelamento com o nível óptico-mecânico N3 e chegou-se aos resultados apresentados no gráfico a seguir.

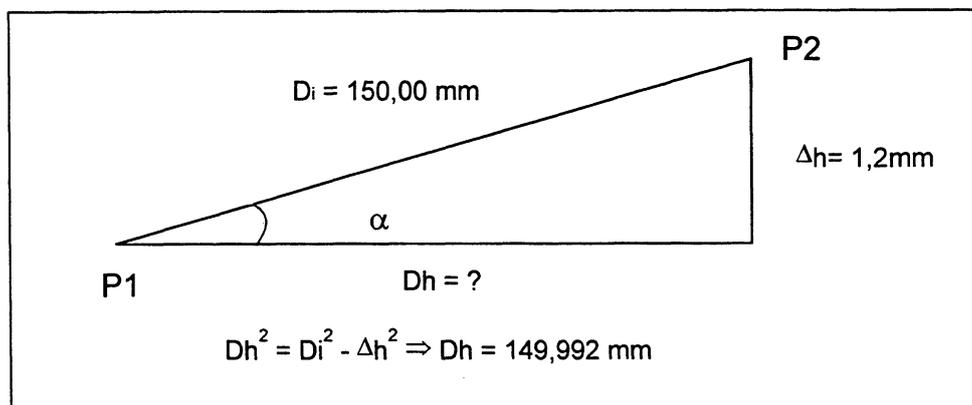
FIGURA 3.19 – GRÁFICO DOS DESNÍVEIS DOS TRILHOS



Analisando o gráfico dos desníveis obtidos em 2001 e os desníveis obtidos em 1993, verificou-se que os mesmos se mantiveram.

Para obter a horizontalização da distância medida com o MED, basta aplicar o teorema de Pitágoras (figura 3.20).

FIGURA 3.20 – REPRESENTAÇÃO DA HORIZONTALIZAÇÃO DA DISTÂNCIA



Na (figura 3.20) tem-se:

D_i = Distância inclinada medida com o MED;

Δh = Desnível entre o ponto 1 e 2;

D_h = Distância horizontal.

A diferença entre a distância inclinada e horizontal é 0,008mm. Todos os MEDs disponíveis no mercado têm precisão inferior a este valor; então, ignorou-se esta correção para os deslocamentos medidos com instrumento a ser calibrado. Já com relação ao interferômetro, estas correções foram consideradas tendo em vista que o mesmo foi configurado para medir estes deslocamentos com precisão de $5\mu\text{m}$.

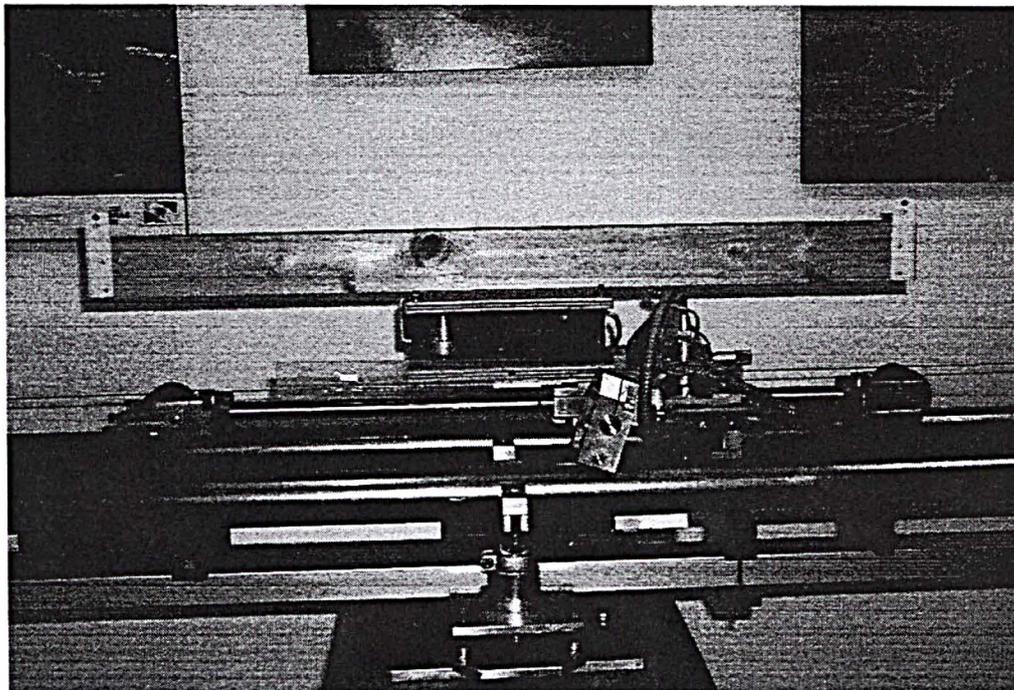
O procedimento adotado na determinação das correções dos deslocamentos medidos com o interferômetro foi desenvolvimento quando da automação do sistema de calibração de miras (FAGGION, 1993).

A confirmação destas correções foi realizada utilizando o nivelamento geométrico de primeira ordem.

O método consiste em posicionar sobre a estrutura que transporta os refletores uma mira com dois alvos bem definidos e afastados de uma distância conhecida. Como não existe no mercado um equipamento com estas características,

desenvolveu-se um sistema de alvos (figura 3.21) que atende essa necessidade, no próprio laboratório (FAGGION, 1993).

FIGURA 3.21 – RÉGUA HORIZONTAL DESENVOLVIDA PARA MEDIR A ONDULAÇÃO DOS TRILHOS



Conhecendo a distância entre os dois alvos e determinando a diferença de altura entre eles é possível, com estas informações, montar um triângulo retângulo onde a diferença de altura é o cateto oposto e a distância entre os alvos é o cateto adjacente.

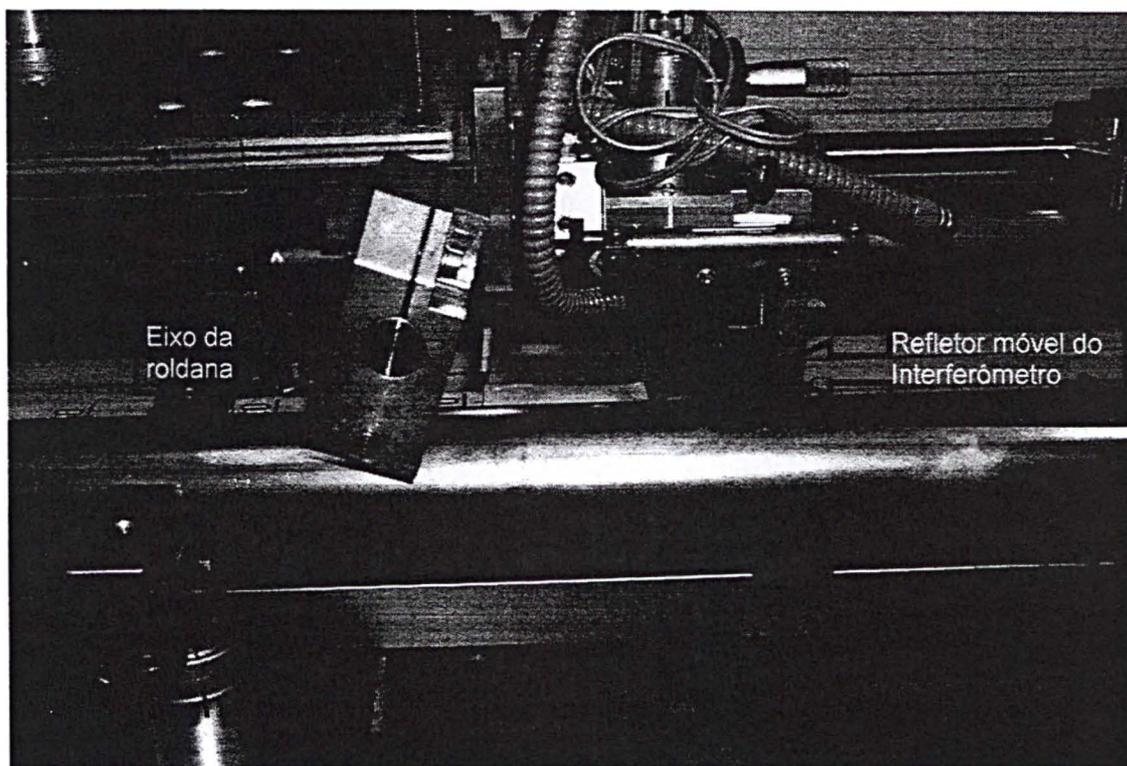
Considerando-se o triângulo apresentado na (figura 3.20), O ângulo α pode ser calculado pela seguinte relação:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\Delta h}{Dh}\right) \quad (3.47)$$

O ângulo α é o ângulo de inclinação da régua que por sua vez é igual ao ângulo de inclinação do refletor móvel do interferômetro, formado com o movimento da estrutura quando se desloca sobre os trilhos. Conhecendo este ângulo e a distância entre o centro do refletor e o centro do eixo que contém a roldana é

possível determinar a correção a ser aplicada à distância medida com o interferômetro quando o mesmo ocupar esta posição (Figura 3.22).

FIGURA 3.22 – REPRESENTAÇÃO DO EIXO DA ROLDANA E O REFLETOR MÓVEL DO INTERFERÔMETRO



Esta metodologia foi aplicada para todo o trilho, com afastamento 10 cm entre as determinações deste ângulo e interpolado para o milímetro. Com isso obteve-se a correção para cada milímetro do trilho partindo-se da sua origem.

Maiores informações sobre o assunto podem ser encontradas em (FAGGION, 1993).

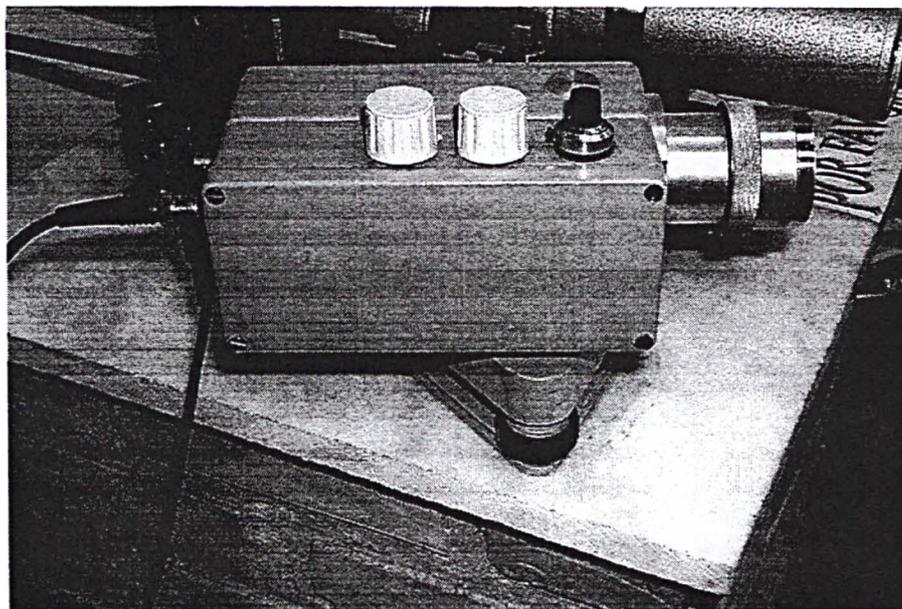
3.2.2 Requisitos para a Determinação do Fator de Escala

A determinação do fator de escala em laboratório consiste na medida da frequência de operação do equipamento que está sendo calibrado e compará-la com o valor nominal dado pelo fabricante.

Para esta calibração é necessário um conjunto de equipamentos, disponíveis no LAIG, que constam de:

- a) Fotodetector C536 –THORN-EMI (figura, 3.23); com resolução que vai de 25Hz a 55Mhz. Este equipamento foi desenvolvido na Universidade de Hannover, República Federal da Alemanha

FIGURA 3.23 – FOTODETECTOR – THORN-EMI



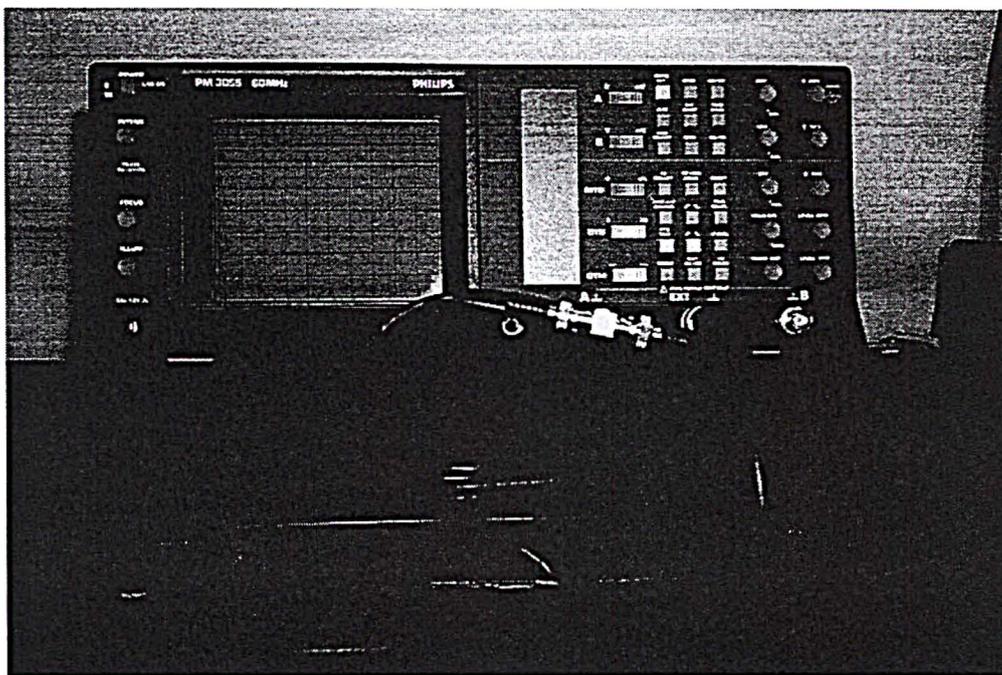
- b) Freqüencímetro PM6673 – PHILIPS, com resolução na medida da freqüências de 120 MHz (figura, 3.24);

FIGURA 3.24 – FREQÜENCÍMETRO PM6673



c) Osciloscópio PM3055 – PHILIPS (figura,3.25) com resolução de medida de até 60 MHz.

FIGURA 3.25 – OSCILOSCÓPIO PM3055



O procedimento de laboratório necessita da certificação dos equipamentos que serão utilizados como padrão, no caso o freqüencímetro. Tal procedimento foi realizado pelo LACTEC. O procedimento de calibração adotado, bem como os padrões utilizados constam do certificado de calibração (ver apêndice 3).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 QUALIDADE DO AJUSTAMENTO QUE DETERMINOU AS COORDENADAS DOS PILARES

Foram realizados 5 campanhas em épocas diferentes objetivando determinar a estabilidade dos pilares que compõem a base de campo conforme consta do apêndice 1. O resultado do processo de ajustamento foi às coordenadas ajustadas para cada época e a matriz variância-covariância dos valores ajustados.

Fazendo a decomposição da matriz variância-covariância dos valores ajustados em valores próprios e vetores próprios, é possível determinar os semi-eixos da elipse dos erros e o ângulo de rotação, vinculados às coordenadas de cada pilar em todas as campanhas realizadas.

A opção de utilizar-se o conceito de componentes principais para determinar os semi-eixos da elipse dos erros, está fundamentado na característica do método. Quando se utiliza este conceito, os semi-eixos das elipses dos erros, que indicam a incerteza na determinação da coordenada X e Y de cada pilar, são obtidos considerando a influência de todo o conjunto de dados utilizados no processo de ajustamento (JONHSON e WICHERN, 1998).

Quando a matriz variância-covariância é decomposta em várias sub-matrizes, dependendo do número de parâmetros, os semi-eixos contemplam somente o erro envolvido nas coordenadas do pilar em questão.

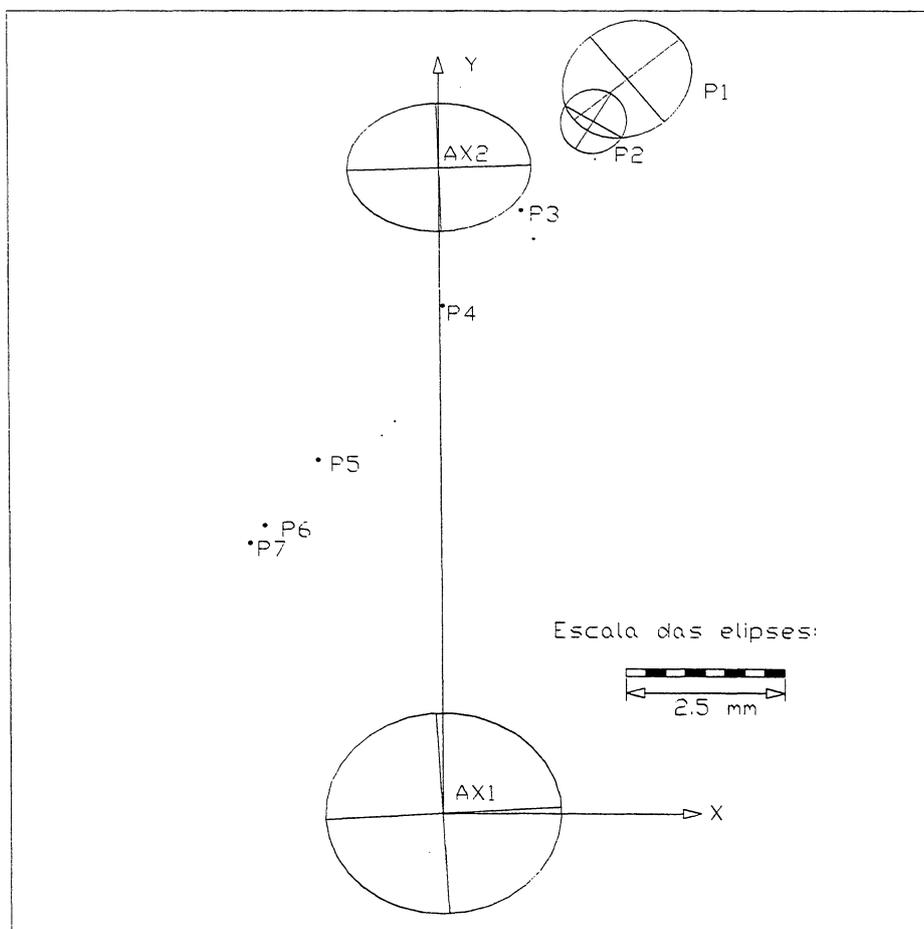
O procedimento, considerando componentes principais, foi efetuado para cada campanha, utilizando os dados que constam nos quadros ap. 01, 02, 03, 04 e 05, no apêndice 1. Os resultados estão apresentados nos quadros 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5; porém, a representação da elipse dos erros ficou prejudicada em função de sua dimensão.

