
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS
DA GEOINFORMAÇÃO

**GEODÉSIA APLICADA AOS ESTUDOS DE
VERTICALIZAÇÃO DE EDIFÍCIO PREDIAL DE GRANDE
PORTE**

ANA ITAMARA PAZ DE ARAÚJO

Orientador: Profa. Dr.techn. Andréa de Seixas

Dissertação de Mestrado

VIRTUS IMPAVIDA

RECIFE, 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

Ana Itamara Paz de Araújo

GEODÉSIA APLICADA AOS ESTUDOS DE VERTICALIZAÇÃO DE
EDIFÍCIO PREDIAL DE GRANDE PORTE

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Departamento de Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Geodésia Aplicada, defendida e aprovada no dia 30 de Agosto de 2013.

Orientador: Profa. Dr.techn. Andréa de Seixas

Recife

2013

Catálogo na fonte

Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

A663g Araújo, Ana Itamara Paz de.

Geodésia aplicada aos estudos de verticalização de edifício predial de grande porte / Ana Itamara Paz de Araújo. – Recife: O Autor, 2013.

xix, 156f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dr.techn. Andréa de Seixas.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2013.

Inclui Referências, Apêndice e Anexos.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Licenciada em Matemática **ANA ITAMARA PAZ DE ARAÚJO.**

Geodésia Aplicada aos Estudos de Verticalização de Edifício Predial de Grande Porte

Dissertação defendida e aprovada em 30 de Agosto de 2013 pela Comissão Julgadora:

Profª. Dr. Techn Andréa de Seixas (Orientadora)

Centro de Tecnologias e Geociências - Universidade Federal de Pernambuco

Profª. Dr. Ana Lúcia Bezerra de Candeias (Examinadora Interna)

Centro de Tecnologias e Geociências - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Francisco Jaime Bezerra Mendonça (Examinador Interno)

Centro de Tecnologias e Geociências - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Afonso Henrique Sobreira de Oliveira (Examinador Externo)

Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a pessoa mais importante de minha vida. A minha saudosa mãe Maria Lúcia Paz pela vida e por tudo que fez por mim. E a todos aqueles que acreditaram, dando-me sempre força para vencer todos os obstáculos imposto pela vida.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é um ato de reconhecimento que não podemos caminhar sozinho. Sendo assim quero agradecer a todas as pessoas que contribuíram em minha formação pessoal e profissional, merecendo destaque:

Inicialmente agradecer a Deus pela inteligência e desenvolvimento emocional para chegar até aqui.

À minha mãe Maria Lúcia Paz (*in memoriam*) por tudo o que ela sempre fez por mim, as saudades que sinto são eternas.

À meu pai Itamar Barros de Araújo, que apesar da distância não deixo de pensar nele em nenhum momento da minha caminhada.

A minha orientadora, Profa. Dr. techn. Andréa de Seixas, por ter aceitado o desafio de orientar-me, pela atenção desde o primeiro contato contribuindo para minha formação como Mestre. E indo muito além de suas obrigações como orientadora, tornou-se uma grande amiga.

Aos amigos de mestrado em especial: Anderson Marcolino de Santana, Jaidson Nandi Becker, Marcondes Marroquim Santiago, Alexandre do Nascimento Souza, Gilmar Danielle de Carvalho Rocha, Hélder Gramacho dos Santos pela paciência em dividir comigo um pouco dos seus conhecimentos e incentivo.

Aos professores do programa de pós-graduação em especial: Prof^a. Dr. Ana Lúcia Bezerra Candeias pelo primeiro contato e pelas informações precisas para que eu tomasse a iniciativa de participar do processo de seleção deste programa de pós-graduação. Ao Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Gárnes pelo

apoio e incentivo em todos os momentos de angústia e conhecimento. Ao Prof. Dr. Francisco Jaime Mendonça pelas contribuições na banca de andamento e defesa e o Prof. Dr. Afonso Henrique Sobreira de Oliveira pelas contribuições na banca de qualificação, andamento e defesa. A Prof^a. Dr^a Lucilene Antunes C. M. de Sá pelo conhecimento transmitido nas disciplinas que eu paguei com ela.

A todos os professores e funcionários do programa de pós-graduação em Ciências Geodésicas.

Aos professores de graduação que mesmo de longe continuaram incentivando-me: Profa. Doutoranda Ana Fanny Benzi de Oliveira, Prof. Doutorando Marlos Gomes de Albuquerque e o Prof. MSc. Marcos Ohse.

Ao aluno de Graduação em Engenharia Cartográfica Daniel Maia Gomes, pela ajuda prestada em campo.

Ao mestre de Obras Luís pelo apoio prestado na área teste 1-Bairro de Casa Amarela. E ao Dr. Eng^o Civil Antônio Rodrigues pelo acesso à obra.

Ao suporte financeiro da Capes através do projeto de pesquisa Bolsa Prof. 2011.1.

Aos Laboratórios de Topografia e Geodésia – LATOP e LAGEO pela disponibilização de equipamentos e espaço físico para pesquisa.

Enfim a todos que de forma direta e indireta me auxiliaram a chegar até aqui e os que não foram citados.

***“Não viva de aparências, elas mudam.
Não viva de mentiras, elas são
descobertas. Não viva pelos outros, viva
por você. Só por você!”***

Adaptado Bob Marley

RESUMO

ARAÚJO, Ana Itamara Paz de. **GEODÉSIA APLICADA AOS ESTUDOS DE VERTICALIZAÇÃO DE EDIFÍCIO PREDIAL DE GRANDE PORTE**. Nº de folhas:156. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação- UFPE. Recife. 2013.

O acompanhamento e o controle geométrico periódicos da verticalização de um edifício predial nos canteiros de obra da construção civil são de grande importância, pois é necessário que se tenha um controle de qualidade da execução da edificação predial. Esse tipo de procedimento de campo é tratado na Engenharia Civil como controle dimensional e controle de qualidade da edificação. Este trabalho tem como objetivo identificar e analisar métodos geodésicos/topográficos para o controle da verticalização de pilares de um edifício predial de grande porte, considerado neste trabalho como sendo um edifício acima de vinte pavimentos. Neste contexto pretende-se responder algumas questões dentre elas como realizar o controle geométrico e o monitoramento da verticalização dos pilares de um edifício predial de grande porte. Para isso é necessário a definição e materialização de estruturas geodésicas e/ou topográficas planialtimétricas de boa qualidade, assim como a interligação de referenciais planialtimétricos locais implantados nas obras de edifícios prediais e seus entornos. A análise das estruturas geodésicas (campo de pontos de referência e do campo de pontos-objeto) irá contribuir para o aprofundamento dos diversos métodos geodésicos/topográficos, enfatizando-se, neste trabalho, métodos ópticos a base de teodolito, nível digital e estação total. Estabelecendo-se assim, a interligação dos instrumentos com a estrutura predial. Para isso serão definidas estruturas geodésicas planialtimétricas para o estudo da verticalização de estruturas prediais em áreas urbanas com a presença marcante de edificações

prediais de pequeno, médio e/ou grande porte. Desta forma, serão abordados conceitos geodésicos à aplicabilidade de estruturas geodésicas planialtimétricas em áreas urbanas quando se tratar da definição e materialização de um sistema de referência planialtimétrico. Esta dissertação contempla as seguintes etapas: Levantamento bibliográfico e escolha da área, Implantação do Sistema de referência planialtimétrico, Aplicação dos métodos geodésicos/topográficos de determinação de coordenadas: poligonização fechada, interseção a vante, interseção a ré e nivelamento trigonométrico de visadas unilaterais a curtas distâncias, levantamento planialtimétrico a partir de três distâncias e três pontos conhecidos, assim como seus respectivos cálculos de ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados. Estudos dos métodos geodésicos/topográficos de prumagem em especial o método de prumagem plana, Elaboração de rotinas e aplicativos nos programas Matlab e Excel. No contexto desta dissertação, os experimentos foram realizados em duas áreas testes. A primeira contendo características urbanas mais próximas com as da realidade prática, localizada em quadras urbanas bastante edificadas e trafegadas de um Bairro da Região Metropolitana do Recife e a segunda no *Campus Recife* da UFPE e seu entorno.

Palavras chaves: Verticalização, Métodos Topográficos e Geodésicos de Medição, Prumagem Plana e Prumagem Mecânica.

ABSTRACT

ARAÚJO, Ana Itamara Paz de. **GEODESY APPLIED TO THE VERTICALIZATION STUDIES OF LARGE HIGHRISE BUILDINGS**. N° of pages: 156. Master Dissertation – Graduate course in Geodesic sciences and Geo-information Technologies - UFPE. Recife. 2013.

The periodic monitoring and geometric control of high-rise buildings in civil construction sites are of great importance for quality control. In Civil Engineering this sort of procedure is treated as dimensional control and quality control of the construction. This research study has the objective of identifying and analyzing geodesic/topographical methods for the control of the verticalization of pillars of large high-rise buildings (over 20 floors). In this context, the intent is to find out how to carry out the geometric control and the monitoring of the verticalization of pillars of a large high-rise building. For this it is necessary to define and materialize planialtimetric geodesic and/or topographic structures of good quality, as well as the interconnection of local planialtimetric references implanted in the construction sites of high-rise buildings and surrounding areas. The analysis of the geodesic structures (field of reference points and field of object-points) will contribute to the better understanding of the different geodesic/topographic methods, emphasizing in this study the optic methods based on theodolite, digital level and total station. This will thus establish the interconnection of the instruments with the high-rise structure. For this, planialtimetric geodesic structures will be defined for the verticalization study of high-rise buildings in urban areas of small, medium and large scale. The applicability of planialtimetric geodesic structures in urban areas will be approached when dealing with the definition and materialization of a planialtimetric reference system.

This dissertation contemplates the following stages: bibliographic research and choice of area; Implantation of the planialtimetric reference system; Application of the geodesic/topographic methods to determine the coordinates: closed traverse, intersection fore, intersection aft and trigonometric leveling of unilateral targets of short distances; Planialtimetric survey from three distances and three known points, as well as their respective adjustment calculations through the use of the Least Squares Method; Studies of geodesic/topographic methods of plumb bob measuring, especially the plane plumb bob measuring method; Elaboration of routines and applications in the programs Matlab and excel. In the context of this dissertation, the experiments were carried out in two test areas. The first containing urban characteristics closer to the practical reality, located in fairly vertical and transited urban areas of the Metropolitan Region of Recife, and the second in the UFPE Campus of Recife and surrounding areas.

Key words: Verticalization, Measuring Topographical and Geodesic Methods, Plane plumb bob measuring and Mechanical plumb bob measuring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de Pino Cravado entre os meios fios e próximo á edificação.....	28
Figura 2 – Exemplo de Vértice temporário, próximo à edificação.	29
Figura 3 – Exemplo do vértice EF5, Pino Cravado_ Área Teste 2-Campus Recife-UFPE.	30
Figura 4 – Pilar Fixo, EPS07_ Área Teste 2-Campus UFPE-Recife.	30
Figura 5 – Conjunto de Campo de Pontos-Objeto.....	32
Figura 6 – Conjunto de Campo de Pontos-Objeto.....	32
Figura 7 – Esboço em vista aérea da Poligonal Fechada, Área teste 2- Campus Recife-UFPE.	37
Figura 8 – Componentes da Centragem forçada. Fabricante Zeiss.....	38
Figura 9 – Componentes da Centragem forçada. Fabricante Leica.....	39
Figura 10 – Método da Poligonação.....	41
Figura 11 – Método da Interseção a vante.....	43
Figura 12 – Método da Interseção a Ré.....	45
Figura 13 – Método de Transformação de Similaridade entre Coordenadas.....	47
Figura 14 – Método da Estação Livre.....	49
Figura 15 – Esquema do Nivelamento Geométrico.....	50
Figura 16 – Esquema do Nivelamento Trigonométrico.....	51
Figura 17 – Método Planialtimétrico a partir de Três Distâncias e Três Pontos Conhecidos.	53
Figura 18 – Prumagem Plana com emprego de teodolitos.....	57
Figura 19 – Método da prumagem plana com emprego de teodolitos.	59
Figura 20 – Teodolito Wild T2.	59
Figura 21 – Ocular de Cotovelo.....	60
Figura 22 – Prumo Zenital de precisão: FG-L 100 (FPM Holding GmbH, Freiberg).....	60
Figura 23 – Prumo Zenital ZL (Leica).....	61
Figura 24 – Forças que atuam em um pêndulo simples.	62
Figura 25 – Esquema do Prumo Flutuador.....	63
Figura 26 – Prumagem por Meio de Flutuadores com medidor de coordenadas.....	64
Figura 27 – Pêndulo Invertido.....	65
Figura 28 – Nível a LASER PLS5 2009 ponto a ponto, Pacific LASER Systems	66
Figura 29 – Foto de Nível a LASER rotativo.	67
Figura 30 – Verificação da verticalidade na parte inferior utilizando a trena e o prumo de centro.	68
Figura 31 –Verticalização do madeirite do pilar por meio de prumo de centro e trena.	68