A saída encontrada foi representá-la em escala gráfica, diferente das coordenadas dos pilares. Este procedimento foi com o intuito de analisar a direção em que se encontram o erro em cada campanha.

QUADRO 4.1 - RESULTADO DA CAMPANHA REALIZADA EM 17 DE MAIO DE 2000 (EQUIPAMENTO TC2002)

Ponto	Coordenadas (m)		Desvio Padrão (mm)		Semi Eixo da Elipse dos Erros (mm)		
	X	Y	σ_x	σ_y	Maior	Menor	Ângulo Rotação(°)
Ax1	0,0001	0,0016	0,2335	0,8539	1,7068	1,8698	3,35194057
Ax2	0,0001	870,6194	0,2350	0,6906	1,4622	1,0812	1,78866807
P1	239,3044	991,8997	0,7224	0,7791	0,9208	0,3797	-39,8560437
P2	196,0667	935,7492	0,6380	0,7184	0,5319	0,5526	-31,2200571
P3	103,3750	815,3840	0,8241	0,8501	0	0	43,4915334
P4	3,9027	686,1845	0,2354	0,8922	0	0	2,85918830
P5	-156,1992	478,2808	0,4110	1,1564	0	0	14,1272482
P6	-224,1814	389,9913	0,6278	1,2969	0	0	21,6949392
P7	-242,6354	366,0332	0,7215	1,3350	0	0	24,7713019

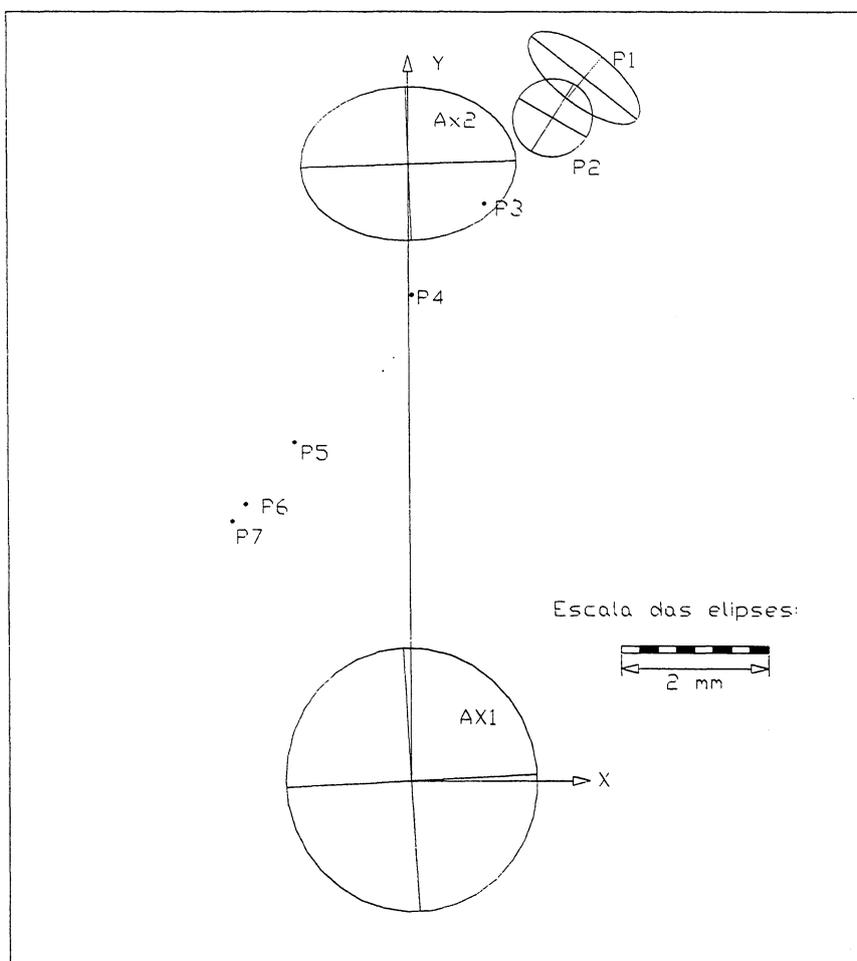
FIGURA 4.1- GRÁFICO COM A REPRESENTAÇÃO DAS COORDENADAS – CAMPANHA 01



QUADRO 4.2 - RESULTADO DA CAMPANHA REALIZADA EM 27 DE SETEMBRO DE 2000 (EQUIPAMENTO TC2002)

Ponto	Coordenadas (m)		Desvio Padrão (mm)		Semi Eixo da Elipse dos Erros (mm)		
	X	Y	σ_x	σ_y	Maior	Menor	Ângulo Rotação(°)
Ax1	0,0000	0,0025	0,2337	0,8539	1,7079	1,8717	3,2502
Ax2	0,0000	870,6237	0,2344	0,6908	1,4626	1,0814	1,9383
P1	239,2971	991,9053	0,7227	0,7793	0,9209	0,3808	-39,866
P2	196,0663	935,7558	0,6384	0,7186	0,5321	0,5525	-31,185
P3	103,3777	815,3926	0,8246	0,8503	0	0	43,5296
P4	3,9082	686,1872	0,2355	0,8922	0	0	2,9115
P5	-156,1971	478,2843	0,4111	1,1566	0	0	14,0893
P6	-224,1792	389,9967	0,6279	1,2971	0	0	21,6673
P7	-242,631	366,0402	0,7214	1,3351	0	0	24,7534

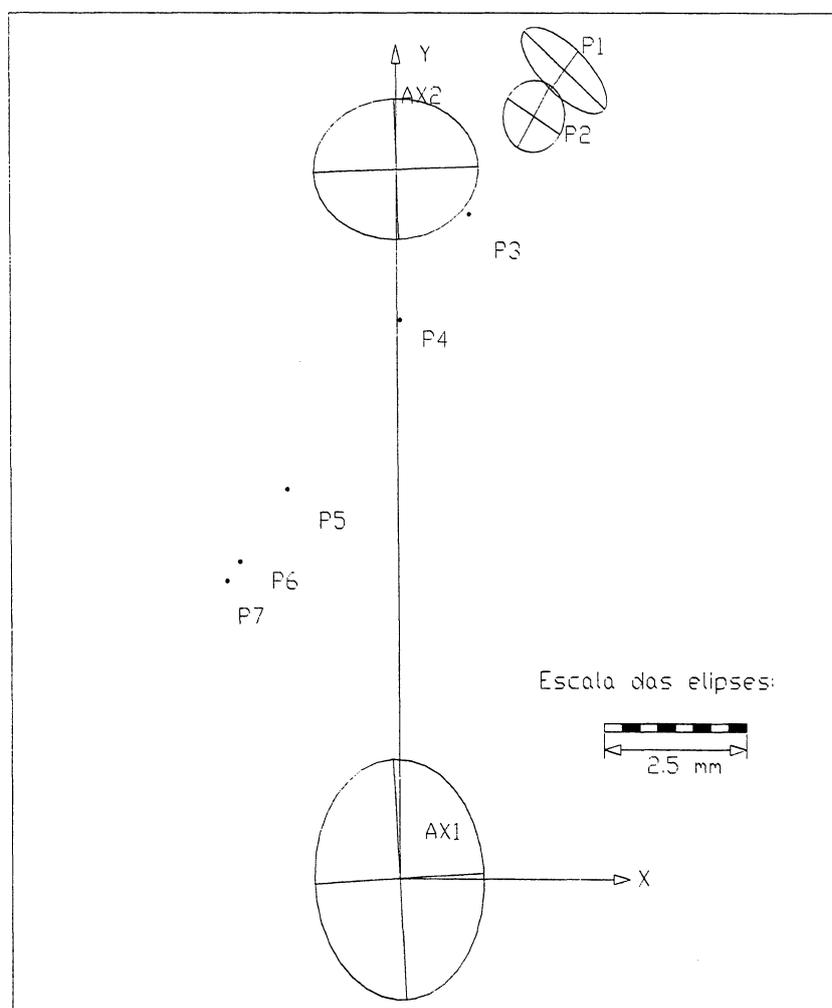
FIGURA 4.2 – GRÁFICO COM A REPRESENTAÇÃO DAS COORDENADAS – CAMPANHA 02



QUADRO 4.3 – RESULTADO DA CAMPANHA REALIZADA EM 06 DE NOVEMBRO DE 2000 (EQUIPAMENTO ELTA10)

Ponto	Coordenadas (m)		Desvio Padrão (mm)		Semi Eixo da Elipse dos Erros (mm)		
	X	Y	σ_x	σ_y	Maior	Menor	Ângulo Rotação(°)
Ax1	0,0002	-0,0012	0,2336	0,8538	1,5049	1,8640	3,34928
Ax2	0,0002	870,6236	0,2450	0,6906	1,4640	1,0809	1,77245
P1	29,3079	991,9049	0,7223	0,7790	0,9207	0,3798	-39,8871
P2	196,0695	935,7536	0,6380	0,7183	0,5320	0,5525	-31,2812
P3	103,3756	815,3868	0,8239	0,8499	0	0	43,5000
P4	3,8993	686,1879	0,2354	0,8921	0	0	2,85460
P5	-156,1953	478,2798	0,4112	1,1565	0	0	14,1233
P6	-224,1794	389,9930	0,6272	1,2964	0	0	21,6607
P7	-242,6325	366,0348	0,7207	1,3341	0	0	24,7407

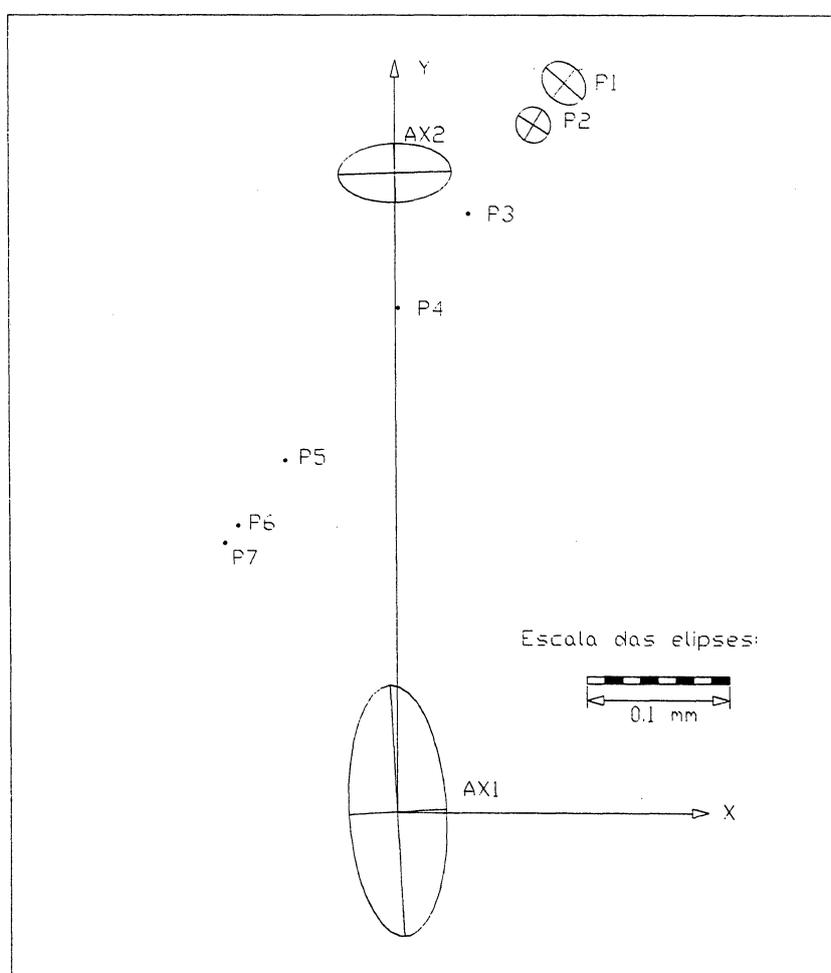
FIGURA 4.3 – GRÁFICO COM A REPRESENTAÇÃO DAS COORDENADAS – CAMPANHA 03



**QUADRO 4.4 – RESULTADO DA CAMPANHA REALIZADA EM 06 DE NOVEMBRO DE 2000
(EQUIPAMENTO TC2002)**

Ponto	Coordenadas (m)		Desvio Padrão (mm)		Semi Eixo da Elipse dos Erros (mm)		
	X	Y	σ_x	σ_y	Maior	Menor	Ângulo Rotação(°)
Ax1	0,0002	0,0028	0,0488	0,2435	0,0346	0,0858	3,32261
Ax2	0,0002	870,6176	0,0392	0,1809	0,0415	0,0205	1,82840
P1	239,3042	991,8987	0,0991	0,1868	0,0168	0,0130	-39,819
P2	196,0669	935,7481	0,0989	0,1828	0,0124	0,0121	-31,136
P3	103,3752	815,3836	0,0975	0,1902	0	0	43,477
P4	3,9028	686,1826	0,0490	0,1848	0	0	2,8725
P5	-156,2049	478,2817	0,0720	0,2449	0	0	14,0993
P6	-224,1849	389,9912	0,0998	0,2614	0	0	21,6582
P7	-242,6362	366,0332	0,1637	0,3082	0	0	24,7459

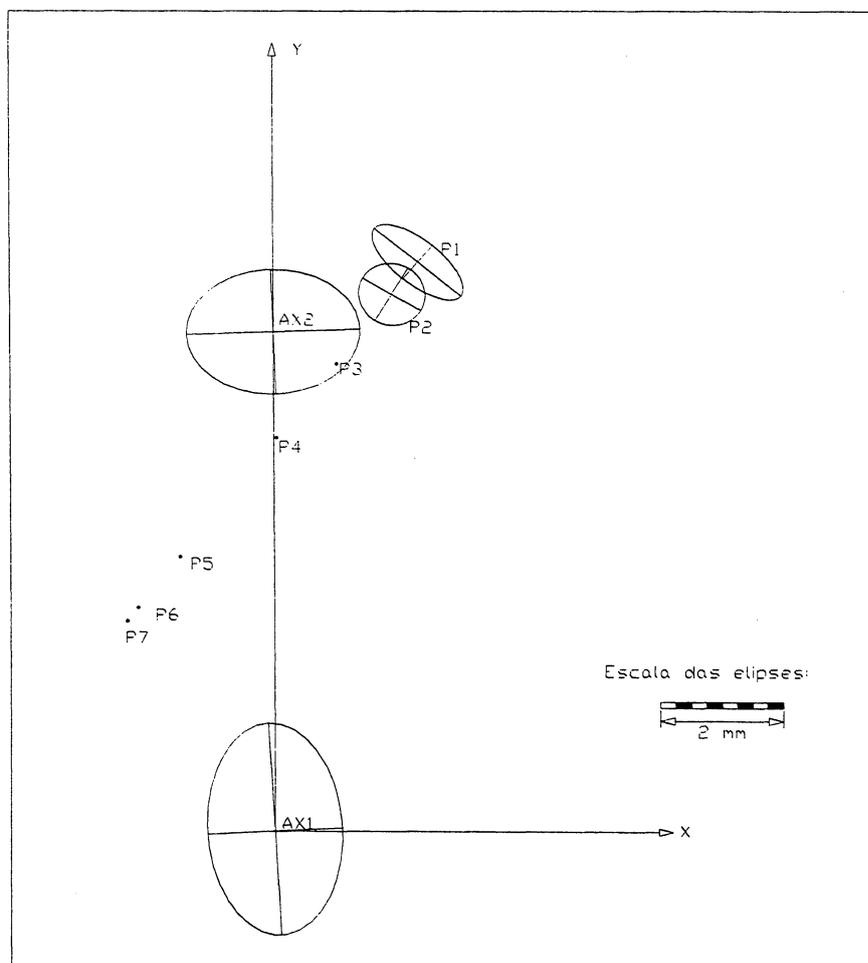
FIGURA 4.4 – GRÁFICO COM A REPRESENTAÇÃO DAS COORDENADAS – CAMPANHA 04



QUADRO 4.5 – RESULTADO DA CAMPANHA REALIZADA EM 02 DE SETEMBRO DE 2001 (EQUIPAMENTO TC2002)

Ponto	Coordenadas (m)		Desvio Padrão (mm)		Semi Eixo da Elipse dos Erros (mm)		
	X	Y	σ_x	σ_y	Maior	Menor	Ângulo Rotação(°)
Ax1	-0,0001	0,0014	0,2337	0,8541	1,1141	1,8702	3,2448
Ax2	-0,0001	870,6196	0,2417	0,6915	1,4374	1,0813	1,9289
P1	239,3016	991,8993	0,7223	0,7797	0,9209	0,3798	-39,7760
P2	196,0651	935,7503	0,6379	0,7191	0,5531	0,5323	-30,9850
P3	103,3732	815,3860	0,8240	0,8508	0	0	43,4517
P4	3,9006	686,1917	0,2355	0,8939	0	0	2,9124
P5	-156,2127	478,2977	0,4090	1,1545	0	0	13,9756
P6	-224,1860	389,9915	0,6254	1,2917	0	0	21,6146
P7	-242,6387	366,0303	0,7211	1,3347	0	0	24,7269

FIGURA 4.5 – GRÁFICO COM A REPRESENTAÇÃO DAS COORDENADAS – CAMPANHA 05



4.2 ESTUDO DA SENSIBILIDADE DA BASE DE CALIBRAÇÃO

O estudo realizado na fase anterior objetivou determinar a qualidade do processo de ajustamento para definir às coordenadas dos pilares que compõem a base de campo.