Figura 32 – Verificação da verticalidade do madeirite do pilar por meio de prumo de centro e trena.....	69
Figura 33 – Verificação da verticalidade na parte superior do madeirite utilizando a trena, o prumo de centro e a estronca metálica.	69
Figura 34 – Orifícios na laje e haste metálica.....	70
Figura 35 – Haste metálica externa.....	70
Figura 36 – Fluxograma apresentando a sequência dos procedimentos metodológicos: Área Teste 1- Bairro de Casa Amarela e Área Teste 2- Campus Recife- UFPE.....	73
Figura 37 – Esboço em vista aérea da localização da Área Teste 1.....	75
Figura 38 – Esboço em vista aérea da poligonal implantada da Área teste 2-Campus Recife- UFPE.....	76
Figura 39 – Configuração das “EL'S” com relação ao campo de pontos de referência.....	80
Figura 40 – Andamento da edificação em relação às campanhas de medição.....	81
Figura 41 – Configuração dos vértices EC1 e EL4 para a determinação da terceira linha de prumo vertical em relação ao primeiro pavimento.	82
Figura 42 – Linha de Prumo em destaque.	82
Figura 43 – Desenho Topográfico da Poligonal implantada na primeira visita para a determinação dos pontos de referência EC1, EC2 e EC3.	84
Figura 44 – Tela inicial para o cálculo da poligonal.	86
Figura 45 – Denominação do campo de pontos-objeto em relação às hastes metálicas.	99
Figura 46 – Esboço em vista aérea da Poligonal completa da área teste 2-CAMPUS RECIFE - UFPE.....	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculo da Poligonal.....	85
Tabela 2 – Coordenadas do Vértice EL1.	87
Tabela 3 – Coordenadas do Vértice EL1.	87
Tabela 4 – Coordenadas do Vértice EL1.	88
Tabela 5 – Coordenadas do Vértice EL1.	88
Tabela 6 – Coordenadas do Vértice EL1.	88
Tabela 7 – Coordenadas do Vértice EL1, calculada através do método de Transformação de Similaridade a partir dos Vértices EC3 e EC2 e diferenças entre o Método de Interseção a Ré por Meio de Medição de Direções.....	88
Tabela 8 – Coordenadas do vértice EL1 ajustadas pelo método dos mínimos quadrados utilizando o modelo paramétrico (MMQ).....	89
Tabela 9 – Coordenadas do Vértice EL1, a partir dos vértices EC1, EC2 e EC3.	89
Tabela 10 – Coordenadas do Vértice EL2, a partir dos vértices EC1 e EC2.	89
Tabela 11 – Coordenadas do Vértice EL1, calculadas através do <i>software</i> MATLAB com os métodos de Transformação de Similaridade e Interseção a ré.	90
Tabela 12 – Coordenadas do Vértice EL2, calculada através do <i>software</i> MATLAB com os métodos de Transformação de Similaridade e respectivas diferenças.	90
Tabela 13 – Coordenadas dos vértices EL1 e EL2 ajustadas pelo Método dos Mínimos Quadrados – Modelo Paramétrico.	91
Tabela 14 – Coordenadas do Vértice EL1, E2, EL3 e EL4, a partir do vértice EC1 para EC2.	92
Tabela 15 – Coordenadas dos Vértices EL1, EL2, EL3 e EL4, calculadas através do <i>software</i> MATLAB pelo método de transformação de similaridade.	92
Tabela 16 – Coordenadas dos Vértices EL1, EL2, EL3 e EL4, diferenças entre os métodos calculados.....	92
Tabela 17 – Coordenadas dos vértices EL1, EL2, EL3 e EL4 ajustados pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).	93
Tabela 18 – Coordenadas dos Vértices EL1, EL2, EL3 e EL4 a partir do vértice EC1 para EC2..	93
Tabela 19 – Coordenadas dos vértices EL1, EL2, EL3 e EL4 ajustadas pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).	94
Tabela 20 – Coordenadas dos vértices EL6 e EL7 calculadas através do método de Estação Livre e Interseção a Ré por meio de medição de direções a partir de EC1 para EC3.	94
Tabela 21 – Coordenadas do vértice EL5.....	95
Tabela 22 – Coordenadas dos vértice EL5, EL6 e EL7 ajustadss pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).	95

Tabela 23 – Coordenadas Z(m) dos vértices EC1, EC2 e EC3.	96
Tabela 24 – Coordenadas Z(m) dos vértices temporários.....	96
Tabela 25 – Coordenadas Planimétricas de todo o campo de pontos de referência	97
Tabela 26 – Coordenadas X(m) e Y(m) dos pontos-objeto, localizadas na face frontal Quinas Direita e Esquerda.....	100
Tabela 27 – Coordenadas X(m) e Y(m) dos pontos-objeto, localizados na face lateral direita.	100
Tabela 28 – Coordenadas Ajustadas de X(m) e Y(m) dos pontos-objeto, localizadas na face frontal.....	101
Tabela 29 – Coordenadas Ajustadas de X(m) e Y(m) dos pontos-objeto, localizadas na face lateral direita.	102
Tabela 30 – Nivelamento Trigonométrico, (face Frontal).	102
Tabela 31 – Nivelamento Trigonométrico, (face Lateral direita).....	102
Tabela 32 – Coordenadas das quinas direita e esquerda da face frontal.	104
Tabela 33 – Coordenadas das quinas direita e esquerda da face lateral direita.	104
Tabela 34 – Coordenadas das quinas direita e esquerda ajustadas da face lateral direita.	104
Tabela 35 – Coordenadas das quinas direita e esquerda ajustadas da face frontal.....	105
Tabela 36 – Coordenadas Planimétricas das hastes metálicas direitas.....	105
Tabela 37 – Coordenadas Planimétricas das hastes metálicas chanfradas.....	106
Tabela 38 – Coordenada das hastes chanfradas ajustadas.....	106
Tabela 39 – Coordenadas das hastes direitas ajustadas.	106
Tabela 40 – Coordenada Z(m) das quinas a partir de EC1 e EC2 da face frontal.	107
Tabela 41 – Coordenadas Z(m) das quinas direitas a partir de EC1 e EC3, face lateral direita.	107
Tabela 42 – Coordenadas Z(m) das hastes chanfradas a partir de EC1 e EC2.	107
Tabela 43 – Coordenadas Z(m) das hastes direitas a partir de EC1, EC2 e EC3.	108
Tabela 44 – Coordenadas Planialtimétricas da haste H11D a partir de EC1, EC2 e EC3.	108
Tabela 45 – Coordenadas das quinas direita e esquerda da face frontal.	109
Tabela 46 – Coordenadas das quinas direita e esquerda da face lateral direita.....	109
Tabela 47 – Coordenadas ajustadas das quinas direita e esquerda da face frontal.....	110
Tabela 48 – Coordenadas ajustadas, quinas direita e esquerda da face lateral direita.....	110
Tabela 49 – Coordenadas planimétricas das hastes chanfradas.	111
Tabela 50 – Coordenadas planimétricas das hastes esquerda.	111
Tabela 51 – Coordenada planimétricas ajustadas das hastes chanfradas.	112
Tabela 52 – Coordenada planimétricas ajustadas das hastes esquerdas.	112
Tabela 53 – Coordenada Z(m) das quinas a partir de EL1 e EL2 da face frontal.....	113

Tabela 54 – Coordenada Z(m) das quinas direita a partir de EL3 e EL4 da face lateral direita.	113
Tabela 55 – Coordenada Z(m) das hastes chanfradas a partir de EC1 e EC2.	113
Tabela 56 – Coordenada Z(m) das hastes esquerdas a partir de EC1 e EC2.	114
Tabela 57 – Coordenadas Planimétricas das hastes chanfradas.	114
Tabela 58 – Coordenadas Planimétricas das hastes à direita.	115
Tabela 59 – Coordenadas Ajustadas das hastes chanfradas.	115
Tabela 60 – Coordenadas Ajustadas das hastes à direita.	116
Tabela 61 – Linhas de Prumo.	116
Tabela 62 – Ajustamento das Linhas de Prumo.	116
Tabela 63 – Coordenadas Z(m) das hastes chanfradas.	117
Tabela 64 – Coordenadas Z(m) das hastes direitas.	118
Tabela 65 – Coordenadas Z(m) das linhas de prumo.	118
Tabela 66 – Coordenada das hastes direita e esquerda.	119
Tabela 67 – Coordenadas das hastes direita.	119
Tabela 68 – Coordenadas Ajustadas das hastes, face esquerda.	119
Tabela 69 – Coordenada Ajustadas das hastes, face direita.	120
Tabela 70 – Coordenadas Z(m) das hastes esquerdas.	120
Tabela 71 – Coordenadas Z(m) das hastes direitas.	121
Tabela 72 – Coordenadas UTM SIRGAS2000 e STL dos vértices da Área teste 2.	142
Tabela 73 – Comparação entre as coordenadas UTM SIRGAS2000 dos vértices EPS04, EPS06 e EPS07.	142
Tabela 74 – Comparação entre as coordenadas X e Y, STL dos vértices EPS04, EPS06 e EPS07.	142
Tabela 75 – Coordenadas STL dos vértices da poligonal implantada na Área teste 2.	143
Tabela 76 – Altitudes determinadas através do método de Nivelamento Trigonométrico_Área teste 2.	144

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Métodos geodésicos de Medição e sua Solução Matemática.	36
Quadro 2 – Descrição das Campanhas de Medição_ Campo de Pontos de Referência.	78
Quadro 3 – Descrição das Campanhas de Medição_ Campo de Pontos-Objeto.	99
Quadro 4 – Descrição das medições na área teste 2- <i>Campus UFPE</i>	122

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CTG	Centro de Tecnologia e Geociências
EC	Estação Casa Amarela
EDM	Electronic Distance Measurement
EL	Estação Livre
EXE	Ponto de Referência, próximo ao Exército
Hz	Ângulo Horizontal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITEP	Ponto de Referência, próximo ao Instituto de Tecnologia de Pernambuco
IUGG	International Union of Geodesy and Geophysics
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
PR	Prisma Reflex
RMR	Região Metropolitana do Recife
RN	Referência de Nível
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
STL	Sistema Topográfico Local
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UTM	Universal Transverse Mercator
V	Ângulo Vertical

SUMÁRIO

RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XIII
LISTA DE QUADROS	XVI
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XVII
SUMÁRIO	XVIII
1. INTRODUÇÃO	21
1.1 OBJETIVOS	25
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	25
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	25
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	25
2. CONCEITUAÇÃO DE CAMPO DE PONTOS	27
2.1 CAMPO DE PONTOS DE REFERÊNCIA	27
2.2 CAMPO DE PONTOS-OBJETO	31
3. MÉTODOS TOPOGRÁFICOS E GEODÉSICOS	35
3.1 POLIGONAÇÃO FECHADA COM CENTRAGEM FORÇADA	36
3.2 INTERSEÇÃO A VANTE	42
3.3 INTERSEÇÃO A RÉ	45
3.3.1 <i>Por Meio de Medições Angulares</i>	45
3.3.2 <i>Por Meio de Medições Angulares e Lineares: Método de Transformação de Similaridade entre Coordenadas</i>	46
3.3.3 <i>Por Meio de Medições Angulares e Lineares: Método da Estação Livre</i>	48
3.4 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	49
3.5 NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO	51
3.6 LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO A PARTIR DE TRÊS DISTÂNCIAS E TRÊS PONTOS CONHECIDOS	52
4. MÉTODOS DE PRUMAGEM	56
4.1 LINHA DE PRUMO	56
4.2 PRUMAGEM PLANA	57
4.3 PRUMAGEM LINEAR	60
4.3.1 <i>Prumagem Óptica</i>	60
4.3.2 <i>Prumagem Mecânica a Pêndulo</i>	61
4.3.3 <i>Prumagem Por Meio de Flutuadores</i>	63
4.3.4 <i>Prumagem A LASER</i>	65
4.4 MÉTODOS DE PRUMAGEM COM O EMPREGO DE TRENAS, PRUMOS DE CENTRO, FIOS DE “NYLON” E PAR DE ESQUADROS	67

5. EXPERIMENTOS E ANÁLISES METODOLÓGICAS	72
5.1 MÉTODOS E MATERIAIS	72
5.1.1 Metodologia	72
5.1.2 Materiais	74
5.1.3 Área Teste.....	74
5.1.3.1 Área Teste 1: Bairro de Casa Amarela	74
5.1.3.2 Área Teste 2- Campus Recife-UFPE	75
5.2 IMPLANTAÇÃO DO CAMPO DE PONTOS DE REFERÊNCIA E CAMPO DE PONTOS-OBJETO.....	76
5.2.1. Levantamento da Área teste 1: Bairro de Casa Amarela.....	77
5.2.1.1 Medições, Processamento e Análise dos Resultados do Campo de Pontos de Referência	77
5.2.1.2 Medições, Processamento e Análise dos Resultados do Campo de Pontos-Objeto	98
5.2.2 Levantamento da Área teste 2- Campus Recife – UFPE.....	121
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	125
6.1 CONCLUSÕES	125
6.1.1 Área Teste 1: Bairro de Casa Amarela.....	126
6.1.2 Área Teste 2 – Campus Recife UFPE.....	129
6.2 RECOMENDAÇÕES.....	130
REFERÊNCIAS.....	131
APÊNDICE	136
ANEXOS.....	155

1. INTRODUÇÃO

O acompanhamento e o controle geométrico periódicos da verticalização de um edifício predial nos canteiros de obra da construção civil são de grande importância, pois é necessário que se tenha um controle de qualidade da execução da edificação predial. Esse tipo de procedimento de campo é tratado na Engenharia Civil como controle dimensional e controle de qualidade da edificação.

A definição de controle geométrico ou dimensional é muito ampla. Barros (2001) descreve este termo, como “ato ou poder de controlar, ou a fiscalização exercida sobre as atividades de pessoas, órgãos, departamentos ou sobre produtos, para que tais atividades ou produtos não desviem das normas preestabelecidas”. Segundo o mesmo autor, o termo controle é o “conjunto de atividades técnicas e planejadas, através das quais se podem alcançar uma meta e assegurar um nível predeterminado de qualidade”, ou seja, controla-se uma qualidade. E o termo geométrico ou dimensional é “relativo ou pertencente à geometria ou próprio dela”.

O controle geométrico refere-se à geometria projetada nas lajes, vigas ou pilares, a execução dos elementos constituintes do edifício na geometria projetada, e na medição e cálculos dos desvios entre a geometria projetada e aquela que foi executada (BOTELHO, 2003).

No contexto da construção de edifícios, o controle dimensional está relacionado com a definição da geometria projetada nas edificações prediais, mas deve-se ir além, podendo ser entendido como o conjunto de atividades que visam assegurar, em um primeiro instante, a locação do edifício no “building site”, a execução dos elementos constituintes do edifício na geometria projetada, e em uma etapa seguinte medir os desvios entre a geometria projetada de cada elemento e a realmente executada (BARROS, 2001).

Em Botelho (2003) o controle dimensional de edificações com seu posicionamento geodésico devem iniciar no levantamento topográfico do terreno, fazendo uso de um sistema primário ou de referência amarrado a redes cadastrais oficiais. Devendo continuar durante a fase de elaboração e compatibilização de projetos arquitetônico e estrutural, nas fases de locação do edifício e de suas partes ou etapas, permitindo o nivelamento, prumo e esquadro dos elementos construtivos.

Os progressos na área de micro medições, a partir da instrumentação geodésica, perceptível através do instrumental de medição de ângulos e distâncias, e medição de desníveis, fortalecem e incentivam o estudo e a aplicabilidade de métodos geodésicos para a verticalização de edifícios em ambientes urbanos. Existem vários instrumentos no campo da Geodésia que proporcionam as medições de direções, ângulos e distâncias, como, por exemplo, o teodolito, o nível de luneta e a estação total, que consistem em instrumentos ópticos de medição utilizados na Topografia, na Geodésia e na Agrimensura, os quais serão utilizados nesta dissertação.

O controle dimensional proporciona a qualidade na construção de uma edificação predial. No contexto desta pesquisa será contemplada a temática de verticalização ressaltando sua verificação a partir de métodos geodésicos de medição (cf. capítulos 3 e 4).

O estudo de deformação de objetos considera a necessidade de definição de sistemas de referências para a interligação entre a estrutura predial e os sistemas de medição a serem empregados, assim como a definição de campos de pontos de referência e campo de pontos-objeto (SILVA et al., 2004).

Em Silva (1991a) descreve-se que o taqueômetro e o teodolito eletrônicos que podem medir direções horizontais e verticais num certo sistema de referência tridimensional, segundo o autor para a medição dos ângulos de altura ou distâncias zenitais no limbo vertical, este sistema utiliza sensores eletrônicos de inclinação, que são empregados no cálculo rigoroso

do erro de índice e de verticalidade, utilizados internamente na correção da medição angular. Em Silva (1991b) mostra-se que o teodolito pode trabalhar como inclinômetro. O autor verificou a possibilidade de emprego de teodolitos e posicionadores polares como inclinômetros, capazes de detectar a influência da ação periódica de ventos e efeitos técnicos sobre estruturas de construção civil, assim como a determinação de eventuais velocidades de recalque.

Em Coutinho Neto (1983) a finalidade do nível não é somente horizontalizar plano ou verticalizar eixo, mas também medir ângulos. Segundo o autor, modernamente os níveis são graduados em divisões de dois milímetros. A cada divisão corresponde um ângulo central, que tem a denominação de sensibilidade do nível, porque permite medir a precisão com que se pode por um plano na horizontal ou em eixo na vertical.

Em Kahmen (1997) descreve-se sobre o ordenamento de medição com sensores descentralizados para a medição de pequeníssimas variações de comprimento, de altura e inclinação, como um dos métodos de medição para o monitoramento de estruturas da construção civil. Neste procedimento de medição são utilizados sensores com medidas elétricas de grandezas não elétricas. Segundo o mesmo autor estes sensores podem ser conectados a computadores de forma a, por exemplo, fornecer automaticamente o processamento de “Biegelinien”.

Podem-se citar alguns exemplos famosos de construções de grande porte vertical: a pirâmide de Quéops no Egito com 137,16 metros de altura, a Torre Eiffel em Paris com 325 metros, o mais alto edifício atualmente Burj Dubai na Arábia Saudita com 828 metros de altura, dentre outros.

No contexto da região Metropolitana do Recife, identificam-se muitas edificações prediais compostas com mais de 20 andares, as quais serão consideradas, nesta dissertação, como edificações prediais de grande porte no sentido vertical.

Por esses motivos citados acima este trabalho tem como objetivo responder algumas questões dentre elas como realizar o controle geométrico e o monitoramento da verticalização dos pilares de um edifício predial de grande porte.

Para isso é necessário a definição e materialização de redes geodésicas e/ou topográficas planialtimétricas de boa qualidade, assim como a interligação de referenciais planialtimétricos locais implantados em obras de edifícios prediais e seu entorno.

Assim a análise do campo de pontos de referência e do objeto irá contribuir para o aprofundamento dos diversos métodos geodésicos/topográficos enfatizando métodos ópticos a base de teodolito, nível digital e de estação total. Estabelecendo a interligação dos instrumentos com a estrutura predial. Para isso será definida uma rede geodésica planialtimétrica de boa qualidade para o estudo da verticalização em áreas urbanas com a presença marcante de edificações prediais de pequeno, médio e/ou grande porte. Introduzindo, desta forma, conceitos geodésicos à aplicabilidade de redes geodésicas planialtimétricas em áreas urbanas quando se tratar da definição e materialização de um sistema de referência planialtimétrico.

A presente dissertação contempla as seguintes etapas: Levantamento bibliográfico e escolha da área; Implantação do sistema de referência planialtimétrico; Estudos dos métodos geodésicos/topográficos de determinação de coordenadas e dos métodos de prumagem; Elaboração de rotinas e aplicativos nos programas Matlab versão 2009 e Excel versão Microsoft Word 2007, para o processamento e análise dos resultados. Além disso, serão utilizados aplicativos do programa AstGeoTop (GÁRNES, 2013) versão 2013, com objetivo de confrontar e aprimorar o processamento e análise dos resultados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar e analisar métodos geodésicos/topográficos para o controle da verticalização de pilares de um edifício predial de grande porte, considerado neste trabalho como sendo um edifício acima de vinte pavimentos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Implantar, densificar estruturas geodésicas tridimensionais de referência, para o georreferenciamento de campo de pontos-objeto com o emprego de estação total e nível digital;
- Apresentar a instrumentalização de métodos geodésicos para a determinação da verticalização e transporte de altura, tais como prumagem plana, prumagem linear e prumagem com emprego de Trenas, Prumos de Centro, Fios de "NYLON" e Par de Esquadros;
- Aplicar métodos geodésicos/topográficos para a determinação de coordenadas planialtimétricas da edificação;
- Abordar uma metodologia para o estudo da verticalização;
- Elaborar rotinas no programa MATLAB e aplicativos no programa EXCEL para o processamento e análise de dados.

1.2 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos. No capítulo 1 foi introduzido a problemática e a justificativa do tema abordado neste trabalho e os objetivos.

O capítulo 2 "*Conceituação de Campos de Pontos*" para o estudo da verticalização de edificação predial aborda os dois tipos diferentes de campo de pontos: Campo de Pontos de Referência e Campo de Pontos-Objeto.

O capítulo 3 "*Métodos Topográficos e Geodésicos*" apresenta os diferentes métodos e conceituação que serão utilizados neste trabalho, como Nivelamento Geométrico, Nivelamento Trigonométrico com visadas unilaterais, Poligonação fechada com Centragem Forçada, Interseção a Vante 2D, Interseção a Ré 2D e levantamento planialtimétrico a partir de três distâncias e três pontos conhecidos e seus respectivos cálculos de ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados.

O capítulo 4 "*Métodos de Prumagem*" apresenta os diferentes métodos de prumagem, que são prumagem plana, prumagem linear que está subdividida em prumagem óptica, prumagem mecânica a pêndulo, prumagem por meio de flutuadores e prumagem a LASER e o Método de Prumagem com o emprego de trenas, prumos de centro, fios de "nylon" e par de esquadros.

O capítulo 5 "*Experimentos e Análises Metodológicas*" descrevem os experimentos e metodologias utilizadas neste trabalho envolvendo processamento e análise dos dados observados.

No capítulo 6 "*Conclusões e Recomendações*", são descritas as sínteses dos resultados alcançados, assim como as sugestões para futuros trabalhos. Finalizando com as Referências Bibliográficas, Apêndices e os Anexos.

2. CONCEITUAÇÃO DE CAMPO DE PONTOS

Segundo (BRANDÃO, 1996), campo de pontos, nos processos de medição, são conjuntos de pontos interligados, aos quais, a cada um deles pode-se associar uma posição em um dado Sistema de Referência. As posições desses pontos são definidas por suas coordenadas determinadas através de relações geométricas. De acordo com o mesmo autor, a quantidade e a disposição dos pontos, ou seja, seu aspecto geométrico é definido pelas condições específicas a que este campo se destina.

2.1 Campo de Pontos de Referência

O campo de pontos de referência é formado por um conjunto de pontos de referência, os quais são intencionalmente preparados para a definição do sistema de referência de medição estável, onde o campo de pontos-objeto é monitorado a partir do campo de pontos de referência (CARDOSO, 2005).

Segundo Botelho (2003) um campo de pontos de referência é um conjunto de pontos materializados no terreno e que tem suas coordenadas conhecidas, determinadas de acordo com as especificações do IBGE (1998) ou segundo as normas da ABNT (13.133/1994). Sendo utilizados para o apoio em trabalhos geodésicos e topográficos. O autor recomenda que no mínimo, dois vértices consecutivos, sejam implantados fora do imóvel de interesse, em locais julgados seguros, e com isso fica evidenciado a necessidade de um campo de pontos de referência no local da obra.

Em Gama (2008) o campo de pontos de referência é distribuído em torno de quadras cadastrais, para o levantamento de limites de parcelas territoriais urbanas.

Para dar continuidade aos estudos e implantação de estruturas geodésicas no Campus Recife- UFPE e seu entorno (cf. (FLOR, V. 2010), (SOUZA, W. 2012) e (MENDONÇA et al. 2010)), decidiu-se implantar um

campo de pontos de referência planialtimétrica adjacente a um conjunto de campo de pontos de referência pré-existente definidos com GPS, Estação Total e Nível Digital.

Nesta dissertação o campo de pontos de referência é determinado e implantado para auxiliar na determinação do campo de pontos-objeto.

No caso da área teste 1- Bairro de Casa Amarela, o campo de pontos de referência foi materializado com:

- ✓ Pinos cravados entre os meios fios e as vias de comunicação. Como se pode observar na Figura 1.

Figura 1 – Exemplo de Pino Cravado entre os meios fios e próximo à edificação.



FOTO: Abril, 2012.

As coordenadas destes vértices foram definidas por meio de poligonização com centragem forçada e nivelamento trigonométrico de visadas unilaterais a curtas distâncias.

Os pontos de referência foram denominados da seguinte forma, a letra “E” significa Estação onde estava localizada a Estação Total, a letra “C” significa Bairro de Casa Amarela e a numeração (1, 2, 3) quantidade de pontos de referência distribuídos externamente próximos à obra.

- ✓ Vértices temporários localizados nas calçadas. Conforme a Figura 2 que segue.

Figura 2 – Exemplo de Vértice temporário, próximo à edificação.



FOTO: Janeiro, 2013.