Nesta fase pretende-se determinar possíveis deslocamentos dos pilares que compõem a base ao longo do tempo. Este estudo tem fundamental importância tendo em vista que o processo de calibração, com observações de campo, que está sendo proposto neste trabalho, fundamenta-se na determinação dos fatores de calibração utilizando bases lineares com escala conhecida. Logo, é fundamental a estabilidade dos pilares com o passar do tempo.

Com base neste aspecto, verifica-se a adequação do conceito de sensibilidade de redes geodésicas que estabelece a capacidade de detectar deslocamentos baseados em dados coletados em épocas diferentes (NIEMEIER e HOLLMANN, 1984; MORAES, 2001).

Considerando este conceito e a partir dos dados obtidos em campo determinaram-se as coordenadas dos pilares, bem como a matriz variância e covariância para cada época de observação, como foi visto na seção anterior. A fim de verificar se existe ou não variações significativas dessas coordenadas foram estabelecidas as hipóteses nula (H_0) e alternativa (H_A), em que:

$$H_0 : E \{d_1\} = 0, \quad (4.1)$$

$$H_A : E \{d_1\} \neq 0. \quad (4.2)$$

Onde:

E = esperança matemática

d_1 = é a diferença entre a coordenada x_i ou y_i da campanha 1 com relação a campanha 2

A equação apresentada para testar a hipótese formulada pelas equações 4.1 e 4.2 tem a seguinte característica GEMAEL, (1994, p.32)

$$[(Y_1 / v_1) / (Y_2 / v_2)] = [(Y_1 / v_2) / (Y_2 / v_1)] = F \quad (4.3)$$

Este modelo obedece a distribuição F de Snedecor com r graus de liberdade no numerador e $v_1 + v_2$ graus de liberdade no denominador. A hipótese nula H_0 será válida se, e somente se, $F < F_{r, f1 + f2, \alpha}$. (SALER, 1995)

Onde:

v_1 : Graus de liberdade da época 1

v_2 : Graus de liberdade da época 2

Comparando a segunda campanha com a primeira, a maior diferença está na coordenada Y do pilar 3 (P3), conforme dados apresentados na tabela 4.1. Aplicando os valores correspondentes da coordenada nas respectivas campanhas na equação 4.3, chega-se ao valor apresentado abaixo para T_{12} .

$$T_{12} = (815,3840/4) / (815,3926/4) = 203,846 / 203,8481 \Rightarrow T_{12} = 0,99998$$

Resolvendo a equação 4.3, considerando a primeira campanha como sendo invariável e testando a maior variação ocorrida em cada campanha, obtêm-se os seguintes resultados.

$$T_{13} = 1,000005,$$

$$T_{14} = 1,000005,$$

$$T_{15} = 1,000010,$$

Considerando os graus de liberdade das campanhas envolvidas, e o nível de significância $\alpha = 5\%$, obtêm-se da tabela apresentada por GEMAEL, (1994, p. 314), o valor teórico de $F_r = 3,95$

Desta forma pode-se dizer, que ao nível de significância de 5%, não houve variação significativa da posição dos pilares no período estudado.

5 METODOLOGIA DE CALIBRAÇÃO EM PROPOSIÇÃO

5.1 COM OBSERVAÇÃO DE CAMPO

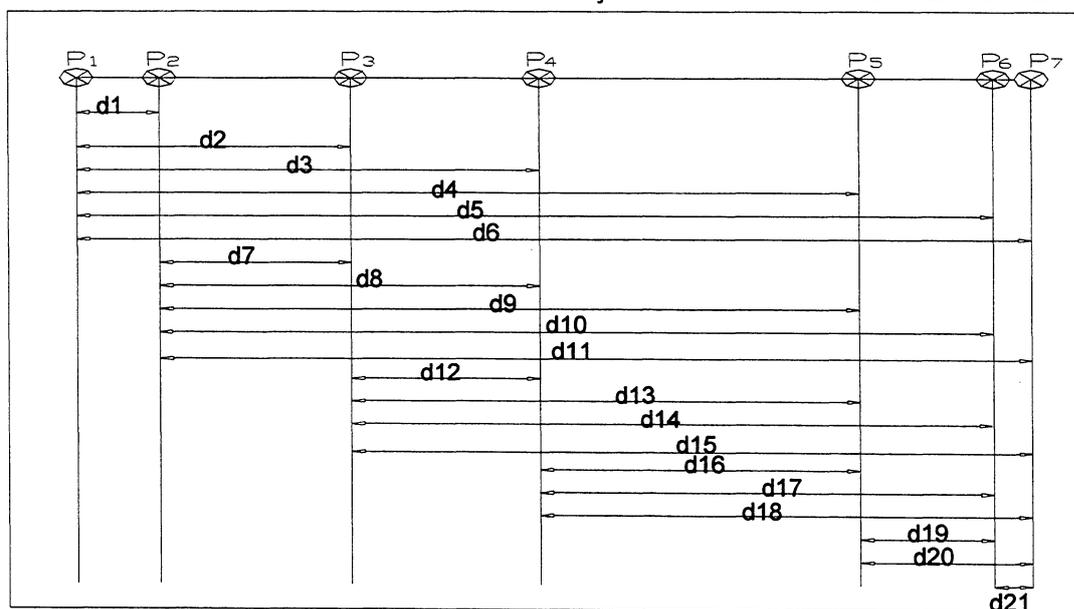
5.1.1 Determinação da Escala da Base

A calibração de MED que emprega linhas de base pode ser realizada utilizando distância conhecida entre os pilares, ou seja, conhecendo a escala da base, e também sem o conhecimento destas distâncias. No caso da calibração sem o conhecimento da escala, somente é possível a determinação da constante aditiva ou erro de zero e uma estimativa das componentes do erro cíclico (RÜEGER, 1977; GRIPP, 1986; PACILÉO NETTO, 1990; RÜEGER, 1996).

A proposta deste trabalho é a determinação de todas as componentes de calibração dos MEDs. Assim sendo, serão tratados os aspectos que envolvem base linear com escala conhecida, tendo em vista que o não conhecimento da escala inviabiliza a determinação o fator de escala GRUPP, (1986, p.39).

A forma e disposição dos pilares da base utilizada, bem como a escolha do terreno foi descrita na seção 3. As superabundâncias de observações, para a determinação dos parâmetros de calibração constam de 21 observações de distâncias medidas entre os pilares, conforme está representado na (figura 5.1).

FIGURA 5.1 – CONJUNTO DE MEDIÇÕES REALIZADAS SOBRE A BASE



A escala da base foi determinada, considerando as distâncias entre pilares obtidas a partir de um equipamento com frequência de operação certificada (TC2002) utilizando, para tal um freqüencímetro calibrado no (LACTEC), cujo certificado de calibração apresenta-se no apêndice 3.

Cabe ressaltar que a horizontalização das distâncias, bem como as correções ambientais foram efetivadas seguindo as orientações descritas na seção 3.

As distâncias, consideradas padrão, foram determinadas a partir do modelo de ajustamento de redes proposto por NIEMAIER (1981).

$$L_i + V_i = A_{ij} X_j, \quad i, j = 1, 2, \dots, k \quad (5.1)$$

Onde:

i = i -ésima época;

k = número total de épocas;

L_i = Vetor das observações;

V_i = Vetor dos resíduos;

A_{ij} = Derivada parcial das equações de condição;

X_j = Vetor das correções.

$$X_j = (A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (5.2)$$

As distâncias foram medidas com a TC2002, em todas as campanhas. Os elementos P_{ij} da matriz dos pesos foram obtidos em função da precisão nominal do equipamento utilizado e das distâncias medidas, utilizando a equação 5.3.

$$P_{ij} = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{d_{ij}}{1000}\right)^2\right)} \quad (5.3)$$

Onde:

D_{ij} = distância entre os pilares

Com isso forma-se uma matriz quadrada 105 X105. Os elementos nulos ocorrem em virtude da não existência de correlação entre as observações.

Aplicando o modelo apresentado pela equação 5.2, forma-se o sistema com 105 equações e 21 parâmetros. Estes parâmetros são as distâncias entre os pilares que serão adotadas como escala.

Um dos resultados do processo de ajustamento é a matriz variância-covariância dos valores ajustados. Esta matriz será utilizada como peso na determinação dos parâmetros de calibração utilizando a base de campo. Os valores para a escala encontram-se no (quadro 5.1).

QUADRO 5.1 – ESCALA DA BASE OBTIDA COM O MED

Pilares	Distâncias (m)	Desvios Padrões (mm)
P1⇒ P2	70,8686	0,62
P1⇒ P3	222,789	0,71
P1⇒ P4	385,8444	0,80
P1⇒ P5	648,2498	0,95
P1⇒ P6	759,6788	1,02
P1⇒ P7	789,9196	1,03
P2⇒ P3	151,920	0,66
P2⇒ P4	314,9758	0,76
P2⇒ P5	577,3808	0,91
P2⇒ P6	688,8104	0,97
P2⇒ P7	719,0506	0,99
P3⇒ P4	163,0546	0,67
P3⇒ P5	425,4598	0,82
P3⇒ P6	536,889	0,88
P3⇒ P7	567,1298	0,90
P4⇒ P5	262,4048	0,73
P4⇒ P6	373,834	0,79
P4⇒ P7	404,0744	0,81
P5⇒ P6	111,429	0,64
P5⇒ P7	141,6698	0,66
P6⇒ P7	30,2404	0,59
Média dos desvios		0,80

Considerando que a estabilidade dos pilares que compõem a base foi determinada a partir de observações lineares e de direção, realizadas com um equipamento certificado segundo a norma NBR13133 utilizando a base de classificação de teodolitos e estações totais disponível no Campus III da UFPR (MEDINA,1998), e que o MED também foi calibrado, conforme os certificados constam do Apêndice 3, adotou-se como escala da base as distâncias entre pilares dadas pelo (quadro 5.1).

5.2 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA APLICADA NA DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE CALIBRAÇÃO COM OBSERVAÇÃO DE CAMPO

5.2.1 Determinação do Fator de Escala e Erro de Zero

O modelo matemático aplicado para a determinação dos fatores de calibração de um MED está descrito por diversos autores, dentre os quais. EMENIKE, (1982a); EMENIKE, (1982b); GRIPP, (1986); PACILEO NETTO, (1990) e RÜEGER, (1996).

Tais autores citam também a modelagem que pode ser aplicada para determinar o erro de zero e uma estimativa das componentes do erro cíclico em bases de campo sem o conhecimento da escala.

Deve-se tratar os fatores de calibração de forma separada, ou seja, na primeira fase será determinado o erro de zero e o fator de escala e na segunda os elementos do erro cíclico. Há a necessidade de serem determinados estes fatores em duas etapas, tendo em vista a alta correlação que existe entre o erro de zero e a fase do erro cíclico (GRIPP, 1986).

$$D_{p_{ij}} - d_{o_{ij}} = V_{ij} + m \cdot d_{o_{ij}} + Z_0 \quad (5.4)$$

$$i = 1, 2, \dots, 6;$$

$$e \quad \left. \vphantom{e} \right\} \text{ para } i < j \text{ e } i \neq j$$

$$j = 2, 3, \dots, 7;$$

onde:

m = Fator de Escala;

do_{ij} = Distâncias medidas com o equipamento que será calibrado;

Z_0 = Erro de Zero ou constante aditiva;

Dp_{ij} = Escala da Base;

V_{ij} = Resíduos.

Aplicando a equação 5.4, para $i = 1$ e $j = 2$ chega-se a seguinte equação para o primeiro intervalo.

$$Dp_{12} - do_{12} = V_{12} + m \cdot do_{12} + Z_0 \quad (5.5)$$

A solução do sistema de equações formado pela aplicação das observações na equação 5.5 é obtida pelo do método paramétrico, de forma idêntica à solução apresentada na seção 3.

Os valores encontrados nesta primeira fase são aplicados na equação 5.4. Comparando as distâncias medidas, corrigidas do erro de zero e fator de escala com as distâncias padrão, constata-se um novo resíduo que abriga agora somente os erros aleatórios e os elementos do erro cíclico.

5.2.2 Determinação dos Elementos do Erro Cíclico

Este novo vetor de resíduos, isento do erro de zero e fator de escala, será novamente submetido a um processo de ajustamento, a fim de definir uma estimativa das componentes do erro cíclico (amplitude e fase). O modelo matemático aplicado nesta fase pode ser assim escrito (EMENIKE, 1982a; EMENIKE, 1982b; GRIPP, 1986; PACILEO NETTO, 1990; RÜEGUER, 1996; RÜEGER, 1978):

$$Ec_{ij} = V_i = A \operatorname{sen} \left[\frac{2\pi}{\lambda' (Dp_{ij} + B)} \right] \quad (5.6)$$

$$E_{c_{ij}} = V_i = A \operatorname{sen} \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda'} \right) D p_{ij} + \left(\frac{2\pi}{\lambda'} \right) B \right] \quad (5.7)$$

$$\theta = \left(\frac{2\pi}{\lambda'} \right) D p_{ij} \quad (5.8)$$

$$\theta_0 = \left(\frac{2\pi}{\lambda'} \right) B \quad (5.9)$$

$$E_{c_{ij}} A \operatorname{sen}(\theta + \theta_0) = A \operatorname{sen} \theta \cos \theta_0 + A \cos \theta_0 \operatorname{sen} \theta \quad (5.10)$$

$$E_{c_{ij}} = \operatorname{sen} \theta A \cos \theta_0 + \cos \theta A \operatorname{sen} \theta_0 \quad (5.11)$$

onde:

$E_{c_{ij}}$ = Erro cíclico relativo a distância ij;

θ = Ângulo de fase;

$B = \theta_0$ = Ângulo de fase inicial;

A = Amplitude do erro cíclico;

λ' = meio comprimento de onda de modulação;

d_{ij} = distância conhecida (escala da base);

l_0 = distância medida

Linearizando o modelo representado pela equação 5.11:

$$E_i = P_i X + Q_i Y \quad (5.12)$$

onde:

$P_i = \operatorname{sen}(\theta_i)$;

$Q_i = \cos(\theta_i)$;

$X = A \cos(\theta_i)$;

$$Y = A \sin(\theta_i);$$

A amplitude do erro cíclico, em mm, é dada por:

$$A^2 = X^2 + Y^2 \quad (5.13)$$

O ângulo de fase do erro cíclico, em radianos, é dado por:

$$\phi = \arctg\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (5.14)$$

A solução do sistema de equações gerado com a aplicação da escala da base e as distâncias medidas com equipamento que se deseja calibrar também é resolvido com método paramétrico, amplamente discutido na seção 3.

5.3 COM OBSERVAÇÕES DE LABORATÓRIO

5.3.1 Determinação do Fator de Escala

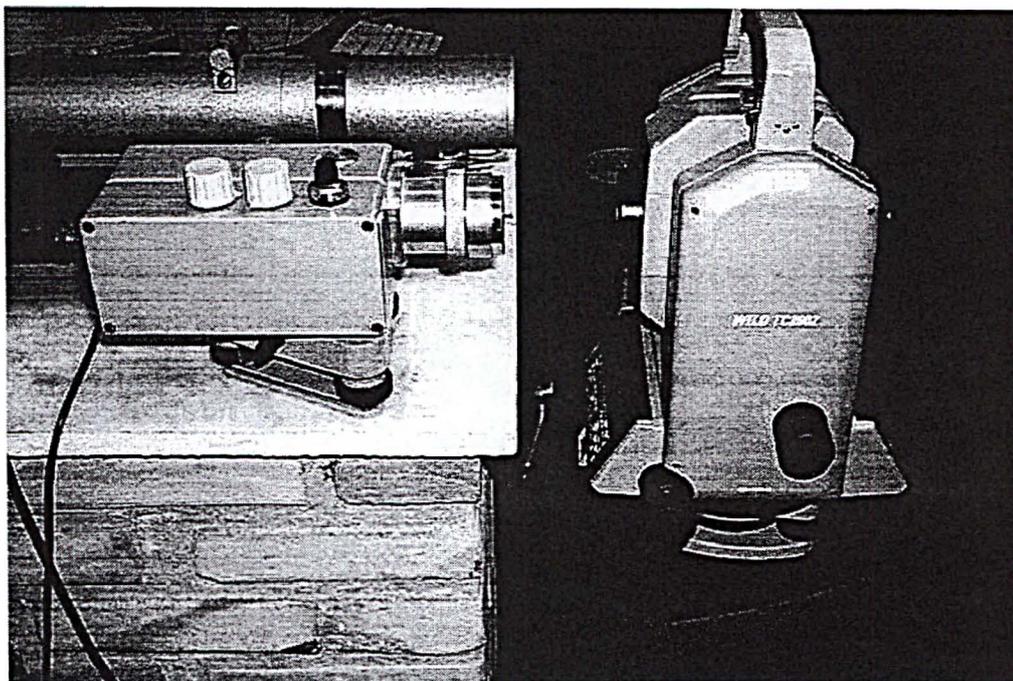
A calibração em laboratório deve seguir uma metodologia bastante rigorosa, em ambiente com controle rigoroso das condições ambientais, além de equipamentos específicos, tais como (RÜEGGER, 1996; FAGGION, 2000):

- Osciloscópio;
- Frequencímetro e
- Fotodetector

O laboratório onde são feitas as observações deve ser mantido numa temperatura específica durante todo o processo de calibração, a normatização recomenda 20 °C. O MED deve estar ligado durante cerca de 60 minutos, em um tipo de medida específico (ex: *tracking mode*) e em operação contínua (RÜGUER, 1996; FAGGION, 1999).