As coordenadas destes vértices foram definidas por meio do método de interseção a ré (cf. item 3.3) e nivelamento trigonométrico (cf. item 3.5).

Estes pontos foram denominados de EL, a letra “E” significa Estação, onde estava localizada a Estação Total, a letra “L” significa a palavra livre, ou seja, estação livre.

No caso da área teste 2- *Campus Recife- UFPE*, o campo de pontos de referência foi materializado com:

- ✓ Pinos cravados entre os meios fios e as vias de comunicação. A Figura 3 mostra um exemplo de pino cravado nesta área teste.

Figura 3 – Exemplo do vértice EF5, Pino Cravado_ Área Teste 2-Campus Recife-UFPE.



FOTO: Agosto, 2012.

- ✓ Pilares com centragem fixa, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Pilar Fixo, EPS07_ Área Teste 2-Campus UFPE-Recife.



FOTO: Agosto, 2012.

As coordenadas desses vértices foram definidas por meio do método de poligonização com centragem forçada e nivelamento trigonométrico.

A definição de campo de pontos de referência no contexto deste trabalho é um conjunto de pontos materializados no terreno e distribuídos conforme a geometria da área em estudo. Os campos de pontos de referência implantados na área teste 2- *Campus Recife-UFPE* estão em um Sistema Topográfico Local.

2.2 Campo de Pontos-Objeto

O campo de pontos-objeto é definido por Botelho (2003) como “um conjunto de pontos que, são levantados no terreno e utilizados para representação de todos os detalhes necessários a serem representados”.

Em Gama (2008), o conjunto de pontos-objeto é representado pelas parcelas territoriais urbanas. A definição de campo de pontos-objeto abordado neste contexto é a designação de campo de pontos-objeto dada aos pontos de limites a serem determinados posicionalmente. Estes devem ter suas coordenadas referenciadas ao sistema definido pelo campo de pontos de referência.

Para Silva et al. (2004) o campo de pontos-objeto tem a finalidade de descrever o objeto, de modo que o mesmo possa ser abstraído da melhor maneira possível.

Na presente dissertação o campo de pontos-objeto é representado por pontos estrategicamente localizados na edificação predial de grande porte.

A área teste 1- Bairro de Casa Amarela, a partir do conjunto de campo de pontos de referência foi determinado um conjunto de campo de pontos-objeto. Este conjunto de campo de pontos-objeto foi determinado durante as campanhas de medição realizadas nesta área teste.

Na Figura 5, podem-se visualizar estes pontos-objeto assinalados com um círculo de cor azul, no que se refere ao pavimento seis da edificação.

Figura 5 – Conjunto de Campo de Pontos-Objeto.

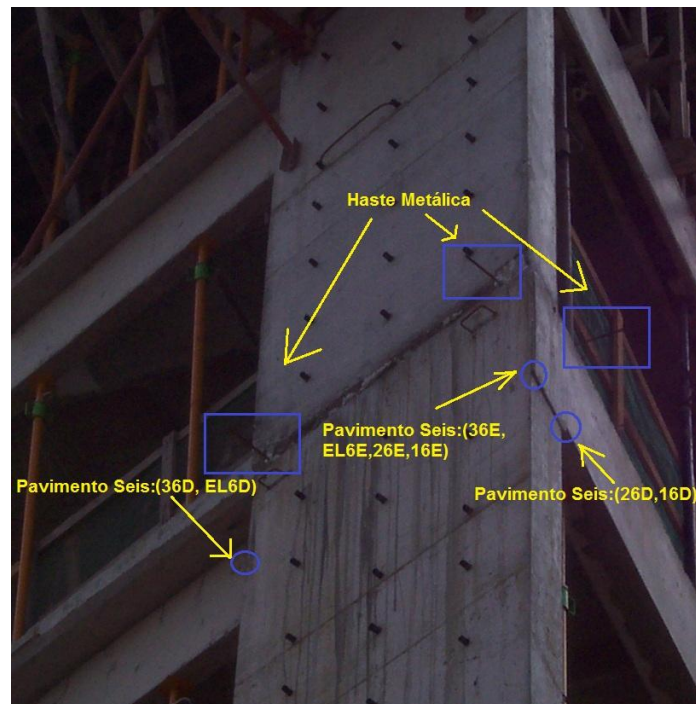


FOTO: Abril, 2012.

As quinas foram medidas de forma diferente em relação a primeira visita, pois na primeira visita visualizou-se a parte inferior da laje e nas demais visitas as quinas foram visualizadas na parte superior da laje, conforme ilustração da Figura 6.

Figura 6 – Conjunto de Campo de Pontos-Objeto.



FOTO: Abril, 2012.

Portanto, no contexto deste trabalho o campo de pontos-objeto são pontos distribuídos na estrutura da edificação predial de grande porte com o objetivo de descrever o objeto de estudo.

O estudo da verticalização de uma edificação será reduzido neste trabalho ao estudo da execução dos pilares de edificação. Sendo assim, o objeto de medição neste trabalho são os pilares de uma edificação predial.

A evolução histórica de sistemas de medição polar à base de teodolitos através da triangulação ativa e os respectivos métodos para a determinação de deformação de objetos sinalizados com marcas artificiais e não sinalizados, assim como medições de superfícies são apresentados em (SEIXAS, 2004). Com base nestas definições é possível identificar algumas situações de campo de pontos-objeto contidos nos pilares de uma edificação:

- a) Pontos-objeto artificiais e passivos, neste caso são implantados alvos nas quinas dos pilares de forma a poder medi-los com o emprego de um sistema de medição a base de teodolitos ou uma Estação Total (taqueômetro eletrônico);
- b) Pontos-objeto naturais, neste caso as quinas são definidas pelas arestas das vigas das lajes e dos pilares de forma que possam ser identificados pelo olho humano e medidos a partir de um sistema de medição a base de teodolitos ou uma Estação Total;
- c) Pontos-objeto ativos, neste caso são projetados luzes a LASER para poder medi-los com o emprego de um taqueômetro eletrônico (Estação Total) ou um sistema de medição a base de teodolitos;
- d) Pontos-objeto naturais, neste caso as quinas são definidas pelas arestas das vigas das lajes e dos pilares de forma que possam ser identificados por um olho artificial, no caso câmera CCD, e medidos com o emprego de um sistema de medição automático constituído por vídeo-teodolitos.

e) Pontos-objeto naturais e ativos, neste caso as quinas são definidas pelas arestas das vigas das lajes e dos pilares de forma que possam ser identificados por um olho artificial, no caso câmera CCD, quando são projetados luzes a LASER e medidos com o emprego de um sistema de medição automático constituído por um teodolito apontador e um teodolito identificador (vídeo-teodolito) ou vídeo-taqueômetro.

Nesta dissertação foi estudada a situação b) Pontos-objeto naturais, pois o mesmo está limitado as instrumentações existentes no programa de pós-graduação. A determinação do ponto-objeto está limitada a identificação por olho humano. O que significa que em épocas sucessivas essas mesmas quinas não serão detectadas igualmente. Para melhorar os diagnósticos serão observadas, além destas quinas, hastes metálicas cravadas nas lajes e próximas às arestas entre as quinas e os pilares (Figura 5). Estas hastes são utilizadas durante a obra para o controle vertical por meio de prumos de centro (cf. item 4.4).

Em SEIXAS et al.,(2007) foram apresentados fundamentos geodésicos/metrológicos (teóricos e experimentais) e métodos ópticos para a determinação de deslocamentos verticais e transporte de alturas à base de sistemas de medição compostos exclusivamente por teodolitos e estações totais (taqueômetros eletrônicos) de caráter manual e/ou motorizado, trazendo definições de possíveis sistemas de referências e orientações dos mesmos. As características de distinção entre os métodos apresentados poderão servir como subsídio para uma pré-seleção da metodologia a ser utilizada.

3. MÉTODOS TOPOGRÁFICOS E GEODÉSICOS

O emprego de técnicas ópticas de medição tridimensional através de sistemas de medição a base de teodolitos apresenta vantagens com respeito ao clássico método do nivelamento geométrico, quando o ambiente de trabalho envolve vibrações, já que os teodolitos são mais sensíveis a vibrações do que os níveis automáticos. Outra vantagem é quando os pontos-objeto a serem observados estão em diferentes elevações. Os teodolitos possibilitam, neste caso, visadas inclinadas aos pontos de medição. Os métodos de medição com emprego de teodolitos e taqueômetros são empregados tanto para medições de deformação, como também para medições de superfícies (reconstrução 3D), quando o sistema de medição a base de teodolitos se baseia na triangulação ou quando o taqueômetro possui um medidor de distância (método polar) (SEIXAS, A. et al., 2007).

Este capítulo tem como objetivo descrever a fundamentação teórica necessária para a realização dos métodos topográficos/geodésicos aplicados nesta dissertação, para a definição de um conjunto de pontos para o estudo da verticalização de um pilar de uma edificação predial com 31 pavimentos em construção.

Os métodos aplicados nesta dissertação são denominados de Métodos Terrestres de Medição realizados com o emprego de Estação Total e Nível Digital. Basicamente foram realizadas medições angulares: horizontais e verticais e medições lineares inclinadas com o emprego de uma Estação Total. Também foram realizadas medições lineares verticais e horizontais com o emprego de um Nível Digital (cf. capítulo 5).

Neste contexto, faz-se necessário o conhecimento e a aplicação de conceitos matemáticos relacionados aos métodos topográficos/geodésicos empregados. Esta dissertação contempla a aplicação de métodos topográficos/geodésicos de determinação de coordenadas, tais como:

poligonação fechada, interseção a vante, interseção a ré e nivelamento trigonométrico de visadas unilaterais a curtas distâncias, levantamento planialtimétrico a partir de três distâncias e três pontos conhecidos.

Quadro 1 – Métodos topográficos/geodésicos e suas Soluções Matemáticas.

Método Topográfico/Geodésico	Solução Matemática
Poligonação com Centragem Forçada	São medidos os ângulos entre alinhamentos consecutivos e as distâncias entre os vértices vizinhos, assim determina-se as coordenadas retangulares de seus vértices.
Interseção a Ré	Baseia-se na interseção de pelo menos duas linhas retas. Usa-se a trigonometria na resolução.
Interseção a Vante	Utiliza de métodos trigonométricos para a determinação das coordenadas.
Transformação de Similaridades entre Coordenadas	Expressa a relação entre dois sistemas de coordenadas por meio de duas translações e uma rotação e fator de escala. Utiliza conceitos da álgebra linear.
Método dos Mínimos Quadrados	Consiste em minimizar a soma dos quadrados dos resíduos.
Levantamento Planialtimétrico a partir de Três Distâncias e Três Pontos Conhecidos	Baseia-se na determinação de um ponto inacessível a partir de três pontos de coordenadas e distâncias conhecidas. Utiliza conceitos da Geometria e Trigonometria.
Nivelamento Trigonométrico	Baseia-se na resolução de triângulo retângulo do qual se conhece um dos catetos (distância horizontal) e se procura determinar o outro cateto (diferença de nível).
Nivelamento Geométrico	Baseia-se na determinação das interseções de um plano com uma série de visadas verticais.

3.1 Poligonação Fechada com Centragem Forçada

A poligonação é um método muito empregado para a determinação de coordenadas de pontos, principalmente para a definição de pontos de referência planimétrica. Uma poligonal fechada é definida por uma série de linhas consecutivas não colineares que se fecham. Das linhas consecutivas são conhecidos os comprimentos e as direções, obtidos através de medições em campo com emprego de uma Estação Total. O levantamento de uma poligonal é realizado através do método de caminhamento do

polígono, medindo-se todos os ângulos (internos ou externos) do polígono e respectivos lados. A partir destes dados, das coordenadas conhecidas de um vértice do polígono e de uma orientação inicial é possível calcular as coordenadas de todos os vértices da poligonal. A Figura 7 ilustra a poligonal implantada na área teste 2 (cf. item 5.2.2.1).

Figura 7 – Esboço em vista aérea da Poligonal Fechada, Área teste 2- Campus Recife-UFPE.



FONTE: Adaptada GOOGLE Earth, acessado em Julho 2012.

Segundo JORDAN (1994) as poligonais são classificadas em três tipos:

Aberta: são conhecidas somente as coordenadas do vértice de partida;

Fechada: são conhecidas as coordenadas dos vértices de partida e de chegada, pois são os mesmos vértices;

Enquadrada: são conhecidas as coordenadas dos vértices de partida e de chegada, sendo diferentes.

A aplicabilidade do método da poligonação é regulamentada pela norma NBR 13.133/94. Esta norma orienta a execução de levantamento topográfico. Em seu item 6.5.1, p.18, que trata do ajustamento de poligonais e o estabelecimento de tolerâncias para o seu fechamento considera três tipos de poligonais: poligonais apoiadas e fechadas numa só direção e num só ponto (tipo 1); poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento curvo (tipo 2); e poligonais apoiadas e

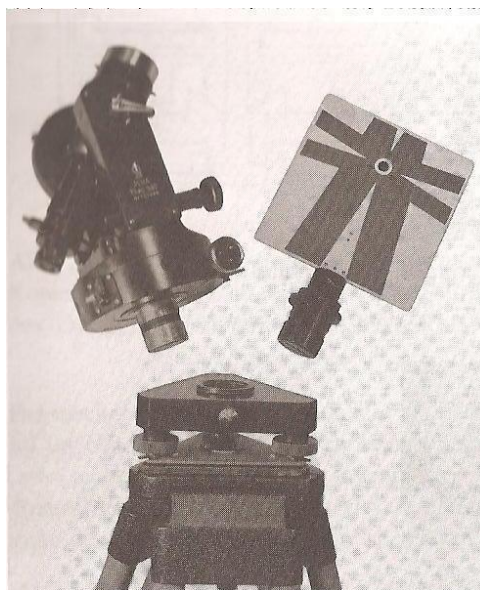
fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento retilíneo (tipo 3). Estes três tipos de poligonal permitem a verificação de erros de fechamento angular e linear.

Nesta dissertação foram realizadas poligonais do tipo 1 (cf. capítulo 5).

Para obter uma melhor qualidade as poligonais devem ser implantadas e definidas com emprego do método da centragem forçada. Os diferentes tipos de centragem forçada podem ser vistos em (KAHMEN, 1997). Segundo este autor, a centragem forçada garante uma centragem, a qual não deve se modificar durante o procedimento de medição, de modo que, durante as medições de poligonação, o taqueômetro ou Estação Total, distanciômetros, prismas e sinalizadores de alvos possam ser trocados um com o outro. O tripé centrado e respectiva base nivelante permanecem fixos sobre o vértice topográfico até que as medições sejam finalizadas, garantindo assim, uma precisão de centragem de 0,03 a 0,1mm.

As Figuras 8 e 9 apresentam dois tipos de sistemas de encaixe entre a alidade do equipamento e o sistema base-prisma. Na Figura 25 tem-se um sistema de centragem forçada com um encaixe e conexão cilíndrica com a base nivelante (patente da Firma Zeiss).

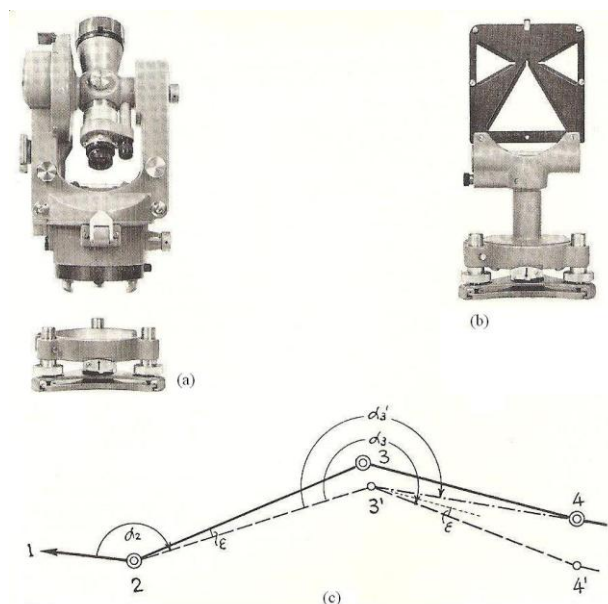
Figura 8 – Componentes da Centragem forçada. Fabricante Zeiss.



FONTE: KAHMEN (1997).

Na Figura 9 tem-se um sistema de centragem forçada com um encaixe e conexão em três orifícios (cavidades) com a base nivelante (patente da antiga Firma Wild, atualmente Leica).

Figura 9 – Componentes da Centragem forçada. Fabricante Leica.



FONTE: WILD HEERBRUG Ltda (1980).

Nesta dissertação o encaixe e a conexão com a base nivelante realizada pela Estação Total empregada são semelhante à patente da Firma Zeiss apresentada na Figura 9.

Para a realização da centragem forçada em campo a composição mínima de equipamentos e acessórios é a seguinte: três tripés, um instrumento de medição, dois prismas, duas bases nivelantes e dois adaptadores base-prisma.

Isto permite, por exemplo, que um triângulo, caso do experimento da área teste 1 (cf. capítulo 5), seja materializado com três tripés de uma vez só. Sem precisar fazer um planejamento para verificar os deslocamentos dos materiais ao longo de uma poligonal, caso mais comum, quando o número de vértices é maior do que três. Esta última aplicada na área teste 2- Campus Recife-UFPE.

A Figura 9 mostra como um erro angular ε cometido no vértice 2 poderá se propagar para um vértice 3' com o ângulo horizontal α_3 , onde não é utilizado o procedimento de centragem forçada, e como essa mesma grandeza de erro poderá no vértice 3' repercutir no erro posicional em um vértice 4'. Caso seja utilizado o procedimento de centragem forçada com tripés nos vértices 2, 3 e 4 ao mesmo tempo, durante a medição no vértice 3 é possível diminuir o erro angular e medir o ângulo horizontal correspondente na Figura 9 ao ângulo $\alpha_{3'}$, trazendo o lado da poligonal corretamente de volta para o vértice topográfico 4 (WILD HEERBRUG Ltda, 1980). Só para exemplificar, uma medição angular de 1 segundo a uma distância de 100m corresponde a uma distância transversal de 0,5mm.

Os procedimentos de cálculos para determinação das coordenadas de uma poligonal podem ser realizados pelo método tradicional e pelo Método dos Mínimos Quadrados.

a) Método Tradicional:

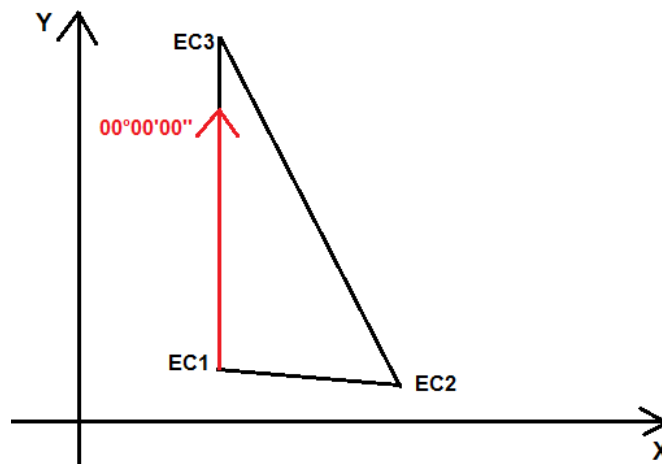
No método tradicional o erro de fechamento angular é obtido da seguinte forma, para os ângulos internos $\sum \alpha_i = (n - 2)180^\circ$ e para os ângulos externos $\sum \alpha_i = (n + 2)180^\circ$, onde n é igual ao número de vértices da poligonal.

E o erro de fechamento linear é obtido através da seguinte fórmula, $EFL = \sqrt{(\sum \Delta X^2 + \sum \Delta Y^2)}$, onde ΔX é a projeção de um lado da poligonal no eixo X e ΔY é a projeção de um lado da poligonal no eixo Y. As etapas que precisam ser obedecidas para o cálculo da poligonação são (ERBA, 2005):

- ✓ Determinação da orientação da poligonal;
- ✓ Cálculo do erro de fechamento angular;
- ✓ Distribuição do erro de fechamento angular;
- ✓ Cálculo das coordenadas parciais (X, Y);
- ✓ Cálculo do erro de fechamento linear;
- ✓ Cálculo das coordenadas finais (XF, YF).

As projeções planas ΔX e ΔY são obtidas em função da distância entre os vértices de um alinhamento e o azimuth deste mesmo alinhamento. A Figura 10 mostra os vértices implantados e calculados pelo método da poligonização na área teste 1- Bairro de Casa Amarela (cf. capítulo 5), onde o azimuth inicial foi determinado pelo alinhamento EC1 para EC3, ilustração da Figura 10.

Figura 10 – Método da Poligonização.



b) Método dos Mínimos Quadrados

No Método dos Mínimos Quadrados os procedimentos de ajustamento da poligonal são dados por (GEMAEL, 2004; ESPARTEL, 1980):

$$L_a = F(X_a) \quad (01)$$

Onde:

$$L_a \rightarrow \text{Vetor das observações ajustadas, } L_a = L_b + V \quad (02)$$

$$X_a \rightarrow \text{Vetor dos parâmetros ajustados, } X_a = X_0 + X \quad (03)$$

Obtém-se o vetor dos resíduos, que é o modelo matemático linearizado do Método dos Mínimos Quadrados-Modelo Paramétrico:

$$V = A.X + L \quad (04)$$

A matriz variância-covariância;

$$\sum X_a = \sum X = \sigma_0^2 N^{-1} \quad (05)$$

Depois de concluído o ajustamento, aplica-se uma comparação entre a variância *a priori* (σ_0^2) e a variância *a posteriori* (σ_0^2). Neste caso o teste baseia-se na distribuição de χ^2 . Para a poligonal da área teste 1 que ao nível de significância de 5%, a hipótese nula H_0 não é rejeitada para as observações ponderadas provenientes do cálculo.

Nesta dissertação foi utilizado o programa Excel versão 2007, para o processamento dos dados pelo método tradicional e o programa AstGeoTop versão 2013 para o ajustamento da poligonal pelo MMQ-Modelo Paramétrico (cf. capítulo 5).

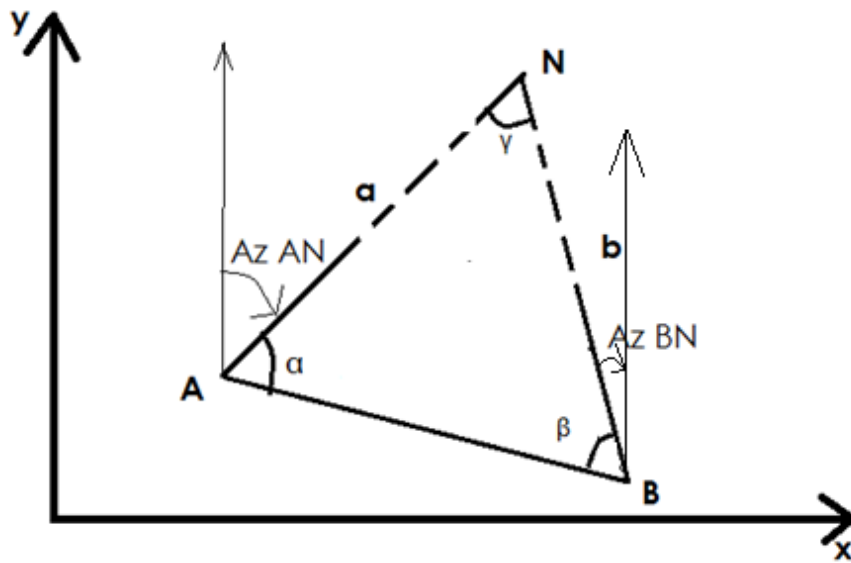
3.2 Interseção a Vante

O método de interseção a vante é recomendado em casos como, por exemplo, quando os pontos-objeto não são de fácil acesso fazendo necessária a utilização de métodos trigonométricos para determiná-los (SILVA et al., 2006).

No contexto de edificações prediais de grande porte à aplicação do método de interseção a vante tem sua utilidade na definição de pontos-objeto distribuídos na fachada da edificação predial. Utiliza-se este método, por exemplo, no método da prumagem plana (cf. item 4.2.).

As coordenadas do ponto N (Figura 11) são obtidas a partir de coordenadas dos vértices A e B conhecidos. A Figura 10 ilustra o método de interseção a vante com os dois ângulos α e β observados.

Figura 11 – Método da Interseção a vante.



A formulação matemática do método da interseção a vante é dada pelas seguintes equações (ERBA et al., 2005):

$$Y_N = \frac{(X_A - Y_A \cdot \text{Tg}(Az_{AN})) - (X_B - Y_B \cdot \text{Tg}(Az_{BN}))}{\text{Tg}(Az_{BN}) - \text{Tg}(Az_{AN})} \quad (05)$$

$$X_N = X_A + (Y_N - Y_A) \cdot \text{Tg}(Az_{AN}) \quad (06)$$

Controle:

$$X_N = X_B + (Y_N - Y_B) \cdot \text{Tg}(Az_{BN}) \quad (07)$$

Sendo que:

Az_{AN} = Azimute do vértice A para o ponto N (ponto inacessível);

Az_{BN} = Azimute do vértice B para o ponto N;

X_A = Coordenada x do vértice A;

Y_A = Coordenada y do vértice A;

X_B = Coordenada x do vértice B;

Y_B = Coordenada y do vértice B.

Portanto, encontra-se primeiramente a coordenada Y do vértice N , depois a coordenada X do vértice N , podendo-se fazer o controle da coordenada X .