O MED deve estar apontado para o fotodetector, de forma a detectar o sinal da onda portadora e envie-a ao osciloscópio. Este mostrará o comportamento da onda e na seqüência enviará ao freqüencímetro, para que seja feita a leitura exata da freqüência do equipamento em teste (figura 5.2).

FIGURA 5.2 – FOTODETECTOR CAPTANDO O SINAL DE MEDIÇÃO DA TC2002



Tendo o valor real da freqüência (valor medido), faz-se uma relação com o valor nominal desta (valor fornecido pelo fabricante). Pela equação 5.15 é possível determinar a correção da variação da freqüência em ppm. O resultado da calibração da TC2002, utilizando esta técnica consta do apêndice 3.

Alguns equipamentos dispõem de uma medida automática de freqüência, como é o caso da Estação Total Wild TC2002, disponível no LAIG.

$$C = \frac{(f_n - f_m)}{f_m} \quad (5.15)$$

$$d_c = d_m + \left[\frac{(f_n - f_m)}{f_m} \right] d_m \quad (5.16)$$

Onde:

d_c : Distância corrigida do erro de escala;

f_n : Freqüência nominal;

f_m : Freqüência medida;

d_m : Distância medida;

C : Correção dada em ppm.

5.3.2 Determinação das Componentes do Erro Cíclico

A determinação das componentes do erro cíclico em laboratório baseia-se em um modelo matemático que relaciona os deslocamentos medidos com o instrumento que se deseja calibrar e estes mesmos deslocamentos medidos por um equipamento de precisão, em nosso caso o interferômetro Laser.

O comprimento de onda de um grande número de equipamentos mais recentes é 6m, isso significa que a dimensão da estrutura onde será realizado a medida dos deslocamentos dados pelo interferômetro e medidos com o MED, deve ser de 3m, ou seja, meio comprimento de onda.

Os deslocamentos medidos com o interferômetro e já aplicados às correções devidas ao não horizontalismo dos trilhos constam do (quadro 5.2).

QUADRO 5.2 – DESLOCAMENTOS DO INTERFERÔMETRO CORRIGIDOS

Deslocamento dado com o interferômetro (mm)	Correção (mm)	Deslocamentos corrigidos (mm)
0	0,000	0,000
150,000	-0,001	149,999
150,000	0,001	150,001
150,000	0,005	150,005
150,000	0,005	150,005
150,000	-0,001	149,999
150,000	0,005	150,005
150,000	0,002	150,002
150,000	-0,020	149,980

Deslocamento dado com o interferômetro (mm)	Correção (mm)	Deslocamentos corrigidos (mm)
150,000	-0,32	149,968
150,000	-0,015	149,985
150,000	-0,008	149,992
150,000	-0,004	149,996
150,000	0,015	150,015
150,000	0,034	150,034
150,000	0,035	150,035
150,000	0,032	150,032
150,000	0,024	150,024
150,000	0,027	150,027
150,000	0,028	150,028
150,000	0,023	150,023

O modelo matemático aplicado para determinar estas componentes é citado por EMENIKE, (1982a); EMENIKE, (1982b); CORDINI, (1990); GRIPP, (1986); PACILEO NETTO, (1990) e RÜEGGER, (1996):

$$D_i = D_o + d_i + E_i \quad (i = 1,2,3,4,\dots,n), \quad (5.17)$$

Onde:

d_i = deslocamento do refletor medido com o interferômetro;

D_i = Distâncias obtidas com o MED (instrumento a ser calibrado);

n = número de posições ao longo de meio comprimento de onda do equipamento que está sendo calibrado. Nos equipamentos pesquisados $\lambda = 6m$;

D_o = distância medida com o MED, na origem do sistema. Neste ponto não existe deslocamento registrado pelo interferômetro;

E_i = Erro cíclico correspondente a distância d_i .

Por sua vez o erro cíclico é dado por

$$E_{c_{ij}} = V_i = A \operatorname{sen} \left[\frac{2\pi}{\lambda'(d_i + B)} \right] \quad (5.18)$$

Substituindo a equação 5.18 na equação 5.17, chega-se expressão final para o cálculo dos elementos do erro cíclico:

$$D_i = D_0 + d_i + A \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi d_{ij}}{\lambda'}\right) + \left(\frac{4\pi l_0}{\lambda'}\right) \quad (5.19)$$

$$\theta = \left(\frac{2\pi}{\lambda'}\right)B \quad (5.20)$$

$$\theta_0 = \left(\frac{2\pi}{\lambda'}\right)d_i \quad (5.21)$$

onde:

θ = Ângulo de fase;

θ_0 = Ângulo de fase inicial;

A = Amplitude do erro cíclico;

λ = Comprimento de onda;

Aplicando transformações ao modelo acima apresentado chega-se á equação 5.12.

$$E_i = P_i X + Q_i Y. \quad (5.22)$$

Considerando estas transformações a equação de origem toma agora a seguinte configuração:

$$D_i = D_0 + d_i + P_i X + Q_i Y. \quad (5.23)$$

Os valores de X e Y são os parâmetros que serão determinados por ajustamento. Nesta pesquisa será aplicado o método paramétrico, amplamente discutido na seção 3.

Os valores de X e Y serão aplicados nas equações 5.13 e 5.14. Obtém-se as componentes do erro cíclico, da mesma forma como foi abordado para observações de campo.

A solução do sistema de equações neste caso também foi da mesma forma descrita quando da determinação destas componentes com observação de campo.

5.4 CALIBRAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO TOTAL APLICANDO A METODOLOGIA PROPOSTA

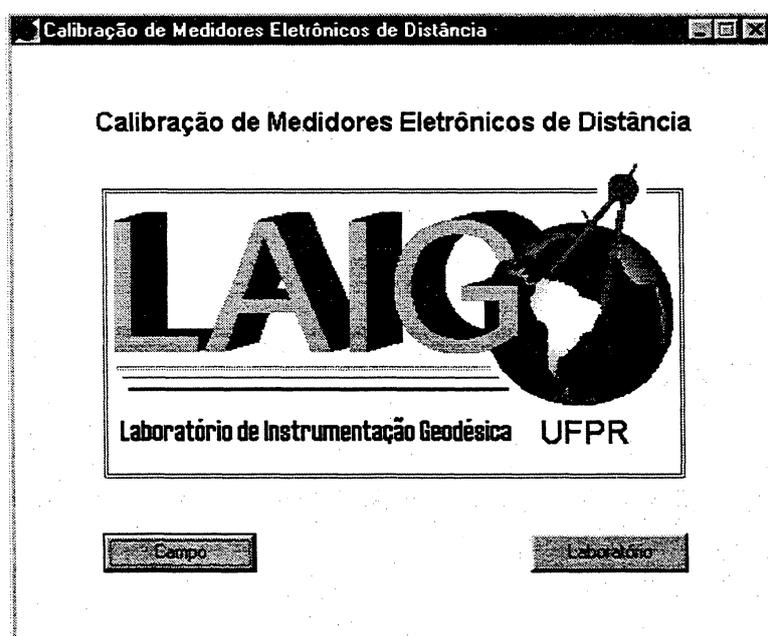
5.4.1 Com Observações de Campo

Os experimentos de campo foram realizados com uma estação total TCR703 LEICA com precisão nominal de $2\text{mm} + 2\text{ppm}$ (LEICA TCR307, 2000).

As reduções das condições atmosféricas e ao horizonte, obedeceram aos mesmos critérios utilizados na determinação da escala da base.

As medições realizadas geram um conjunto de dados que serão processados através do programa CALIBRAÇÃO.EXE. O resultado serão os elementos de calibração dos MEDs, com observações de campo. Ao rodar o programa a tela apresentada será a seguinte (figura 5.3):

FIGURA 5.3 – TELA DO PROGRAMA DE CALIBRAÇÃO DE MED



Pressionando a tecla campo o programa executará a sub-rotina para o cálculo dos elementos de calibração com observações de campo, conforme foi descrito na seção 5.2. A próxima tela apresentada será a seguinte:

FIGURA 5.4 – ENTRADA DE DADOS E CALCULO – CAMPO -

Calibração de MED com Observações de Campo

Arquivo

Vetor das Distâncias Medidas

1-2	70,868
1-3	222,788
1-4	385,843
1-5	648,247
1-6	759,677
1-7	789,916
2-3	151,920
2-4	314,974
2-5	577,379
2-6	688,806
2-7	719,046
3-4	163,054
3-5	425,459
3-6	536,888
3-7	567,127
4-5	262,403
4-6	373,831
4-7	404,072
5-6	111,428
5-7	141,668
6-7	30,240

Especificações do Instrumento

Fabricante: Leica

Modelo: TCR307

Número de Série: 682715

Elementos de Calibração dos MED

Fator de Escala: 3,872 ppm σ : 0,737 ppm

Const. Aditiva: 0,336 mm σ : 0,288 mm

Amplitude: 0,177 mm σ : 0,242 mm

Ângulo de Fase: -1,253 rd σ : 0,246 rd

Dados de Campo Reduções Calcular

A entrada dos dados pode ser através de arquivo ou digitando-os na janela **valores das distâncias medidas** da (figura 5.4). Na seqüência basta pressionar o botão **calcular** para obter os elementos de calibração, que serão apresentado na janela **Elementos de calibração dos MEDs**.

Os mesmos elementos de calibração foram determinados de forma conjunta no mesmo processo de ajustamento, considerando a seguinte equação:

$$D_{p_{ij}} - d_{ij} = V_{ij} + m \cdot d_{ij} + Z_0 + E_i \quad (5.24)$$

Os valores encontrados foram os seguintes:

Constante aditiva = 0,336 mm	$\sigma = 0,288$ mm;
Fator de escala = 3,872 ppm	$\sigma = 0,737$ ppm;
Amplitude = 0,177 mm	$\sigma = 0,242$ mm;
Ângulo de fase = -1,253 rd	$\sigma = 0,466$ rd.

Como se pode observar os fatores de calibração encontrados são iguais dos obtidos utilizando o processo descrito na seção 5.2.

5.4.2 Com Observações de Laboratório

5.4.2.1 Fator de escala

Após todos os procedimentos necessários, anteriormente descritos e uma estabilização da temperatura do laboratório em 21 C°, o resultado da frequência medida para a Estação Total LEICA TCR 307 foi de 49,99987 MHz.

Aplicando o valor nominal de 50 MHz e o valor medido de 49,99954 MHz, na equação 5.15 do item anterior, chega-se ao seguinte valor para a correção:

$$C = (50 - 49,99987) / 49,99987$$

Logo:

$$C = 2,6 \times 10^{-6} \Rightarrow C = 2,60 \text{ ppm}$$

Agora utilizando a equação 5.16, para uma determinada distância por exemplo 1 km:

$$d_{\text{corr}} = 1000000 + [(50 - 49,99987) / 49,99987] \cdot 1000000$$

ou

$$d_{\text{corr}} = 10000026 \text{ mm} = 1000,0026 \text{ m}$$

O certificado de calibração do freqüencímetro indica que para um valor padrão de 10,000 000 000 MHz tem-se um valor indicado pelo freqüencímetro de 10,000 001 1 MHz e para um valor padrão de 100 000 000. um valor indicado de 100 000 011. Ou seja, um erro relativo de $1,1 \times 10^{-7}$ nos dois casos. Logo pode se aceitar que no intervalo de 10 MHz a 100MHz o freqüencímetro mantém a mesma incerteza relativa de $1,1 \times 10^{-7}$, ou 0,11ppm.

5.4.2.2 Elementos do erro cíclico

Após ter instalado e alinhados os espelhos, o sinal emitido pelo MED alcança o refletor colocado sobre a estrutura que o desloca sobre os trilhos, conforme foi descrito no capítulo 4.

O processamento dos dados obtidos nesta fase também é realizado com o programa CALIBRAÇÃO.EXE. Na tela apresentada na figura 5.3, pressiona-se a tecla laboratório e o programa executará a sub-rotina para o cálculo dos elementos do erro cíclico com observações de laboratório. A tela apresentada será a seguinte (figura 5.5):

FIGURA 5.5 - ENTRADA DE DADOS E CALCULO – LABORATÓRIO -

Vetor das Distâncias Medidas	
141,688	
141,539	
141,388	
141,238	
141,088	
140,939	
140,788	
140,639	
140,489	
140,339	
140,189	
140,039	
139,889	
139,738	
139,588	
139,438	
139,288	
139,138	
138,988	
138,838	
138,688	

Especificações do Instrumento

Fabricante:

Modelo:

Número de Série:

Elementos do Erro Cíclico

Amplitude: mm σ: mm

Angulo de Fase: rd σ: rd

Neste caso também a entrada de dados pode ser por arquivo ou através da janela **vetor das distâncias medidas**.

A seguir basta pressionar o botão calcular e serão calculados os elementos do erro cíclico com observações de laboratório e serão apresentados na janela **Elementos do erro cíclico**.

O resultado encontrado demonstra uma semelhança bastante grande com os valores encontrados no campo. Cabe ressaltar que o equipamento testado é a estação total, TCR307 nova, gentilmente cedida pela empresa MANFRA & CIA.

A proposta é apresentar os resultados do processo de calibração, segundo o modelo que apresenta o certificado de calibração da TC2002, no apêndice 3, página 123.

A seguir apresenta-se um quadro comparativo dos resultados da calibração do equipamento com observações de campo e laboratório (quadro 5.3).

QUADRO 5.3 – RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO DE CAMPO E LABORATÓRIO

	Erro de Zero (mm)		Fator de Escala (ppm)		Elementos do erro cíclico			
					Amplitude(mm)		Ângulo de fase (rd)	
Campo	EZ = 0,336	$\sigma = 0,288$	FE = 3,872	$\sigma = 0,737$	0,177	$\sigma = 0,242$	-1,253	$\sigma = 0,246$
Laboratório	---	---	FE = 2,60	$\sigma = 0,11$	0,986	$\sigma = 1,802$	-0,024	$\sigma = 0,076$

Os resultados encontrados para os valores de calibração em campo e laboratório apresentam uma variação importante. Se for considerado o fator de escala, componente que varia com a distância, nos dois casos encontra-se acima da precisão nominal do instrumento utilizado. Já se for considerado a componente de calibração constante, nos dois casos está dentro da precisão nominal indicada pelo fabricante.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÃO

O sistema de centragem forçada, desenvolvido para garantir a repetibilidade da ocupação do ponto, bem como a estrutura utilizada para a construção dos pilares, condições fundamentais no processo de calibração, mostraram-se eficientes, tendo em vista que as distâncias entre os pilares obtidas em épocas diferentes apresentam variações dentro da precisão nominal do instrumento utilizado como padrão.

A influência da precisão nominal do instrumento na determinação de coordenadas é pequena, conforme mostra a matriz variância-covariância calculada utilizando-se o conceito de propagação da covariância apresentado no capítulo 3.

O processo de ajustamento de redes Topográficas ou Geodésicas utilizando variação de coordenadas mostrou-se bastante eficiente tendo em vista o resultado obtido. O cálculo dos semi-eixos da elipse dos erros utilizando o conceito de componentes principais, apresentou uma extrema confiabilidade no resultado ajustamento, tendo em vista suas dimensões estão abaixo do centésimo do milímetro.

O valor final determinado para a escala da base, obtida no processo de ajustamento, e os valores encontrados para o desvio padrão, calculados a partir da matriz variância-covariância, permite assegurar que a precisão da escala é submilimétrica, tendo em vista que a média dos desvios estão numericamente abaixo do milímetro.

A qualidade dos suportes dos espelhos desenvolvidos para este trabalho, bem como os espelhos utilizados, facilitaram a orientação dos mesmos. Isto ocorreu pela possibilidade de visualizar, pela luneta do teodolito o refletor do MED, posicionado sobre a estrutura que o desloca nos trilhos, refletida pelos dos cinco espelhos utilizados.

O sistema desenvolvido para a determinação da frequência dos MEDs em laboratório mostrou-se bastante eficiente, sustentado pela precisão do freqüencímetro (conforme certificado de calibração é de 0,11ppm).

Os elementos de calibração obtidos, para o equipamento em teste, considerando a existência de correlação entre a constante aditiva e a amplitude do erro cíclico foram os mesmos que os obtidos desconsiderando esta correlação, ou seja, determinando todos os elementos no mesmo processo de ajustamento.

O equipamento calibrado (TCR307) tem pouco uso. Em função disso, o erro cíclico determinado é pequeno. Este fato pode ser percebido tendo em vista que o desvio padrão do erro é maior do que a correção que deve ser aplicada nas medições executadas com o equipamento. Neste caso este erro deve ser desconsiderado.

Os resultados da calibração obtidos com observações de campo e laboratório estão bastante próximos. Isto indica que os dois procedimentos adotados são coerentes. Na certificação devem ser entendidos como complementares, com verificações independentes ou alternativas. Um usuário de equipamento, pode coletar os dados segundo uma metodologia, para posterior processamento pelo LAIG.