A precisão do método da Interseção a Vante depende de fatores, como a medição da direção e geometria do triângulo formado entre os pontos A , B e N (Figura 11). O desvio padrão da posição do ponto é utilizado para expressar a qualidade de sua determinação. A precisão do ponto N é estimada com a ajuda do desvio padrão do azimuth σ_0 e pode ser calculado pela equação (KAHMEN, 2004; FAIG, 1998):

$$\gamma = \frac{1}{\sin \gamma} \cdot \sigma_0 \sqrt{a^2 + b^2} \quad (08)$$

Onde:

a e b são os lados do triângulo;

γ é o ângulo formado no ponto N para os vértices A e B ;

É assumido neste caso que o desvio padrão σ_0 é o mesmo do azimuth, e que as coordenadas dos pontos fixos A e B estão livres de erro. σ_N assume um valor mínimo para $\gamma = 109^\circ$. Para $\gamma = 0^\circ$ ou 180° o problema é indeterminado (KAHMEN, 2004; FAIG, 1988).

Nesta dissertação foi utilizado o programa Excel versão 2007 para o processamento dos dados pelo método de interseção a vante e determinação das coordenadas dos pontos-objeto localizados na edificação (Figura 4 Capítulo 2). As coordenadas foram ajustadas utilizando-se o Método dos Mínimos Quadrados- Modelo Paramétricas descritas em (Souza, 2012). Seguindo-se do controle de qualidade do método. O ajustamento e o controle de qualidade do método de interseção a vante 2D está descrito no anexo 1 desta dissertação, conforme visto em (BARBOSA, 2012).

3.3 Interseção a Ré

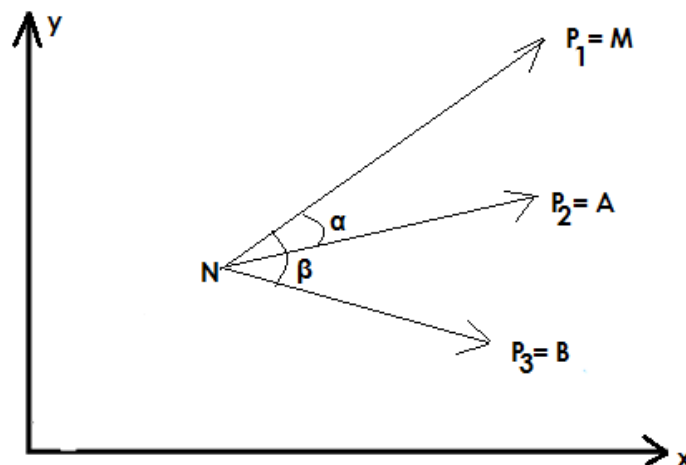
Nesta dissertação utilizou-se o método de interseção a ré para a densificação do campo de pontos de referência da área teste 1- Bairro de Casa Amarela (Capítulo 5).

3.3.1 Por Meio de Medições Angulares

O método da interseção a ré realizada por meio de medições angulares consiste na determinação das coordenadas X e Y que definem a posição planimétrica de pontos, mediante observações de ângulos feitas destes pontos a no mínimo três pontos geodésicos com coordenadas conhecidas (PENÃ, 2002).

A posição do vértice N (Figura 12) é determinada pela medição de dois ângulos α e β no vértice N para os vértices P_1, P_2 e P_3 .

Figura 12 – Método da Interseção a Ré.



O instrumento deve ser instalado em um vértice, onde convenientemente exista uma excelente visibilidade para todo trabalho. Conforme pode ser observado na Figura 12, no caso mais geral de interseção a ré, é disponibilizados os vértices P_1, P_2 e P_3 com coordenadas conhecidas e o objetivo é determinar a posição do vértice N, onde o instrumento foi instalado.

Dessa forma, o vértice N será determinado pela interseção dos arcos de circunferência obtidos a partir das distâncias entre o vértice N (desconhecido) para os demais vértices P_1, P_2 e P_3 (conhecidos).

Em (KAHMEN, 2004; FAIG, 1988) este método é solucionado a partir da interseção de três retas inicialmente em um sistema local.

A formulação matemática para este método será descrito abaixo:

$$\tan N = \frac{Y'B - X'b \cdot \cotg \beta - Y'A + X'a \cdot \cotg \alpha}{Y'A \cdot \cotg \alpha + X'a - Y'B \cdot \cotg \beta - X'B} \quad (09)$$

$$Y'N = \frac{\tan N \cdot (Y'B \cdot \cotg \beta + X'B) + Y'B - X'B \cdot \cotg \beta}{1 + (\tan N)^2} \quad (10)$$

Controle:

$$Y'N = \frac{\tan N \cdot (Y'A \cdot \cotg \alpha + X'A) + Y'A - X'A \cdot \cotg \alpha}{1 + (\tan N)^2} \quad (11)$$

$$X'N = Y'N \cdot \tan N \quad (12)$$

Onde as coordenadas do ponto N são iguais a:

$$X_p = X'N + X_{P_1} \quad (13)$$

$$Y_p = Y'N + Y_{P_1} \quad (14)$$

As coordenadas determinadas por este método foi adaptada para o método de Interseção a Vante, com o objetivo de utilizar o mesmo programa que foi feito para o ajustamento realizado pelo Método dos Mínimos Quadrados (cf. apêndice 1).

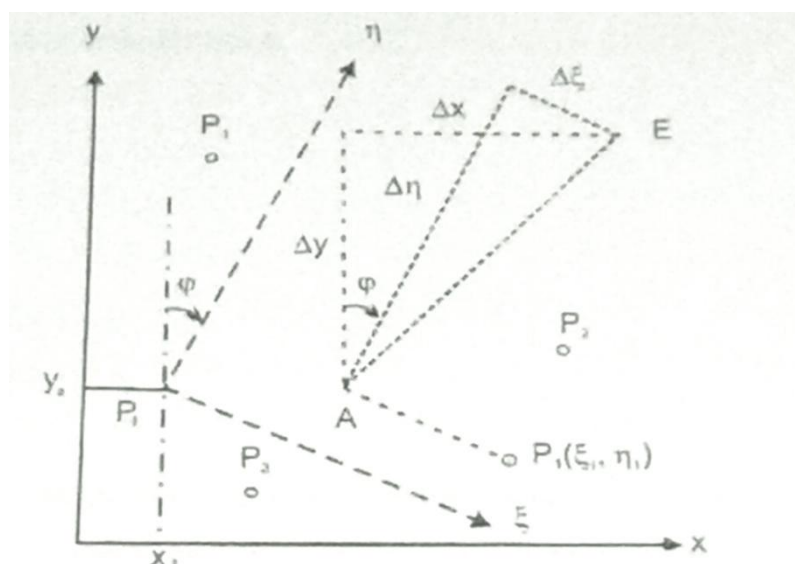
3.3.2 Por Meio de Medições Angulares e Lineares: Método de Transformação de Similaridade entre Coordenadas

Este método de transformação no modelo plano conforme (KAHMEN 2004; FAIG, 1988), expressa a relação entre dois sistemas de coordenadas, tal relação é dada por duas translações ou deslocamentos em ambas as

direções x_0 e y_0 , uma rotação segundo um ângulo φ e um fator de escala (q), que relacione os dois sistemas (sistema da máquina: Estação Total e o sistema arbitrado em campo).

A Transformação de Similaridade requer no mínimo dois pontos de controle identificáveis e bem distribuídos comuns em ambos os sistemas. Nas situações onde são disponibilizados mais de dois pontos de controle um ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados é possível (KAHMEN 2005) e esta transformação passa a ser denominada de Transformação de Similaridade de Helmert. A Figura 13 representa os elementos da transformação de similaridade no caso bidimensional. Os pontos idênticos nos dois sistemas são (A e E) e os pontos a serem transformados são (P_0, P_1, P_2, P_3 e P_i). A Figura também representa dois sistemas: Sistema Superior (X,Y) e Sistema Local ($\xi\eta$). Para interligar o conjunto de campo de pontos obtidos por medição terrestres com o conjunto de pontos obtidos por Estação Total é necessário a determinação dos parâmetros de transformação, os quais são definidos pela transformação de coordenadas por similaridade.

Figura 13 – Método de Transformação de Similaridade entre Coordenadas.



A formulação matemática deste método está disponível em (KAHMEN 2004; FAIG 1988) e esta representada nesta dissertação:

$$dAE = \sqrt{(\Delta x_{AE})^2 + (\Delta y_{AE})^2} \quad (15)$$

$$d'AE = \sqrt{(\Delta x_{\xi AE})^2 + (\Delta y_{\eta AE})^2}, \quad (16)$$

Onde o fator de escala é dado por:

$$q = \frac{dAE}{d'AE} \quad (17)$$

E o ângulo de orientação do sistema do equipamento é dado por:

$$\varphi = AzAE - \theta AE$$

A matriz de rotação ortogonal é dada por:

$$i = (\cos\varphi - \sin\varphi) \dots \dots \dots (18)$$

$$j = (\sin\varphi \cos\varphi) \quad (19)$$

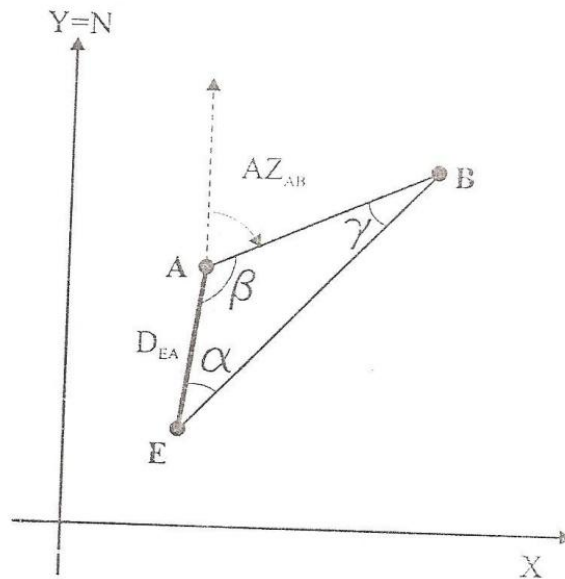
As coordenadas determinadas por este método foi adaptada para o método de Interseção a Vante, com o objetivo de utilizar o mesmo programa que foi feito para o ajustamento realizado pelo Método dos Mínimos Quadrados.

3.3.3 Por Meio de Medições Angulares e Lineares: Método da Estação Livre

O método da estação livre é empregado quando se deseja determinar as coordenadas do vértice topográfico sob o qual uma Estação Total ou taqueômetro eletrônico está instalado. Para isso é necessário que sejam medidos dois pontos de coordenadas conhecidas.

A Figura 14 apresenta os elementos geométricos dados (as coordenadas dos vértices topográficos A e B), medidos em campo (o ângulo α e a distância reduzida ao horizonte D_{EA} , obtida através da distância inclinada medida e do ângulo vertical medido) e os elementos procurados (as coordenadas planimétricas do vértice topográfico E). A partir das equações (20) e (21) determinam-se as coordenadas do vértice E.

Figura 14 – Método da Estação Livre.



FONTE: ERBA et al. (2005).

$$X_E = X_A + D_{EA} \cdot \sin(AZ_{AE}) \quad (20)$$

$$Y_E = Y_A + D_{EA} \cdot \cos(AZ_{AE}) \quad (21)$$

Este Método denominado de Estação Livre é usado quando se deseja obter a posição planimétrica de um ponto em relação a uma rede convenientemente materializada no terreno. É de uso frequente nas determinações dos vértices ocupados pelas estações totais para o levantamento de detalhes. Este método foi realizado em campo para a determinação de vértices denominados “EL’S” (capítulo 5).

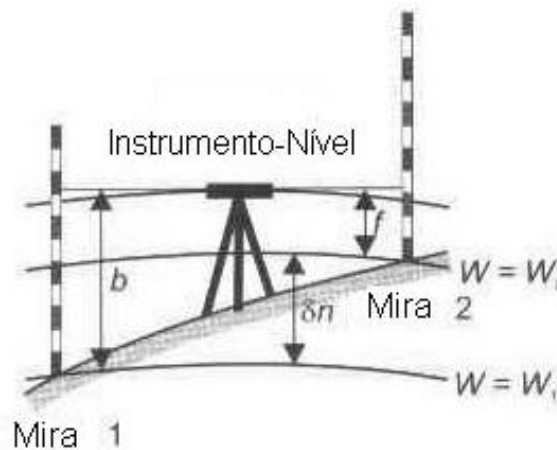
As coordenadas determinadas por este método foi adaptada para o método de Interseção a Vante, com o objetivo de utilizar o mesmo programa que foi feito para o ajustamento realizado pelo Método dos Mínimos Quadrados.

3.4 Nivelamento Geométrico

O nivelamento geométrico tem a finalidade de determinar desníveis entre pontos a partir das leituras de miras ré e vante.

A diferença de nível, ou desnível δn , obtém-se subtraindo, em um lance, a leitura da mira de ré (mira 1) pela leitura da mira de vante (mira 2). Neste método empregam-se níveis de luneta. Conforme ilustrado na Figura 15 que segue.

Figura 15 – Esquema do Nivelamento Geométrico.



FONTE: TORGE, W. (2003).

Através deste método as leituras podem ser transportadas sucessivamente de um ponto para outro, o que se denomina de nivelamento geométrico composto, ou seja, parte-se de um ponto de altitude conhecida e determina-se o desnível até o próximo ponto, obtendo assim, a altitude deste (JORDAN, 1994).

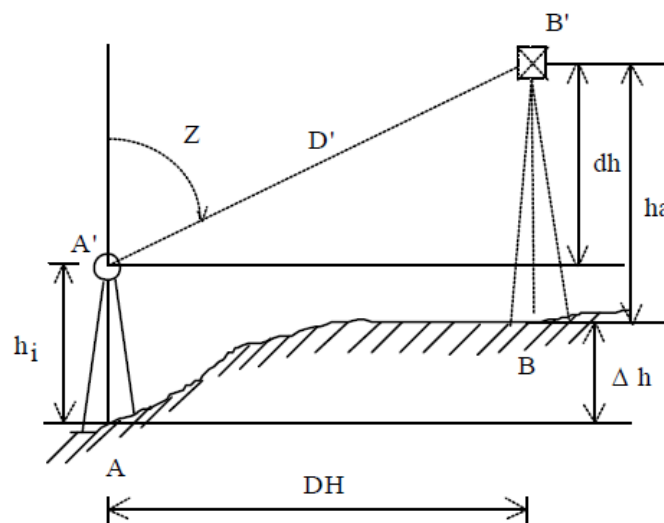
Os resultados no nivelamento geométrico estão sujeitos a erros sistemáticos e aleatórios. Os sistemáticos consistem em erros provocados pela curvatura da Terra, refração atmosférica e descalibração do instrumento na etapa de campo e seus efeitos podem ser modelados, corrigidos computacionalmente ou minimizados seguindo alguns procedimentos de campo, como por exemplo, a equidistância entre as miras. Para Wolf e Ghilani (1997) os erros aleatórios, no processo de medição ocorrem devido à horizontalização do nível, verticalização da mira, leitura dos fios stadimétricos projetadas na graduação da mira e acuidade visual do operador.

Nesta dissertação o método de nivelamento geométrico foi utilizado para a definição de um campo de pontos de referência altimétrica na área teste 2. Estes serviram de controle altimétrico para os experimentos realizados com a estação total e o método do nivelamento trigonométrico (capítulo 5). O método do nivelamento geométrico foi realizado com o emprego de nível digital de altíssima precisão e mira de invar.

3.5 Nivelamento Trigonométrico

No método do nivelamento trigonométrico as diferenças de nível são determinadas pela resolução de triângulos retângulos. Medindo-se a distância D' e o ângulo zenital (Z), determina-se dh através da resolução do triângulo retângulo (Figura 16).

Figura 16 – Esquema do Nivelamento Trigonométrico.



FONTE: TORGE, W. (2003).

Sendo que:

$$dh = \cos(Z) \cdot DH \quad (22)$$

$$dh = \cotg(Z) \cdot DH \quad (23)$$

O desnível Δh entre os pontos A e B será calculado a partir da cota do ponto do ponto A conhecida, das alturas do instrumento e do prisma medidas.

$$dh = Cot.Inc. + hi - ha + \Delta h \quad (24)$$

O nivelamento trigonométrico substitui o nivelamento geométrico, quando se deseja determinar áreas extensas e onde existem grandes desníveis ou ainda quando é necessário nivelar diversas linhas de visadas em diferentes direções (GOMES et al., 2007).

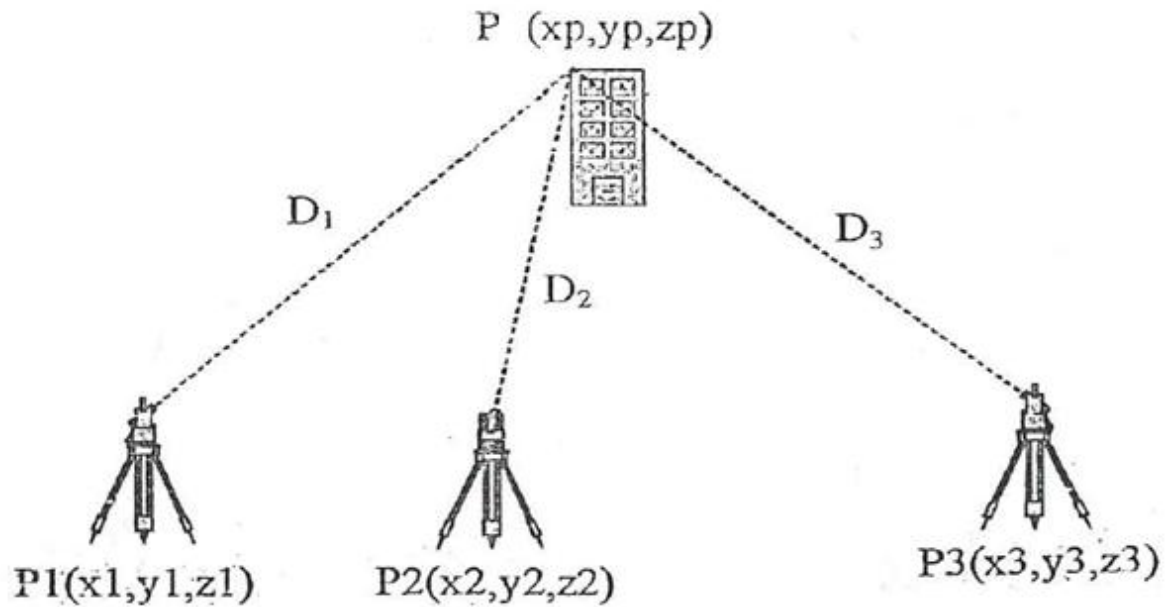
Este método foi utilizado para determinar a cota dos pontos-objeto distribuídos no entorno do pilar 8 da edificação, da área teste 1.

Obteve-se a cota dos pontos-objetos depois que foi realizado o cálculo das coordenadas dos pontos de referência pelos métodos que foram descritos nos itens anteriores. Portanto, com as cotas dos vértices de referência (EC1, EC2 e EC3) e as coordenadas planimétricas das quinas/hastes pôde-se determinar as cotas destas pelo método do nivelamento trigonométrico (capítulo 5).

3.6 Levantamento Planialtimétrico a partir de Três Distâncias e Três Pontos Conhecidos

A determinação das coordenadas 3D de um ponto alto e inacessível pode ser calculada a partir de três pontos P_1, P_2 e P_3 e de suas respectivas distâncias ao ponto desconhecido P. Conforme pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 – Método Planialtimétrico a partir de Três Distâncias e Três Pontos Conhecidos.



FONTE: Erba, et al., 2005.

Nesta dissertação as distâncias inclinadas entre as estações totais e as hastes materializadas na edificação foram calculadas a partir dos resultados obtidos das coordenadas calculadas pelo método planimétrico de interseção a vante (cf. item 3.2) e das observações dos respectivos ângulos verticais. Cujas distâncias até o ponto desconhecido (haste da edificação) neste caso não foram medidas em campo, mas as mesmas foram calculadas através de relações trigonométricas.

Este método planialtimétrico de determinação de coordenadas está descrito em (ERBA et al., 2005) a partir de três distâncias inclinadas medidas em campo. Inicialmente, estabelecem-se as seguintes relações matemáticas; as quais definem um sistema de três equações e três incógnitas.

$$D_1 = \sqrt{(xp - x1)^2 + (yp - y1)^2 + (zp - z1)^2} \quad (25)$$

$$D_2 = \sqrt{(xp - x2)^2 + (yp - y2)^2 + (zp - z2)^2} \quad (26)$$

$$D_3 = \sqrt{(xp - x3)^2 + (yp - y3)^2 + (zp - z3)^2} \quad (27)$$

As equações 25, 26 e 27 não são lineares e por isso precisam ser transformadas em equações do primeiro grau, para que o sistema de equações lineares possa ser resolvido.

A linearização das equações é realizada a partir do desenvolvimento em série de Taylor (GEMAEL, 1994).

Assim,

$$D_i = f_i(xp, yp, zp) = f_i(xp_0, yp_0, zp_0) + \frac{\delta f_i(xp_0, yp_0, zp_0)}{\delta xp_0} \cdot \Delta x + \dots + \frac{\delta f_i(xp_0, yp_0, zp_0)}{\delta yp_0} \cdot \Delta y + \frac{\delta f_i(xp_0, yp_0, zp_0)}{\delta zp_0} \cdot \Delta z \quad (28)$$

Onde:

$x_{p_0}, y_{p_0}, z_{p_0}$ são as coordenadas aproximadas para o ponto P escolhido convenientemente.

Calculando-se os termos desta equação para cada ponto (ERBA et al., 2005), tem-se:

$$f_1 = (xp_0, yp_0, zp_0) = \sqrt{(xp_0 - x1)^2 + (yp_0 - y1)^2 + (zp_0 - z1)^2} = a1 \quad (29)$$

$$f_2 = (xp_0, yp_0, zp_0) = \sqrt{(xp_0 - x2)^2 + (yp_0 - y2)^2 + (zp_0 - z2)^2} = a2 \quad (30)$$

$$f_3 = (xp_0, yp_0, zp_0) = \sqrt{(xp_0 - x3)^2 + (yp_0 - y3)^2 + (zp_0 - z3)^2} = a3 \quad (31)$$

$$\frac{\delta f_1(xp_0, yp_0, zp_0)}{\delta xp_0} + \frac{x1 - xp_0}{a1} = b1 \quad (32)$$

$$\frac{\delta f_2(xp_0, yp_0, zp_0)}{\delta xp_0} + \frac{x2 - xp_0}{a2} = b2 \quad (33)$$

$$\frac{\delta f_3(xp_0, yp_0, zp_0)}{\delta xp_0} + \frac{x3 - xp_0}{a3} = b3 \quad (34)$$

$$\frac{\delta f_1(xp_0, yp_0, zp_0)}{\delta yp_0} + \frac{y1 - yp_0}{a1} = c1 \quad (35)$$

$$\frac{\delta f_2(xp_0, yp_0, zp_0)}{\delta yp_0} + \frac{y2 - yp_0}{a2} = c2 \quad (36)$$

$$\frac{\delta f_3(xp_0, yp_0, zp_0)}{\delta yp_0} + \frac{y3 - yp_0}{a3} = c3 \quad (37)$$

$$\frac{\delta f_1(xp_0, yp_0, zp_0)}{\delta zp_0} + \frac{z1 - zp_0}{a1} = d1 \quad (38)$$

$$\frac{\delta f_2(xp_0, yp_0, zp_0)}{\delta zp_0} + \frac{z2 - zp_0}{a2} = d2 \quad (39)$$

$$\frac{\delta f_3(xp_0, yp_0, zp_0)}{\delta zp_0} + \frac{z3 - zp_0}{a3} = d3 \quad (40)$$

Calculados os valores de todos os elementos, descreve-se o sistema linear de três equações para três incógnitas $[\Delta x, \Delta y, \Delta z]$:

$$D_1 = a_1 + b_1 \cdot \Delta x + c_1 \cdot \Delta y + d_1 \cdot \Delta z \quad (41)$$

$$D_2 = a_2 + b_2 \cdot \Delta x + c_2 \cdot \Delta y + d_2 \cdot \Delta z \quad (42)$$

$$D_3 = a_3 + b_3 \cdot \Delta x + c_3 \cdot \Delta y + d_3 \cdot \Delta z \quad (43)$$

Resolvido o sistema linear de três equações, calculam-se os valores de x_p, y_p e z_p por meio das equações 48, 49 e 50.

$$x_p = x_{p_0} + \Delta x \quad (44)$$

$$y_p = y_{p_0} + \Delta y \quad (45)$$

$$z_p = z_{p_0} + \Delta z \quad (46)$$

Determinando assim, as coordenadas planialtimétricas do ponto P.

4. MÉTODOS DE PRUMAGEM

Neste capítulo serão apresentados o conceito de linha de prumo e os diferentes métodos de prumagem: prumagem plana e prumagem linear. A prumagem linear está subdividida em prumagem óptica, prumagem mecânica a pêndulo, prumagem por meio de flutuadores e prumagem a LASER. Durante os experimentos realizados na área teste 1 (capítulo 5) foi possível observar em uma visita técnica o método de prumagem com o emprego de trenas, prumos de centro e fio a “nylon” e par de esquadros.

4.1 Linha de Prumo

O procedimento de prumagem é entendido como a verificação da variação e/ou deslocamento de pontos da fachada, ou estrutura predial, com respeito a uma linha vertical (linha de prumo) ou plano vertical (plano de prumo) e como a transferência vertical de um ponto sobre a linha de prumo. Esta linha está dirigida para o centro de gravidade da Terra. O método de prumagem destina-se a determinação de um gráfico de curva de inclinação vertical, denominado em alemão de “Biegelinie” (MOESER et al., 2000).