No estudo da estabilidade dos pilares, concluiu-se que os mesmos não variaram dentro de um nível de confiança de 95%.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Aplicar o conceito de propagação de covariância antes de realizar qualquer trabalho de Topografia e Geodésia, para definir a precisão nominal do equipamento que deve ser utilizado. Este procedimento evitará a utilização inadequada de equipamentos na coleta de dados.

Apesar de a literatura e os fabricantes afirmarem que ocorre uma minimização significativa nos erros sistemáticos nos teodolitos digitais que utilizam limbos incrementais, recomenda-se a repetição na medida das direções para minimizar os erros de observação.

Recomenda-se um controle periódico da escala para detectar variações nas distâncias causadas por eventuais deslocamentos dos pilares.

Recomenda-se calibrar periodicamente os MED, tendo em vista que as alterações na freqüência do instrumento, causadas pelo envelhecimento e uso

proporcionam erros no fator de escala e nas componentes do erro cíclico dos equipamentos.

Recomenda-se a realização de novos testes para verificar a existência ou não de correlação entre a constante aditiva e a amplitude do erro cíclico.

Recomenda-se a calibração de equipamentos mais antigos para verificar o comportamento das componentes do erro cíclico e com isso concluir sobre a necessidade ou não de sua determinação.

Recomenda-se que seja exigida a certificação de qualquer MED utilizado em Topografia e Geodésia periodicamente, seguindo as instruções da NBR13133.

REFERÊNCIAS

BRANDÃO A. C. , (1996). **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, 131p.

CINTRA, J. P. (1993). **Automação topográfica do campo ao projeto.**, USP, São Paulo, 120pp,

CORDINI, J., (1991). **Determinação do erro cíclico em distanciômetros eletrônicos**. Dissertação de mestrado ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR. 138p.

DE FREITAS, S. R. C.; MEDEIROS, Z. F. ; FAGGION, P. L.; JOHANSSON,A.; GONCHO,G. & MIRANDA,J.M.P., (1996). **Otimização dos levantamentos altimétricos de precisão**. In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil, Florianópolis, 21-23 abril, Anais, v3, pp.: 479-488.

DIN. (1982) **DIN 2257**: Teil 1: Begriffe der Längenprüftechnik, Einheiten Tätigkeiten Prüfmittel. Berlin.

DOUBEK, A. (1974). **Levantamentos Eletrônicos**, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, 205p.

DOUBEK, A. (1974). **Uma Base de Aferição**, Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba, 72p.

EMENIKE, E. N. (1982a). **On the Calibration of EDM instruments**. Australion Surveyor, Sydney, V. 31 n. 03, Pag. 175 –185.

EMENIKE, E. N, (1982B). **A Simplified approach to Accurate EDM Instruments Calibration**. Survey Review, London, V. 26, n. 204, Pag. 173 –178.

FAGGION, P. L. (1993). **Contribuição para a implantação de um sistema de aferição de miras de invar na UFPR**, Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba.

FAGGION, P. L.; DE FREITAS, S. R. C., (1996). **Laboratório de Instrumentação Geodésica da Universidade Federal do Paraná**. In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil, Florianópolis, 21-23 abril, Anais, v3, pp.: 494-503.

FAGGION, P. L. (1999). **Determinação do Fator de Escala em Estações Totais e MED utilizando observações de campo e laboratório**, Seminário Apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, 45f, Curitiba. UFPR.

FAGGION, P. L. (2000). **Determinação do Fator de Escala em Estações Totais e MED utilizando observações de campo e laboratório**, Revista Brasileira de Cartografia, Número 52, pp 20 - 28

FRERKING, M. E. (1978). **Crystal oscillator design and temperature compensation**. Van Nostrand-Reinhold, New York.

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

GRIPP, J. Jr. (1986). **Calibração de Distanciômetros Eletrônicos com medidas de campo**: Curitiba, Curso de Pós-Graduação em Ciências Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR.

HOWARD, W. S. (1999) **Laser Design Toolkit**, Indianapolis, Prompt Publications, 223p

INMETRO (1989) **Vocabulário de metrologia legal e Vocabulário de termos fundamentais e gerais em metrologia**. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Rio de Janeiro, 37p.

ISBN, (1993). **International Vocabulary of Basic and General terms in Metrology**, Second edition.

JOHNSON, A. R. & WICHERN, D. W., (1998), **Applied Multivariate Statistical Analysis**, 4ª edição, Ed. Prentice-Hall, 816pp, Upper Saddle River, USA.

KAHMEN, H. FAÍG, W. (1988). **Surveyng** –New York: editora: de Gruyter, 578pp.

KENNIE T.J.M (1990). **Eletronic angle ande distance measurement**, in Kennie e Petrie (Ed.) **Engineering Surveying Technology** Blackie & Jonhn Wiley & Sons, London-New York,

LEICK, A. (1994). **GPS Satellite Surveying**, 2nd ed., NEW YORK: JHON WILLEY.

LAICA TCR 307, (2000). **Manual de uso**, Heerbrugg, Suiza, 121p

MEDEIROS, Z. F. (1999). **Considerações sobre a metodologia de levantamentos altimétricos de alta precisão e propostas para sua implementação**, Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésica da UFPR, 141p, Curitiba.

MEDINA, A. S. (1998). **Classificação de Teodolitos e Estações Totais**, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésica, UFPR, 108pp,

MILLMAM, J. & HALKIAS, C. (1981). **Eletrônica**, 2nd. São Paulo Ed., Editora McGRAW-HILL, 411p.

MORAES, C. V., (1997), **Ajustamento de Poligonais pelo Método de Variação de Coordenadas**. Cartografia e Cadastro, Lisboa, P. 79 - 88.

MORAES, C.V. (2001). **Aprimoramento da concepção do modelo Geodésico para a caracterização de extremas no espaço geométrico**, Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, 277pp,

MÖSER, M., POTTHOFF, H., SHULZ, H. U., HOFFMEISTER, H. , WANNINGER, L. INGESAND, H. (2000), **Handbuch Ingenieurgeodäsie- Grudlagen**, 3. Anf. Heidelberg: Herbert Wichmann.

NBR13133 (1994). Execução de Levantamentos Topográficos, Rio de Janeiro, RJ, 35pp.

NIEMEIER, W , (1981). Statistical tests for deteting movements in repeatedly measured geodetic networks. **Tecnotophysics**, Amsterdam, V71, p. 335-351.

NIEMEIER, W , (1985). **Anlage von Überwachungsnetze**. In: PELZER, H. (Hrsg.). **Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II**. Stuttgart: K. Wittwer, Universität Hannover v.13.

NIEMEIER, W. & HOLLMANN, R, (1984). **Hauptkomponenten-and Sensitiveitätsanalyse Geodätischer Netze aufgezeigt am Überwachungsnetz "Varna"**. In: Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, n 133.

ON, (2001): Disponível em < <http://www.on.br / 2001> > Acesso em: 16 de agosto de 2001.

PACILÉO NETTO, N. (1990). **Calibração de medidores eletrônicos de distância, construção de uma base multipilar na USP e metodologia de aferição**. Tese de doutorado, E.POLI/USP, 186p.

RÜEGER, J.M. (1977). **Design and use of base lines for the calibration of EDM-Instruments**, Australian Survey Congress, Darwin. Australian.

RÜEGER, J.M. (1978). **Computation of cyclic error of EDM instruments using pochet calculators**. Australian Surveyor, 23(4), p: 268-275.

RÜEGER, J.M. (1982). **Quartz crystal oscilator and their effects on the scale stability and standardization of eletronic distance meters**. Unisurv Report S-22, Scholl of Surveying, University of New South Wales, Sidnei, Australia.

RÜEGER, J. M. (1996). **Electronic Distance Measurement**. 3th ed., Springer-Verlag, Berlin. 266p..

SALER, H. (1995). **Erweiterte Modellbibung zur Netzausgleichung für die deformationsanalyse dargestellt am Beispiel der Geotraverse Venezolanische Anden**. Deutscher Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München Série C.

SISMETRA, 2001. Disponíveis em <http://www.sismetra.cta.br/> Acesso em: 17 de agosto 2001

STAIGER, R., 1998. Zur Überprüfung moderner Vermessungs-instrumente. **Allgemeine Vermessung-Nachrichten**, 105 n11-12; p365-372.

VALBUENA, J. L.D., ([199_]). **Topografia Eletrônica**, Instituto de Astronomia e Geodésia, 67pp.

VICTORIA (1998). **EDM Calibration Handbook**, Department of Natural Resources and Environment, Ed. 6, Australia.

WILD TC2002 (1994). **User manual**. Heerbrugg, Suiza,

APÊNDICES

APENDICE 1 – CADERNETAS DE CAMPO	104
APENDICE 2 – PROJETOS	115
APENDICE 3 - CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	123
CURRICULUM VITAE RESUMIDO DO AUTOR	130

COLETA DE DADOS (ÂNGULOS HORIZONTAIS - BASE FAZENADA CANGUIRI)

DATA: 17/05/2000 EQUIPAMENTO: TC 2002

ALVOS

Referência	Pilar 1			Pilar 2			Pilar 3			Pilar 4			Excêntrico 2		
	grau	min.	seg.	grau	min.	seg.									
Excêntrico 1	179	59	23,2	188	29	25,1	234	58	59,3	295	39	8,5	296	51	59,4
Série 1	359	59	30,7	8	29	33,7	54	59	4,3	115	39	19	116	52	5,6
Série 2	180	0	0	188	30	2,6	234	59	33	295	39	49,7	296	52	34,8
Série 3	359	59	56	8	29	57,6	54	59	29,1	115	39	46,4	116	52	28,2
Série 4	60	0	0	68	29	59,4	114	59	31	175	39	47,5	176	52	31,1
OUTROS	240	0	2,8	248	30	5,3	294	59	34,4	355	39	48,6	356	52	33,7
	300	0	0	308	30	1,2	354	59	33,4	55	39	49	56	52	32,6
	119	59	54,3	128	29	56,7	174	59	29,3	235	39	48,3	236	52	25,6
OUTROS	A.V.= 91° 30' 57,3"			A.V.= 92° 13' 29,3"			A.V.= 94° 53' 37,3"			A.V.= 92° 55' 27,9"			A.V.= 88° 43' 15,9"		
	U= 98% P= 926 Tu = 14,8			U= 93% P= 925,5 tu = 14,3			U= 93% P= 926 tu = 14,3			U= 95% P= 925,7 tu = 14,7			U= 91% P= 926,2 tu = 14,8		
	D.I.= 268,370 t=Ts = 15,0			D.I.= 206,751 t=ts = 15,0			D.I.= 117,632 t=ts = 15,0			D.I.= 184,711 t=ts = 15,2			D.I.= 870,815 t=ts = 15,7		
DISTÂNCIA	P1-P2 = 70,868			P2-P3 = 151,919			P3-P4 = 163,055			P4-P5 = 262,404			(dist. entre os pilares já horizont e corr)		

ALVOS

Referência	Pilar 7			Pilar 6			Pilar 5			Excêntrico 1			OBSERVAÇÕES		
	grau	min.	seg.	grau	min.	seg.	grau	min.	seg.	grau	min.	seg.			
Excêntrico 2	0	0	0	3	38	57,7	15	27	17,2	33	32	20,9			
Série 1	180	0	6,3	183	38	56,9	195	27	18,5	213	32	28,5			
Série 2	240	0	0	243	38	50,7	255	27	12,2	273	32	20,2			
Série 3	59	59	53,8	63	38	45,3	75	27	8,4	93	32	17,4			
Série 4	120	0	0	123	38	51,6	135	27	12,4	153	32	21,8			
OUTROS	299	59	54,8	303	38	46,4	315	27	6,2	333	32	17,5			
	0	0	0	3	38	51,6	15	27	12,7	33	32	24,5			
	180	0	4,5	183	38	57,1	195	27	16,8	213	32	27,2			
OUTROS	A.V.= 93° 26' 18,9"			A.V.= 93° 26' 06,7"			A.V.= 93° 14' 03,9"			A.V.= 91° 16' 59,2"					
	U= 82% P= 924,8 Tu = 13,4			U= 85% P= 925,1 tu = 12,9			U= 83% P= 925 tu = 12,9			U= 86% P= 924 tu = 13,3					
	D.I.= 439,928 t=Ts = 15,2			D.I.= 450,630 t=ts = 14,4			D.I.= 503,928 t=ts = 14,6			D.I.= 870,815 t=ts = 14,7					
DISTÂNCIA	P6-P7 = 30,241			P5-P6 = 111,429			P5-P6 = 111,429			P5-P6 = 111,429					
A.V.=ângulo vertical(grau,min.;seg.:	U=umidade(%)			P=pressão atmosférica(mmHg)			D.I.=distância inclinada(m)			ts=temperatura seca(°C)			tu=temperatura úmida(°C)		

QUADRO AP.01
DADOS COLETADOS PARA O CÁLCULO DAS COORDENADAS DOS PILARES

DATA: 17/05/2000

EQUIPAMENTO: TC 2002

Informações Angulares:

Ângulos Internos	°	'	"	DP +/- (")	Azimuthes	°	'	"	DP +/- (")
P1 - P2	8	30	1,83	0,64	EX1EX2	0	0	0	0
P2 - P3	46	29	31,53	1,04	EX2P4	178	47	16,1	0,64
P3 - P4	60	40	16,55	1,05	EX2-P3	118	6	59,55	1,05
P4 - E2	1	12	43,9	0,64	EX2P2	71	37	28,02	1,04
P7 - P6	3	38	51,6	0,5	EX2P1	63	7	26,19	0,64
P6 - P5	11	48	20,42	0,13	EX1P5	341	54	49,27	0,53
P5 - E1	18	5	10,73	0,53	EX1P6	330	6	28,87	0,13
					EX1P7	326	27	37,27	0,5

Informações Lineares

Distância Horizontalizada e Corrigida dos Efeitos Ambientais (m)

P1-P2	70,868
P1-P3	222,787
P1-P4	385,842
P1-P5	648,246
P1-P6	759,675
P1-P7	789,916
P2-P3	151,919
P2-P4	314,974
P2-P5	577,378
P2-P6	688,807
P2-P7	719,048
P3-P4	163,055
P3-P5	425,459
P3-P6	536,888
P3-P7	567,129
P4-P5	262,404
P4-P6	373,833
P4-P7	404,074
P5-P6	111,429
P5-P7	141,67
P6-P7	30,241

EX2-P1	268,2834
EX2-P2	206,6008
EX2-P3	117,2064
EX2-P4	184,4756
EX2-AX1	870,6224
EX1-P5	503,1389
EX1-P6	449,8324
EX1-P7	439,1481
EX1-AX2	870,6206

QUADRO AP. 02
DADOS COLETADOS PARA O CÁLCULO DAS COORDENADAS DOS PILARES

DATA: 27/09/00

EQUIPAMENTO: TC 2002

Informações Angulares:

Ângulos Internos	°	'	"	DP +/- (")	Azimuthes	°	'	"	DP +/- (")
P1 - P2	8	30	2,85	0,58	EX1EX2	0	0	0	0
P2 - P3	46	29	24,77	0,48	EX2P4	178	47	15,21	0,78
P3 - P4	60	40	19,56	0,46	EX2-P3	118	6	55,64	0,46
P4 - E2	1	12	50	0,78	EX2P2	71	37	30,87	0,48
P7 - P6	3	38	50,38	0,61	EX2P1	63	7	28,02	0,58
P6 - P5	11	48	19,67	0,88	EX1P5	341	54	50,44	1,1
P5 - E1	18	5	9,56	1,1	EX1P6	330	6	30,77	0,88
					EX1P7	326	27	40,38	0,61

Informações Lineares

Distância Horizontalizada e Corrigida dos Efeitos Ambientais (m)

P1-P2	70,868
P1-P3	222,789
P1-P4	385,844
P1-P5	648,250
P1-P6	759,679
P1-P7	789,920
P2-P3	151,919
P2-P4	314,975
P2-P5	577,380
P2-P6	688,809
P2-P7	719,049
P3-P4	163,054
P3-P5	425,459
P3-P6	536,889
P3-P7	567,129
P4-P5	262,404
P4-P6	373,833
P4-P7	404,074
P5-P6	111,429
P5-P7	141,670
P6-P7	30,241

EX2-P1	268,2727
EX2-P2	206,6038
EX2-P3	117,2079
EX2-P4	184,4779
EX2-AX1	870,6202
EX1-P5	503,141
EX1-P6	449,8343
EX1-P7	439,1511
EX1-AX2	870,6262

QUADRO AP. 03
DADOS COLETADOS PARA O CÁLCULO DAS COORDENADAS DOS PILARES

DATA: 06/11/2000

EQUIPAMENTO: TC 2002

Informações Angulares:

Ângulos Internos	°	'	"	DP +/- (")	Azimutes	°	'	"	DP +/- (")
P1 - P2	8	30	1,9	0,74	EX1EX2	0	0	0	0
P2 - P3	46	29	29,93	1,7	EX2P4	178	47	10,1	0,42
P3 - P4	60	40	18,8	2,79	EX2-P3	118	6	57,03	2,79
P4 - E2	1	12	43,89	0,42	EX2P2	71	37	27,1	1,7
P7 - P6	3	38	50,49	0,18	EX2P1	63	7	25	0,74
P6 - P5	11	48	19,9	1,34	EX1P5	341	54	47	0,57
P5 - E1	18	5	12,99	0,57	EX1P6	330	6	27,1	1,34
					EX1P7	326	27	36	0,18

Informações Lineares

Distância Horizontalizada e Corrigida dos Efeitos Ambientais (m)

P1-P2	70,868
P1-P3	222,787
P1-P4	385,842
P1-P5	648,246
P1-P6	759,675
P1-P7	789,916
P2-P3	151,919
P2-P4	314,974
P2-P5	577,378
P2-P6	688,807
P2-P7	719,048
P3-P4	163,055
P3-P5	425,459
P3-P6	536,888
P3-P7	567,129
P4-P5	262,404
P4-P6	373,833
P4-P7	404,074
P5-P6	111,429
P5-P7	141,67
P6-P7	30,241

EX2-P1	268,2834
EX2-P2	206,6008
EX2-P3	117,2064
EX2-P4	184,4756
EX2-AX1	870,6224
EX1-P5	503,1389
EX1-P6	449,8324
EX1-P7	439,1481
EX1-AX2	870,6206

QUADRO AP. 04**DADOS COLETADOS PARA O CÁLCULO DAS COORDENADAS DOS PILARES**

DATA: 06/11/2000

EQUIPAMENTO: ELTA S10

Informações Angulares:

Ângulos Internos	°	'	"	DP +/- (")	Azimuthes	°	'	"	DP +/- (")
P1 - P2	8	30	2	1,34	EX1EX2	0	0	0	0
P2 - P3	46	29	32,59	1,38	EX2P4	178	47	18,77	1,31
P3 - P4	60	40	18,76	2,01	EX2-P3	118	7	0,84	2,01
P4 - E2	1	12	40	1,31	EX2P2	71	37	27,41	1,38
P7 - P6	3	38	51,12	0,97	EX2P1	63	7	25,41	1,34
P6 - P5	11	48	20,34	1,07	EX1P5	341	54	50,47	1,03
P5 - E1	18	5	9,03	1,03	EX1P6	330	6	30,12	1,07
					EX1P7	326	27	39	0,97

Informações Lineares

Distância Horizontalizada e Corrigida dos Efeitos Ambientais (m)

P1-P2	70,869
P1-P3	222,79
P1-P4	385,845
P1-P5	648,25
P1-P6	759,679
P1-P7	789,919
P2-P3	151,921
P2-P4	314,976
P2-P5	577,381
P2-P6	688,81
P2-P7	719,05
P3-P4	163,055
P3-P5	425,46
P3-P6	536,889
P3-P7	567,129
P4-P5	262,405
P4-P6	373,834
P4-P7	404,074
P5-P6	111,429
P5-P7	141,669
P6-P7	30,24

EX2-P1	268,287
EX2-P2	206,604
EX2-P3	117,208
EX2-P4	184,4798
EX2-AX1	870,6265
EX1-P5	503,1404
EX1-P6	449,836
EX1-P7	439,15
EX1-AX2	870,623

QUADRO AP. 05
DADOS COLETADOS PARA O CÁLCULO DAS COORDENADAS DOS PILARES

DATA: 02/07/2001

EQUIPAMENTO: TC 2002

Informações Angulares:

Ângulos Internos	°	'	"	DP +/- (")	Azimutes	°	'	"	DP +/- (")
P1 - P2	8	30	1	0,98	EX1EX2	0	0	0	0
P2 - P3	46	29	31,39	1,71	EX2P4	178	47	18,1	1,7
P3 - P4	60	40	20,07	0,84	EX2-P3	118	6	57,4	0,84
P4 - E2	1	12	41,9	1,7	EX2P2	71	37	26	1,71
P7 - P6	3	38	51,81	0,7	EX2P1	63	7	25	0,98
P6 - P5	11	48	19,1	1,17	EX1P5	341	54	47	0,73
P5 - E1	18	5	12,99	0,73	EX1P6	330	6	27,9	1,17
					EX1P7	326	27	36,1	0,7

Informações Lineares

Distância Horizontalizada e Corrigida dos Efeitos Ambientais (m)

P1-P2	70,867
P1-P3	222,786
P1-P4	385,84
P1-P5	648,245
P1-P6	759,672
P1-P7	789,912
P2-P3	151,918
P2-P4	314,972
P2-P5	577,375
P2-P6	688,803
P2-P7	719,043
P3-P4	163,054
P3-P5	425,457
P3-P6	536,885
P3-P7	567,126
P4-P5	262,403
P4-P6	373,831
P4-P7	404,072
P5-P6	111,429
P5-P7	141,669
P6-P7	30,241

EX2-P1	268,2796
EX2-P2	206,6008
EX2-P3	117,2032
EX2-P4	184,4672
EX2-AX1	870,6202
EX1-P5	503,1673
EX1-P6	449,8316
EX1-P7	439,1472
EX1-AX2	870,6195

**TABELA PARA COLETA DE DADOS COM A ESTAÇÃO
NA FAZENDA EXPERIMENTAL CANGÜIRI DA UFPR - DATA: 01/1996**

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7
PONTO 1	distância Inclínada	70,876	222,804	385,843	648,231	759,656	789,901
	distância horizontal						
	distância vertical						
	Horário	8:40	8:43	8:46	8:48	8:51	8:52
PONTO 2	distância Inclínada		151,932	314,972	577,367	688,793	719,033
	distância horizontal						
	distância vertical						
	Horário		9:09	9:07	9:05	9:03	9:00
PONTO 3	distância Inclínada			163,052	425,451	536,880	567,123
	distância horizontal						
	distância vertical						
	Horário			9:13	9:16	9:18	9:21
PONTO 4	distância Inclínada				262,402	373,830	404,071
	distância horizontal						
	distância vertical						
	Horário				9:30	9:28	9:25
PONTO 5	distância Inclínada					111,437	141,683
	distância horizontal						
	distância vertical						
	Horário					9:35	9:37
PONTO 6	distância Inclínada						30,248
	distância horizontal						
	distância vertical						
	Horário						9:41

Tabela para a coleta de dados ambientais

Hora	Umidade (%)	Pressão (mmhg)	Temp. (°C)	Hora	Umidade (%)	Pressão (mmhg)	Temp. (°C)
08:40	55	690,6	14,2	09:10	56	690,5	14,0
08:45	56	690,7	14,8	09:15	57	690,6	13,8
08:50	55	690,5	14,2	09:20	57	690,5	13,8
08:55	55	690,5	14,4	09:25	55	690,5	13,6
09:00	56	690,5	14,2	09:30	55	690,5	13,6
09:00	56	690,6	14,0	09:35	56	690,0	13,8
09:05	55	690,5	14,0	09:40	56	690,0	13,8

**TABELA PARA COLETA DE DADOS COM A ESTAÇÃO
NA FAZENDA EXPERIMENTAL CANGÜIRI DA UFPR – DATA: 02/1998**

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7
PONTO 1							
Distância Inclínada		70,876	222,802	385,843	648,232	759,658	789,898
Distância horizontal							
Distância vertical							
Horário		9:21	9:24	9:27	9:31	9:34	9:37
PONTO 2							
Distância Inclínada			151,931	314,971	577,366	688,790	719,034
Distância horizontal							
Distância vertical							
Horário			9:54	9:51	9:48	9:45	9:42
PONTO 3							
Distância Inclínada				163,053	425,453	536,881	567,124
Distância horizontal							
Distância vertical							
Horário				10:00	10:03	10:06	10:09
PONTO 4							
Distância Inclínada					262,403	373,829	404,070
Distância horizontal							
Distância vertical							
Horário					10:20	10:17	10:14
PONTO 5							
Distância Inclínada						111,438	141,681
Distância horizontal							
Distância vertical							
Horário						10:24	10:26
PONTO 6							
Distância Inclínada							30,247
Distância horizontal							
Distância vertical							
Horário							10:30

Tabela para a coleta de dados ambientais

Hora	Umidade (%)	Pressão (mmhg)	Temp. (°C)	Hora	Umidade (%)	Pressão (mmhg)	Temp. (°C)
09:20	69,0	685	24,2	09:55	76,0	685	23,9
09:25	66,0	685	25,0	10:00	74,0	685	23,6
09:30	72,5	685	24,4	10:05	70,0	685	23,7
09:35	70,2	685	24,5	10:10	73,0	685	24,3
09:40	69,0	685	24,8	10:15	68,0	685	23,5
09:45	67,0	685	24,6	10:20	72,0	685	24,1
09:50	70,0	685	24,3	10:25	73,0	685	23,4

ABELA PARA COLETA DE DADOS COM A ESTAÇÃO NA FAZENDA EXPERIMENTAL CANGÜIRI DA UFPR - DATA: 03/1998									
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7		
PONTO 1	distância Inclinada	70,875	222,804	385,843	648,231	759,657	789,899		
	distância horizontal								
	distância vertical								
	Horário	16:55	16:57	17:00	17:02	17:05	17:07		
PONTO 2	distância Inclinada		151,930	314,974	577,368	688,791	719,030		
	distância horizontal								
	distância vertical								
	Horário		17:22	17:19	17:16	17:14	17:12		
PONTO 3	distância Inclinada			163,051	425,452	536,882	567,122		
	distância horizontal								
	distância vertical								
	Horário			17:28	17:31	17:34	17:37		
PONTO 4	distância Inclinada				262,400	373,833	404,073		
	distância horizontal								
	distância vertical								
	Horário								
PONTO 5	distância Inclinada					17,47	17,41		
	distância horizontal								
	distância vertical								
	Horário								
PONTO 6	distância Inclinada								
	distância horizontal								
	distância vertical								
	Horário								

Tabela para a coleta de dados ambientais

Hora	Umidade (%)	Pressão (mmhg)	Temp. (°C)	Hora	Umidade (%)	Pressão (mmhg)	Temp. (°C)
16:55	62	691,9	16,9	17:30	59	692,0	17,3
17:00	56	692,0	17,3	17:35	55	692,0	18,3
17:05	59	692,4	17,1	17:40	52	691,9	17,2
17:10	59	692,4	16,5	17:45	52	691,9	18,3
17:15	52	692,1	17,6	17:50	49	692,0	17,2
17:20	56	692,0	17,0	17:55	50	692,1	18,0
17:25	56	692,0	15,8	18:00	52	692,0	19,4

**TABELA PARA COLETA DE DADOS COM A ESTAÇÃO
NA FAZENDA EXPERIMENTAL CANGUIRÍ DA UFPR - DATA: 04/1999**

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7
PONTO 1	distância Inclinada	70,877	222,806	385,843	648,233	759,656	789,993
	distância horizontal						
	distância vertical						
PONTO 2	Horário	21:30	21:33	21:36	21:39	21:42	21:45
	distância Inclinada		151,929	314,971	577,367	688,792	719,035
	distância horizontal						
	distância vertical						
PONTO 3	Horário		22:02	22:00	21:57	21:54	21:52
	distância Inclinada			163,052	425,450	536,882	567,123
	distância horizontal						
	distância vertical						
PONTO 4	Horário			22:08	22:11	22:14	22:15
	distância Inclinada				262,404	373,832	404,072
	distância horizontal						
	distância vertical						
PONTO 5	Horário				22:27	22:24	22:22
	distância Inclinada					111,440	141,682
	distância horizontal						
	distância vertical						
PONTO 6	Horário					22:35	22:36
	distância Inclinada						30,247
	distância horizontal						
	distância vertical						
	Horário						22:42

Tabela para a coleta de dados ambientais

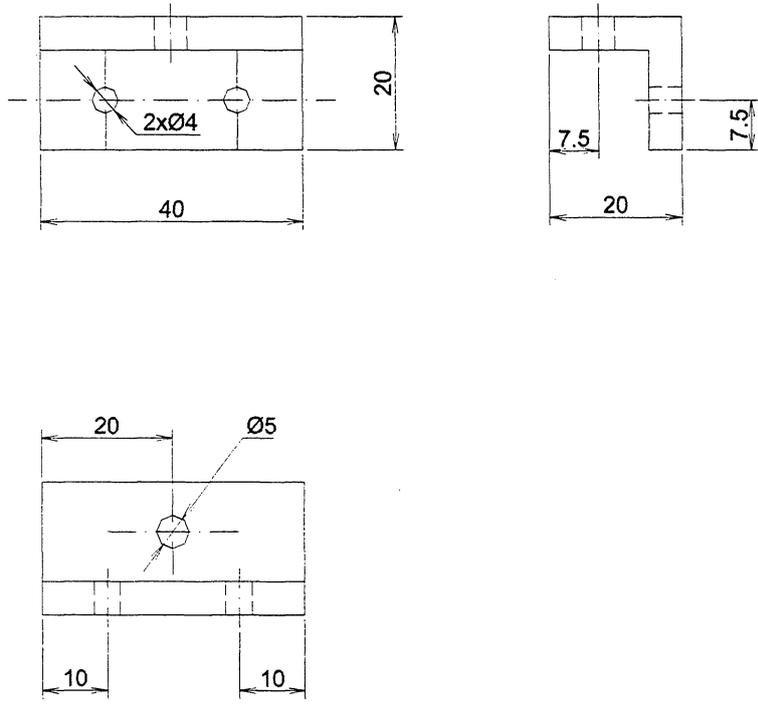
Hora	Umidade (%)	Pressão (mmhg)	Temp. (°C)	Hora	Umidade (%)	Pressão (mmhg)	Temp. (°C)
21:30	96,5	692,7	11,9	22:05	95,8	693,0	11,2
21:35	94,7	692,7	11,5	22:10	97,3	693,0	11,0
21:40	98,1	692,7	10,6	22:15	95,0	693,0	11,5
21:45	97,2	692,9	11,0	22:20	96,7	693,0	11,4
21:50	95,4	692,9	11,2	22:25	95,6	693,0	11,8
21:55	94,9	692,9	10,9	22:30	96,2	693,0	11,7
22:00	95,0	692,9	11,3	22:35	98,6	693,0	11,5

**TABELA PARA COLETA DE DADOS COM A ESTAÇÃO
NA FAZENDA EXPERIMENTAL CANGÜIRI DA UFPR - DATA: 07/2001**

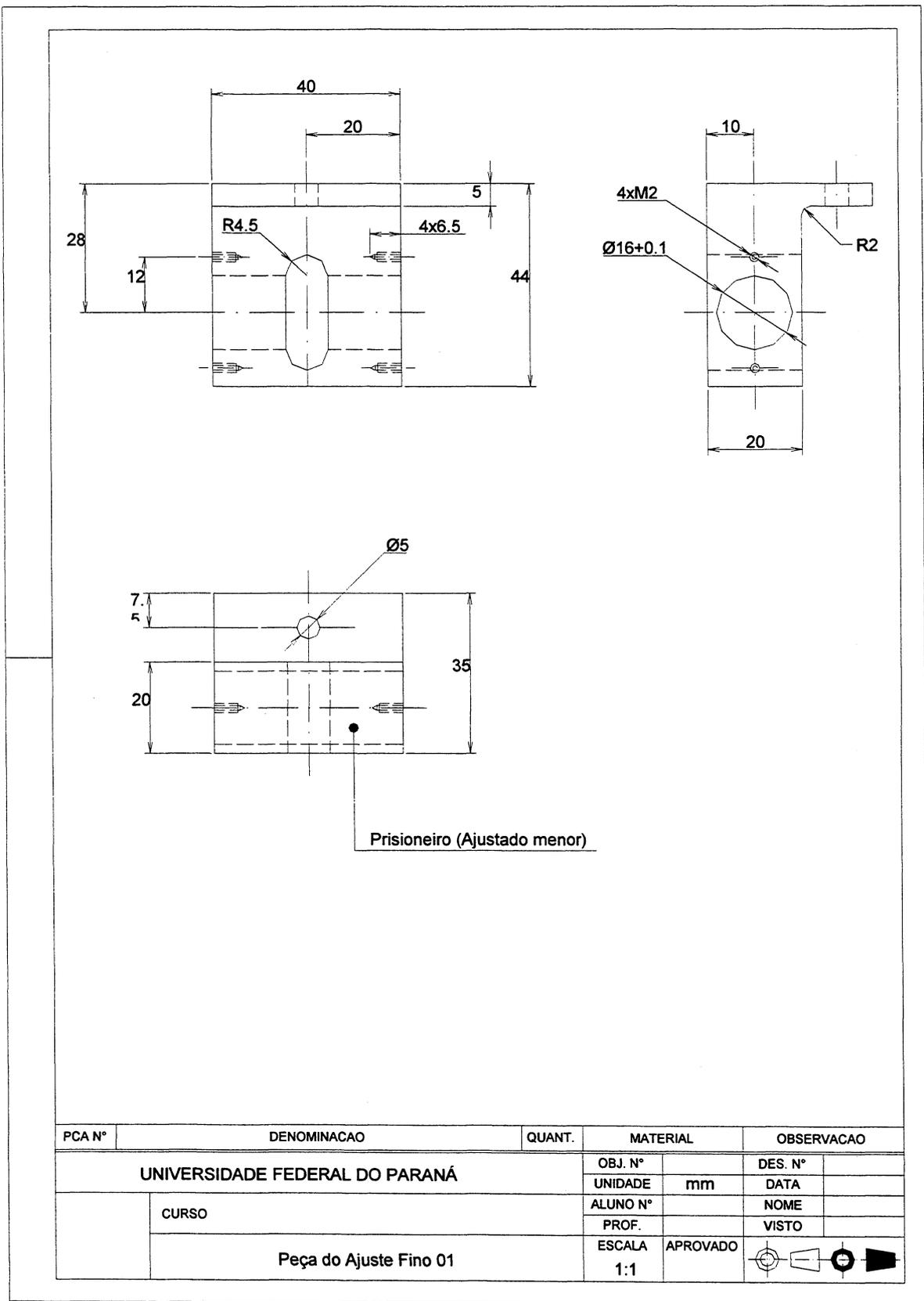
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7
PONTO 1	distância Inclinada	70,876	222,804	385,843	648,231	759,658	789,902
	distância horizontal						
	distância vertical						
	Horário	16:57	16:57	17:00	17:02	17:05	17:07
PONTO 2	distância Inclinada		151,931	314,972	577,366	688,791	719,032
	distância horizontal						
	distância vertical						
	Horário		17:21	17:18	17:15	17:13	17:10
PONTO 3	distância Inclinada			163,053	425,452	536,880	567,125
	distância horizontal						
	distância vertical						
	Horário			17:25	17:28	17:31	17:34
PONTO 4	distância Inclinada				262,401	373,831	404,071
	distância horizontal						
	distância vertical						
	Horário						
PONTO 5	distância Inclinada				17,46	17,43	17,40
	distância horizontal					111,439	141,683
	distância vertical						
	Horário						
PONTO 6	distância Inclinada					17,51	17,53
	distância horizontal						30,248
	distância vertical						
	Horário						17:58

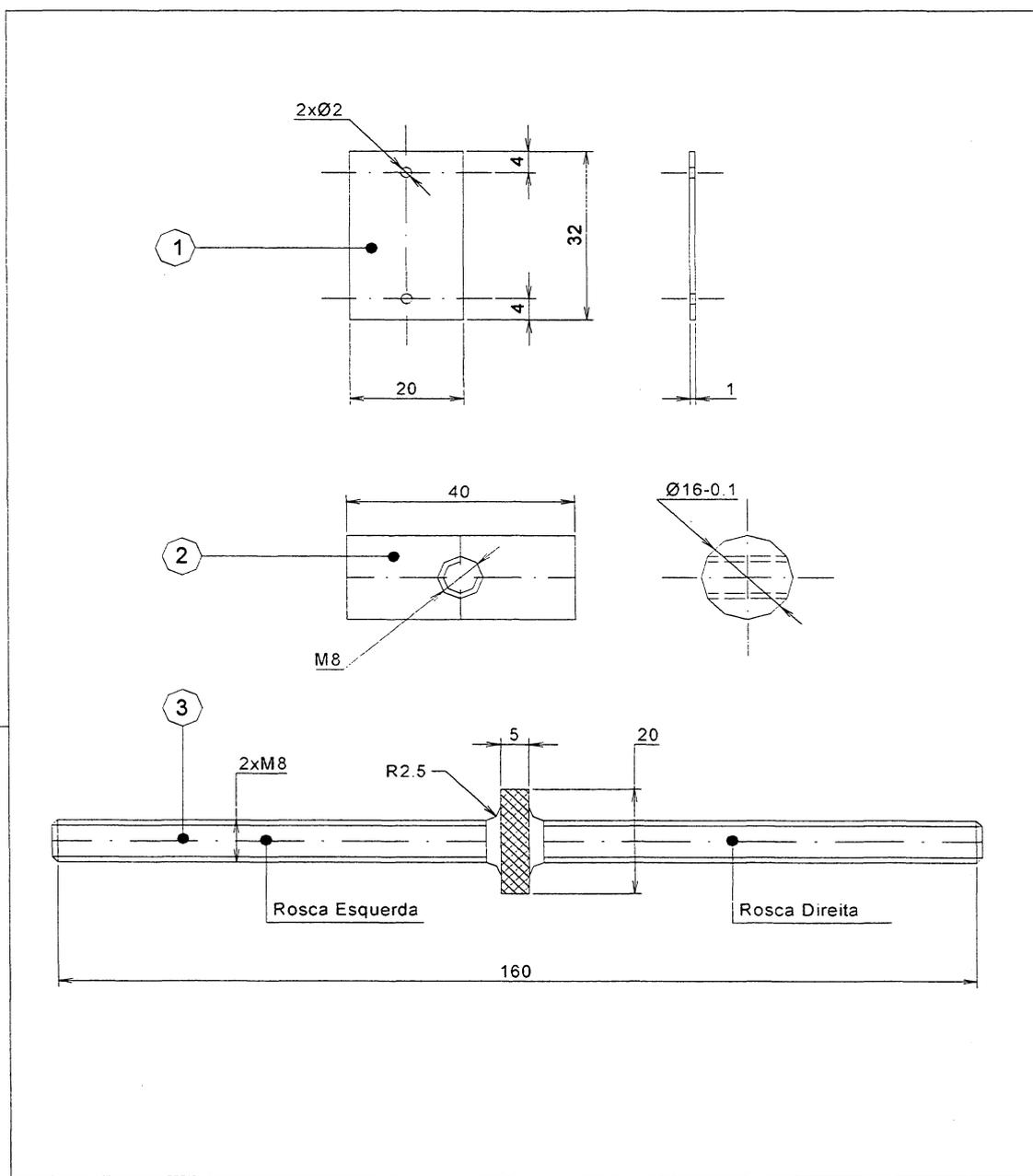
Tabela para a coleta de dados ambientais

Hora	Umidade (%)	Pressão (mmhg)	Temp. (°C)	Hora	Umidade (%)	Pressão (mmhg)	Temp. (°C)
16:55	44,2	689,5	23,1	17:30	52,0	689,5	20,7
17:00	55,0	689,0	22,2	17:35	59,5	689,0	21,3
17:05	50,0	689,0	21,8	17:40	57,7	689,5	20,5
17:10	49,0	689,0	22,1	17:45	60,4	689,5	20,5
17:15	53,0	689,5	23,0	17:50	47,0	689,5	21,3
17:20	46,0	689,0	22,6	17:55	50,0	689,0	21,2
17:25	37,3	689,0	22,5	18:00	57,6	689,0	20,8

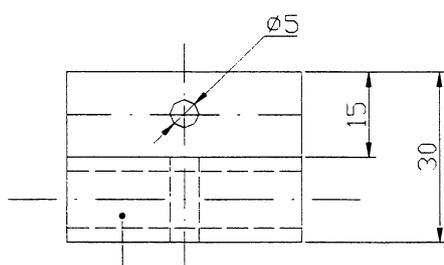
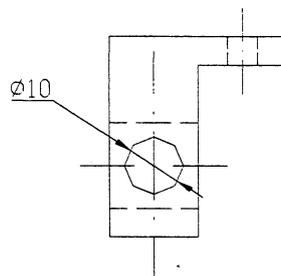
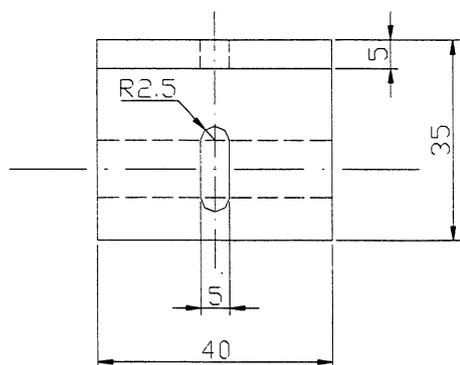


PCA N°	DENOMINACAO	QUANT.	MATERIAL		OBSERVACAO
	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		OBJ. N°		DES. N°
			UNIDADE	mm	DATA
	CURSO		ALUNO N°		NOME
			PROF.		VISTO
	Peça do Ajuste Fino 02		ESCALA 1:1	APROVADO	

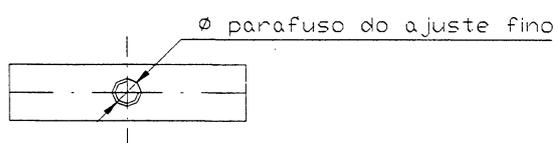




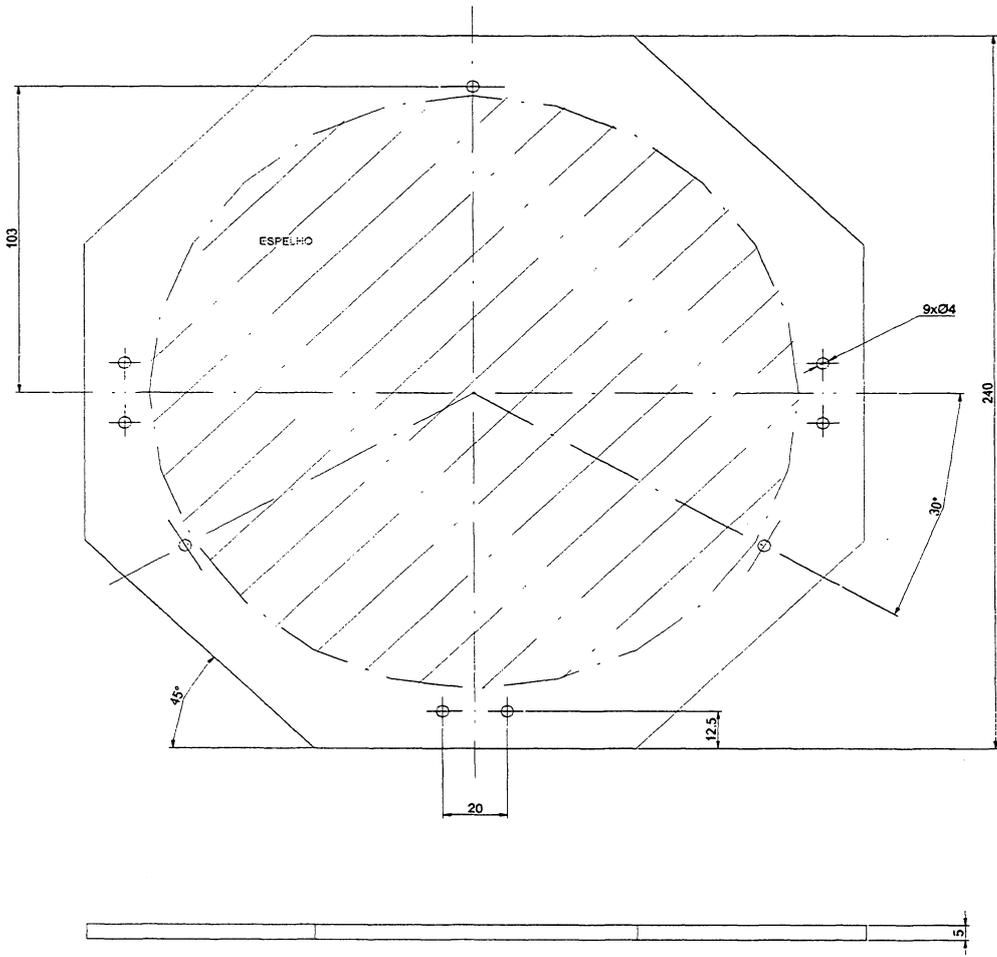
03	Parafuso Calante	03		
02	Prisioneiro	06		
01	Chapa do Prisioneiro	12		
PCA N°	DENOMINACAO	QUANT.	MATERIAL	OBSERVACAO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ			OBJ. N°	DES. N°
			UNIDADE	DATA
			ALUNO N°	NOME
			PROF.	VISTO
CURSO			ESCALA	APROVADO
Peças do Ajuste Fino 01 (Complemento)			1:1	



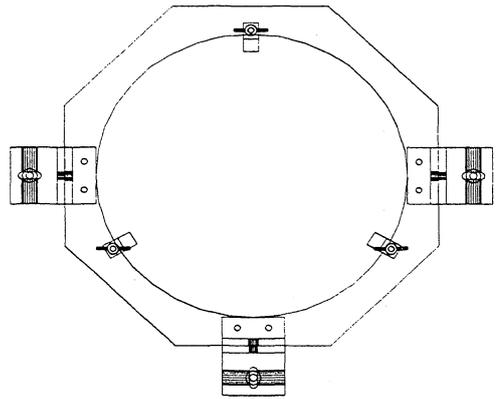
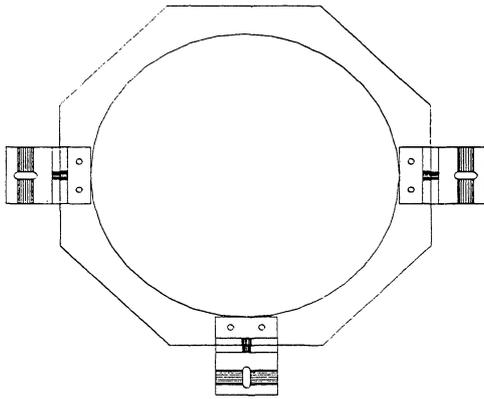
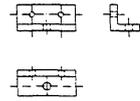
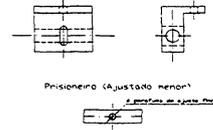
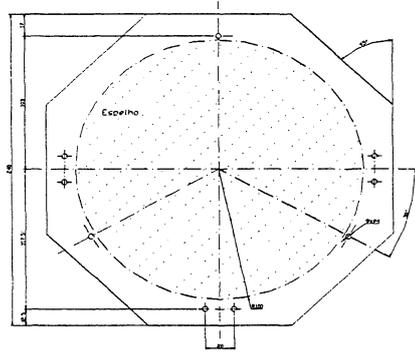
Prisioneiro (Ajustado menor).



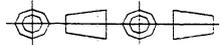
Projeto:	Desenhista:			
Des/N° Des:	ESCALA	UNIDADE	DATA	Obs:

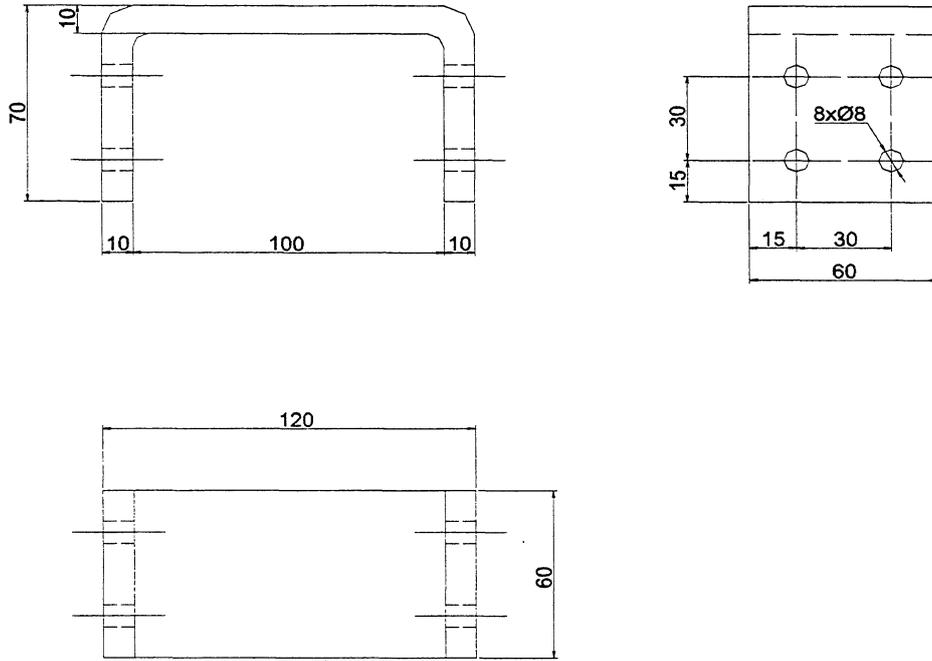


Projeto:		Desenhista:		
Des/N° Des:	Placa 01 / 01	ESCALA 1:2	UNIDADE mm	DATA
				Obs:

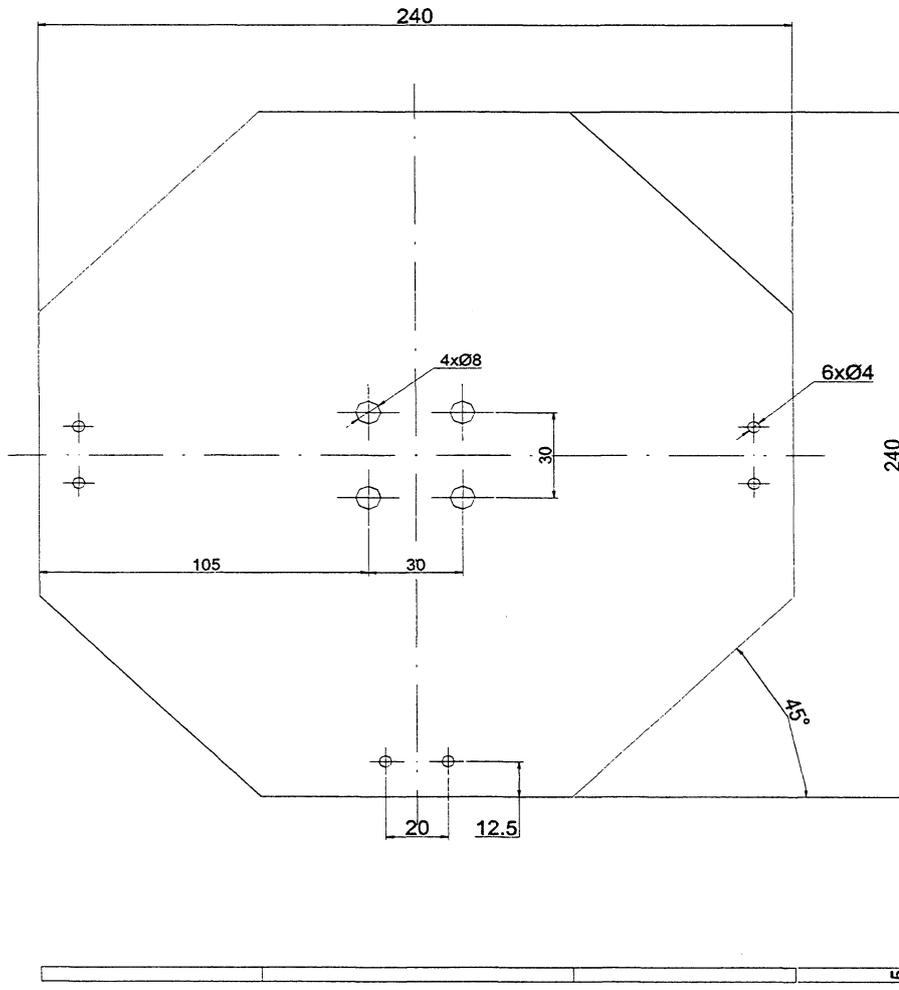


PCA N°	DENOMINACAO	QUANT.	MATERIAL	OBSERVACAO
	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		OBJ. N°	DES. N°
			UNIDADE	DATA
	CURSO		ALUNO N°	NOME
			PROF.	VISTO
			ESCALA	APROVADO

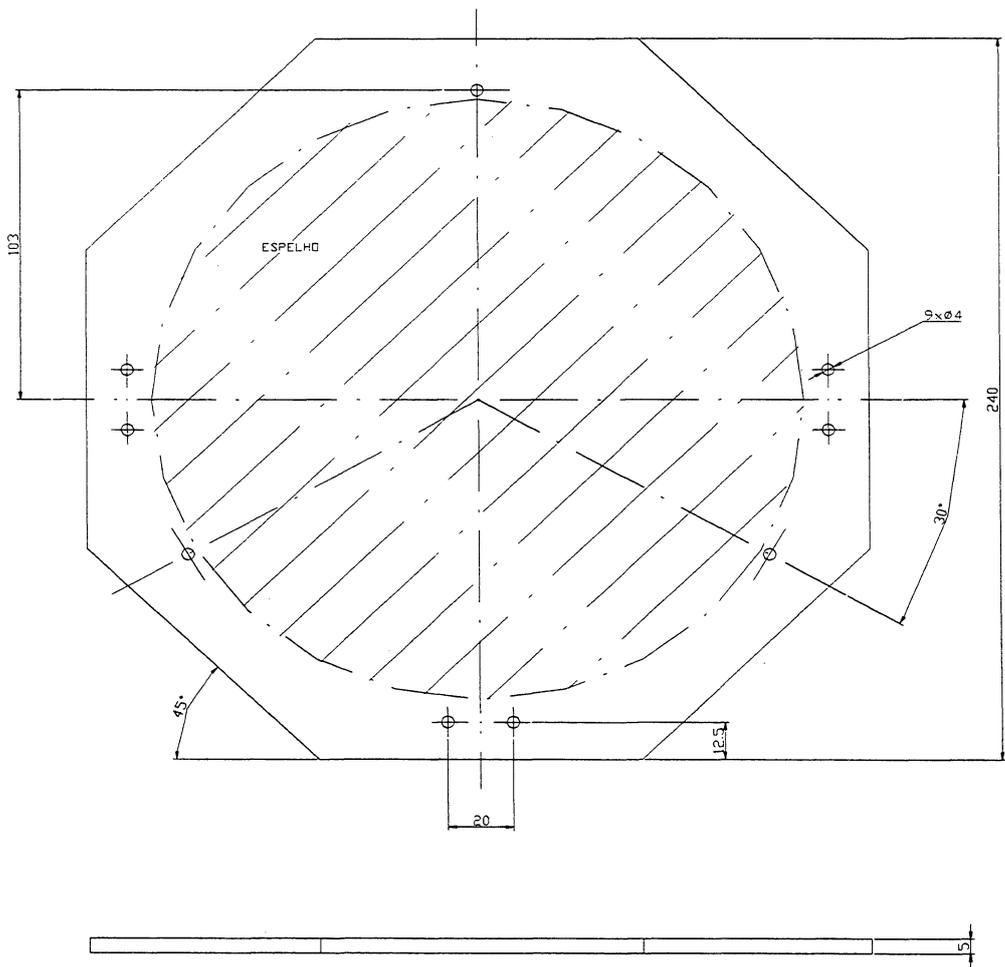




PCA N°	DENOMINACAO	QUANT.	MATERIAL		OBSERVACAO	
	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		OBJ. N°		DES. N°	
			UNIDADE	mm	DATA	
	CURSO		ALUNO N°		NOME	
			PROF.		VISTO	
	Suporte		ESCALA 2:1	APROVADO		



PCA N°	DENOMINACAO	QUANT.	MATERIAL		OBSERVACAO	
	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		OBJ. N°		DES. N°	
			UNIDADE	mm	DATA	
			ALUNO N°		NOME	
			PROF.		VISTO	
			ESCALA	1:2	APROVADO	
CURSO	Placa 02					



Projeto:		Desenhista:		
Des/N° Des:	Placa 01 / 01	ESCALA	UNIDADE	DATA
		1:2	mm	Obs:



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
 SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
 DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA
 CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS
 LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 01

DADOS DO SOLICITANTE

Empresa: Universidade Federal do Paraná

Endereço: Centro Politécnico-Jardim das Américas **Município:** Curitiba **UF:** Paraná

CGC: 75.095.679 / 0001 – 49 **Inscrição Estadual:** Isenta

OBJETO DA CONSULTA

Equipamento: Calibração da componente linear da estação total TC2002

Número de Série: 359922

Identificação no LAIG: Laudo1-30/10/2002

PROCEDIMENTOS E RESULTADOS OBTIDOS

1) Campo

1.1) Medições sobre a base (Fazenda Cangüiri)

Pilares	Escala da Base (m)	σ da escala (mm)	Distâncias reduzidas TC2002 (m)
P1=>P2	70.8696	0.019	70,868
P1=>P3	222.7890	0.022	222,789
P1=>P4	385.8444	0.025	385,844
P1=>P5	648.2498	0.030	648,250
P1=>P6	759.6788	0.032	759,678
P1=>P7	789.9196	0.033	789,919
P2=>P3	151.9200	0.021	151,920
P2=>P4	314.9758	0.024	314,975
P2=>P5	577.3808	0.029	577,380
P2=>P6	688.8104	0.031	688,810
P2=>P7	719.0506	0.031	719,050
P3=>P4	163.0546	0.021	163,054
P3=>P5	425.4598	0.026	425,460
P3=>P6	536.8890	0.028	536,889
P3=>P7	567.1298	0.027	567,130
P4=>P5	262.4048	0.023	262,406
P4=>P6	373.8340	0.025	373,834
P4=>P7	404.0744	0.026	404,074
P5=>P6	111.4290	0.020	111,429
P5=>P7	141.6698	0.021	141,670
P6=>P7	30.2404	0.019	30,240

Fator de escala: 0,92 ppm $\sigma = 0,47$

Constante aditiva: -0,13 mm $\sigma = 0,27$

Elementos do erro cíclico:

. Amplitude: 0,18 mm $\sigma = 0,40$ mm

Ângulo de fase: 0,201 rd $\sigma = 0,20$ rd

Laboratório

2.1) Medida de freqüência (Padrão: freqüencímetro com resolução de uma parte por milhão (ppm) certificado pelo Laboratório Central de Tecnologia (Lactec), vinculado ao INMETRO),.

$$C = (f_{no} - f_m) / f_m \quad \text{Onde: } C = \text{correção em partes por milhão (ppm)}$$

$$f_n = \text{freqüência nominal}$$

$$f_m = \text{freqüência de operação}$$

Freqüência nominal: 50,00000 Mhz

Freqüência medida: 49,99996 Mhz $\sigma = 1,1 \times 10^{-7}$ Mhz

$$C = 0,8 \text{ ppm}$$

2.2) Determinação das componentes do erro cíclico:

Medições na base de laboratório

Posição	Deslocamentos com Interferômetro (mm)	Equipamento em processo de calibrado TC 2002	
		Distâncias	Deslocamentos
01	149.999	141,688	150
02	150.001	141,538	150
03	150.005	141,388	150
04	150.005	141,238	150
05	149.999	141,088	150
06	150.005	140,938	150
07	150.002	140,788	150
08	149.980	140,638	150
09	149.968	140,438	150
10	149.985	140,388	150
11	149.992	140,188	150
12	149.996	140,038	150
13	150.015	139,888	150
14	150.034	139,738	150
15	150.035	139,588	150
16	150.032	139,438	150
17	150.024	139,288	150
18	150.027	139,138	150
19	150.028	138,988	150
20	150.023	138,838	150

Elementos do erro cíclico:

Amplitude: 0,0 mm

Ângulo de fase: 0,0 rd

Curitiba, 25 de outubro de 2001.

Prof. MSc. Pedro Luis Faggion
Gerente Técnico-CREA 27.036 – D

Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas
Coordenador da Área de Instrumentação Geodésica



Certificado de Calibração

CCL 637/01

FOLHA: 1/3

INSTRUMENTO: Contador Universal, fabricante Philips, modelo PM 6673, n.s. 944606673041, Pat. 56425

SOLICITANTE: Universidade Federal do Paraná
Centro Politécnico - Jd. das Américas
81531990 - Curitiba - PR

PROCEDIMENTO:

A calibração foi realizada por comparação direta a um padrão, conforme Procedimento de Ensaio e Análise PEA 001 (revisão 5) e ITC 812 (revisão 00).

Este Certificado apresenta os resultados da calibração do instrumento, abrangendo as seguintes faixas:

- Input A em frequência;
- Base de Tempo de 10 MHz.

Padrão(ões) utilizado(s):

- Gerador de Sinais, HP 8656B, n.s. 2532A02757;
- Gerador de Sinais, HP 3325A, n.s. 1748A03758;
- Contador Universal, HP 53132A, n.s. 3710A03544.



Os instrumentos relacionados acima utilizaram como base de tempo externa um padrão de frequência receptor GPS, fabricante HEWLETT PACKARD, modelo 58503B, número de série KR90300227, Certificado de Calibração TECPAR 99009363, validade nov/2001.

LOCAL E CONDIÇÕES AMBIENTAIS:

Laboratório de Metrologia
Centro Politécnico da UFPR, Curitiba - PR

Temperatura ambiente: $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$
Umidade relativa do ar: $(52 \pm 7) \%$

RESULTADO:

Os resultados desta calibração, apresentados na tabela Registro da Calibração, aplicam-se somente ao instrumento acima descrito que foi comparado com nossos padrões mantidos sob controle e rastreados a padrões nacionais.

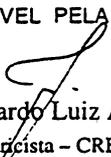
DATA DA CALIBRAÇÃO: 16/10/2001

EXECUTANTE(S): Ricardo Luiz Araújo

DATA DE EMISSÃO DO CERTIFICADO: 26/10/2001

ORDEM DE SERVIÇO: 2771.00/01

RESPONSÁVEL PELA CALIBRAÇÃO


Ricardo Luiz Araújo
Engenheiro Eletricista - CREA - 63960-D (PR)

RESPONSÁVEL TÉCNICO


Minoru Ikeda
Engenheiro Eletricista - CREA - 8561-D (PR)

REPRODUÇÕES DESTE DOCUMENTO SÓ TÊM VALIDADE SE FOREM INTEGRAIS



Certificado de Calibração

CCL 637/01

FOLHA: 2/3



REGISTRO DA CALIBRAÇÃO

Frequência – Input A

Instrumento	Indicação	Valor do Padrão		Resultado da medição					
				Erro		Incerteza		k	V _{eff}
0,999 997 54	Hz	1,000 000	Hz	-0,000 002	Hz	0,000 004	Hz	4,53	2
10,000 000 5	Hz	10,000 000 0	Hz	0,000 001	Hz	0,000 001	Hz	2,87	4
100,000 011	Hz	100,000 000	Hz	0,000 01	Hz	0,000 01	Hz	4,53	2
1,000 000 12	kHz	1,000 000 000 0	kHz	0,000 000 120	kHz	0,000 000 006	kHz	2,00	∞
10,000 001 1	kHz	10,000 000 000 0	kHz	0,000 001 1	kHz	0,000 000 1	kHz	2,52	6
100,000 012	kHz	100,000 000 000	kHz	0,000 012	kHz	0,000 001	kHz	2,52	6
1,000 000 12	MHz	1,000 000 000 0	MHz	0,000 000 12	MHz	0,000 000 01	MHz	2,52	6
10,000 001 1	MHz	10,000 000 000 0	MHz	0,000 001 1	MHz	0,000 000 1	MHz	2,52	6
100,000 011	MHz	100,000 000	MHz	0,000 011	MHz	0,000 006	MHz	2,00	∞
125,000 015	MHz	125,000 000	MHz	0,000 015	MHz	0,000 006	MHz	2,00	∞

- INDICAÇÃO – valor da média aritmética das leituras realizadas no instrumento, para cada ponto;
- VALOR DO PADRÃO – valor verdadeiro convencional do padrão, para cada ponto;
- ERRO – diferença entre a indicação do instrumento e o valor do padrão;
- INCERTEZA DE MEDIÇÃO - incerteza expandida de medição avaliada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com v_{eff} graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95,45%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

J.

REPRODUÇÕES DESTE DOCUMENTO SÓ TÊM VALIDADE SE FOREM INTEGRAIS

LACTEC - Centro Politécnico da UFPR - Caixa Postal 19067 - CEP 81531-990 - Curitiba - PR - Brasil
Fone: +55 41 361-6226 - Fax: +55 41 266-3582 - [http:// www.lactec.org.br](http://www.lactec.org.br) - e.mail: metrolog@lactec.org.br



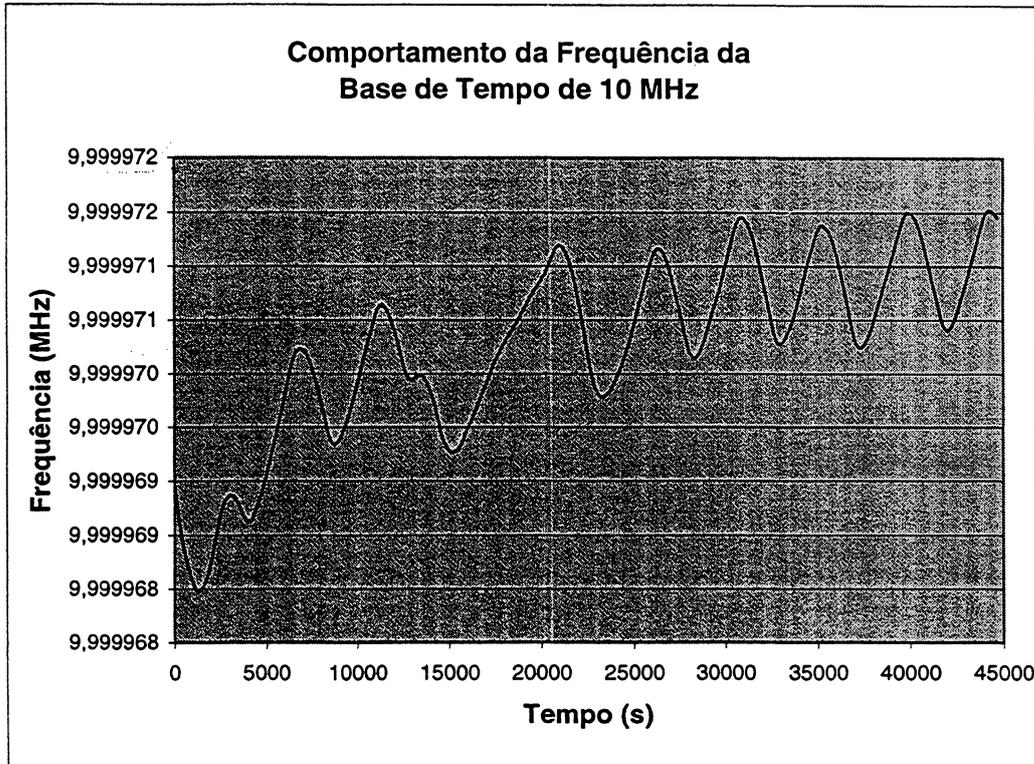
Certificado de Calibração

CCL 637/01

FOLHA: 3/3



Base de Tempo de 10 MHz



Frequência média = 9,999 970 252 MHz
Variância de Allan = 5,63E-18
Raiz da Variância de Allan = 2,37E-09

* * * * *

J.

REPRODUÇÕES DESTE DOCUMENTO SÓ TÊM VALIDADE SE FOREM INTEGRAIS

Classificação De Instrumentos Segundo a NBR-13133

Instrumento: TC2002															Temperatura interna do pilar (2):		
Data: 07 - 07 - 2000															Temperatura interna do pilar (3):		
Observador da série (1): Daniel															Temperatura interna do pilar (4):		
Observador da série (1): Daniel															Temperatura Seca: Início: 22,2°C Término: 22,5°C		
Observador da série (1): Daniel															Temperatura Úmida: Início: 17,7°C Término: 17,2°C		
Obs. O número de observações para cada série deverá ser maior que 2 e menor que 8.															Umidade relativa: Início: 65,8% Término: 59,2%		
															Hora de início: 9h40min		
															Classificação		
															Instrumento de Alta Precisão		
															Transformação de Média		
															Em graus		
															(°)		
															(')		
															(")		
															(s. [d])		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		
															d		
															s. [d]		
															v²		
															v		
															d²		

PEDRO LUIS FAGGION

41 anos, Graduado em Engenharia Cartográfica pela UFPR, Mestrado em Ciências Geodésicas pela UFPR. Professor Assistente III do Departamento de Geomática da UFPR, onde tem ministrado as disciplinas de Topografia para o Curso de Agronomia, Levantamentos, Métodos de Medida e Posicionamento em Geodésia, Tópicos Especiais em Topografia e Projeto Final para o Curso de Engenharia Cartográfica. No Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas ministrou a Disciplina de Levantamentos Geodésicos. Orientou 3 bolsistas e co-orientou 8 no Programa de Iniciação Científica, orientou 3 monitores na área de Levantamentos, dois alunos do programa de bolsa trabalho e co-orientou 1 aluno de mestrados. É suplente na chefia do Departamento de Geomática da UFPR e participa no projeto Base de Dados para o Estado do Paraná, vinculado ao CNPq como apoio técnico à pesquisa.