Segundo o mesmo autor existem duas possibilidades de se obter a linha de prumo. A primeira é gerada diretamente, utilizando instrumentação mecânica ou óptica e a segunda é gerada indiretamente, por meio da interseção de dois planos verticais, utilizando instrumentação óptica a base de teodolitos.

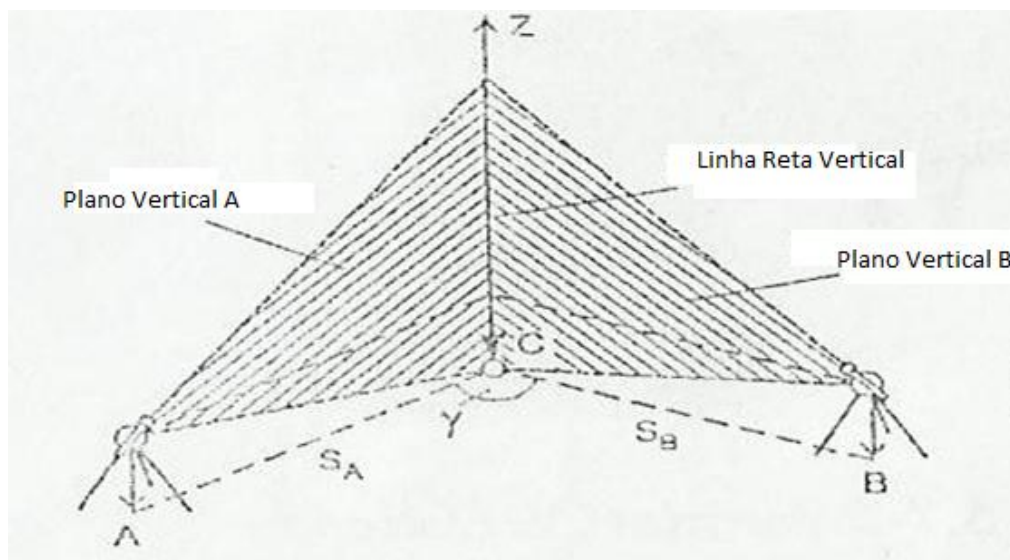
O princípio básico da linha de prumo também é utilizado na instrumentalização relacionada à centragem de equipamentos topográficos, por exemplo, nível e teodolito. O fio de prumo representa a linha de prumo. Em sua extremidade possui um peso pontudo e cônico, de latão ou bronze, usado suspenso sobre o vértice topográfico (U. S. Navy, 2005).

4.2 Prumagem Plana

O método da prumagem plana está diretamente interligado com o método da interseção a vante, que consiste em determinar as coordenadas de um ponto P, que na maioria das vezes é inacessível, através de dois pontos de coordenadas conhecidas A e B (cf. item 3.2).

A Figura 18 traz um exemplo de prumagem plana com emprego de teodolitos e a determinação do ponto C. A linha reta vertical Z representa a linha de prumo formado pelos planos verticais A e B (MOESER et al., 2000).

Figura 18 – Prumagem Plana com emprego de teodolitos.



FONTE: MÖSER et al., (2000).

A prumagem plana é realizada por meio de dois planos ópticos verticais estendidos por teodolitos a partir de dois pontos de estação A e B, de coordenadas conhecidas de modo que esses planos se interceptem aproximadamente perpendicularmente (Figura 18). A partir das coordenadas conhecidas e das observações angulares realizadas para o ponto-objeto C é possível determinar suas coordenadas.

O método da prumagem plana, que é uma prumagem de alta precisão, é exigido na construção de objetos de grande porte vertical, como edifícios de grande porte (prédios de moradia e comercial, torres de

comunicação, torres eólicas, guindastes, pilares de pontes), sendo também muito empregado em construções subterrâneas e de minas (ARAÚJO et al., 2011). Este método é o que mais se aproxima com o método realizado na área teste 1- Bairro de Casa Amarela, na ocasião foi realizado o método de interseção a vante para a determinação das coordenadas dos pontos-objeto discretizados ao longo da edificação predial de grande porte, pontos estes localizados nas quinas e hastes metálicas (capítulo 5).

Segundo Möser et al. (2000) a precisão da prumagem plana é determinada através dos desvios padrão transversais σ_A e σ_B nos pontos de estação A e B, de modo que esses planos interceptam perpendicularmente. O desvio padrão é dado por:

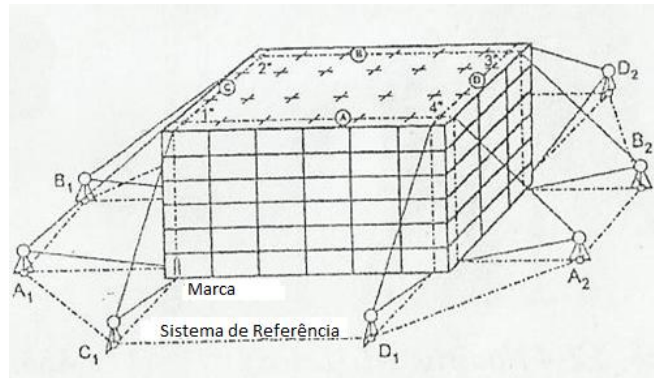
$$\sigma_L = \sigma_P = \sqrt{\sigma_{qA}^2 + \sigma_{qB}^2} \quad (47)$$

Na precisão da prumagem σ_L os desvios padrão transversais são definidos cada um pelos seguintes desvios padrão: centragem σ_z , colimação σ_A , inclinação do eixo principal ν , sinalização σ_e e materialização do alvo σ_M . Para uma distância de 30m entre o teodolito e o alvo, uma altitude de 20m e os seguintes valores para os desvios padrão citados anteriormente de $\sigma_z \leq 0,5mm$, $\sigma_\nu \leq 0,6''$, $\nu = 10''$, $\sigma_M \leq 1mm$, $\sigma_e \leq 0,5mm$, obtêm-se um valor de desvio padrão transversal de 1,5mm. Para atingir esse resultado é necessário medir nas duas posições da luneta e considerar que a medição esteja isenta da inclinação do eixo secundário. Considerando o mesmo resultado para a estação transversal e os mesmos valores acima, a precisão da prumagem, ou seja, o desvio-padrão de um ponto terá um valor de 2,1mm (MOESER et al., 2000).

Considerando uma edificação predial com quatro faces perpendiculares entre si, como mostradas na Figura 19, será necessária a definição de pelo menos quatro linhas de prumo. Sendo assim, os pontos de estação serão interligados entre si a partir de uma poligonal definida em um sistema de referência materializado na obra. Na Figura 19 esta poligonal está

representada pelos vértices, $(A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, D_1$ e $D_2)$. Isso permitirá também orientar os teodolitos sempre no mesmo sistema de referência definido na primeira leitura de campo e assim acompanhar a verticalização da obra (MOESER et al., 2000).

Figura 19 – Método da prumagem plana com emprego de teodolitos.

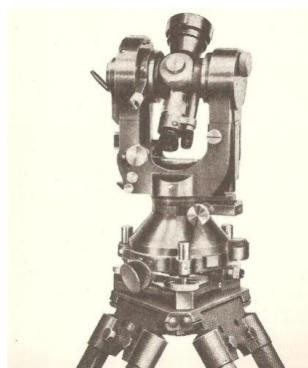


FONTE: MÖSER et al., (2000).

Quando na ocular de um dos teodolitos é acrescentado uma ocular a LASER, passa-se a ter um sistema de medição que realiza as medições por meio da triangulação ativa, por meio de um teodolito apontador e outro identificador (KAHMEN, 1997).

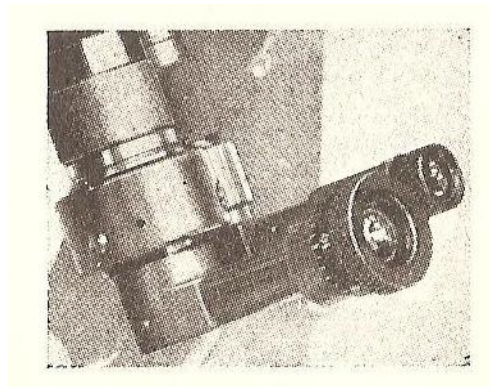
O teodolito universal Wild T2, Figura 20, possui um acessório denominado de ocular de cotovelo, Figura 21, que facilita nos casos onde pretende determinar um ponto-objeto de difícil acesso, no contexto desta dissertação uma quina/haste da edificação, que se encontra num ponto muito elevado. Este instrumento é usado para fazer as pontarias zenitais.

Figura 20 – Teodolito Wild T2.



FONTE: ESPARTEL 1980

Figura 21 – Ocular de Cotovelo.



FONTE: ESPARTEL. 1980.

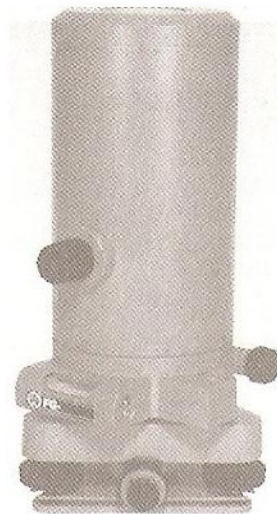
4.3 Prumagem Linear

4.3.1 Prumagem Óptica

Na prumagem óptica a linha de referência vertical (linha de prumo) é realizada através de uma linha de visada óptica. A linha de visada, dependendo da construção do equipamento, poderá ser centralizada (co-axial) ou excêntrica e poderá ser instalada na vertical por meio de nível de bolha, compensador ou nível de horizonte líquido (MOESER et al., 2000).

A Figura 22 e 23 ilustram exemplos de prumos ópticos utilizados na Construção Civil e também na Mineração.

Figura 22 – Prumo Zenital de precisão: FG-L 100 (FPM Holding GmbH, Freiberg).



FONTE: MOSER et al., (2000).

Figura 23 – Prumo Zenital ZL (Leica).



FONTE: MOSER et al., (2000).

A precisão desse método (MOESER et al., 2000). é calculado pelo desvio padrão:

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_l^2 + \sigma_z^2 + \sigma_M^2} \quad (48)$$

Onde, a precisão da prumagem σ_L é influenciada por três fatores: verticalização do instrumento σ_l , centragem σ_z e a materialização do alvo σ_M . Para uma altura de 1:100.000= 1mm, $\sigma_z \leq 0,5mm$, $\sigma_M \leq 3mm$, $\sigma_L = 1,2mm$, e para uma direção, coordenada aproximada então, $\sigma_x = 1,2 / \sqrt{2} = 0,8mm$.

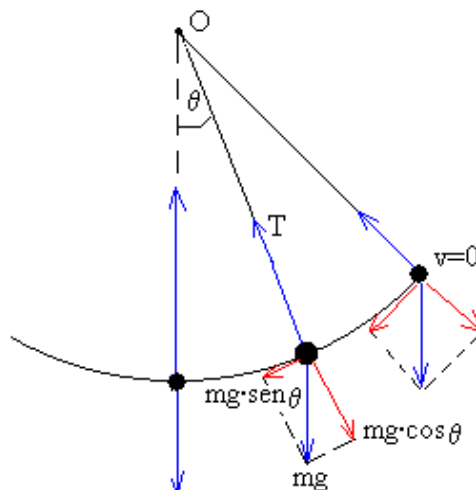
4.3.2 Prumagem Mecânica a Pêndulo

A prumagem mecânica a pêndulo é mais uma das ferramentas utilizadas na Construção Civil para verificação da verticalidade de uma edificação predial.

O pêndulo simples é um corpo ideal que consiste de uma massa puntiforme suspensa por um leve fio inextensível. Quando afastado de sua posição de equilíbrio e largado, o pêndulo oscilará em um plano vertical, sob a ação da gravidade.

A Figura 24 representa um pêndulo de comprimento l , sendo m a massa da partícula, o fio forma com a vertical o ângulo θ . As forças que atuam em m são mg , seu peso, e T , a tensão do fio.

Figura 24 – Forças que atuam em um pêndulo simples.



FONTE: www.sofisica.com.br, acessado em 28/08/2012.

Tem-se que,

$$F = -mg \sin \theta \quad (49)$$

Onde:

F = A força restauradora; mg = Seu peso e;

$\sin \theta$ = Inclinação ao longo do arco.

No contexto desta dissertação esse ângulo θ obrigatoriamente é o menor possível, em condições ideais o mesmo não existe. Esse ângulo θ pode determinar a verticalidade de uma edificação predial. Portanto, conclui-se que se houver um ângulo θ muito grande a edificação predial terá uma inclinação considerável.

Segundo ZOCOLOTTI FILHO. (2005), através da instalação de pêndulos e medidores triortogonais de junta, tem-se um controle quase completo dos deslocamentos verticais e horizontais em relação a pontos de referência instalados em profundidade na fundação. Não se trata de deslocamentos

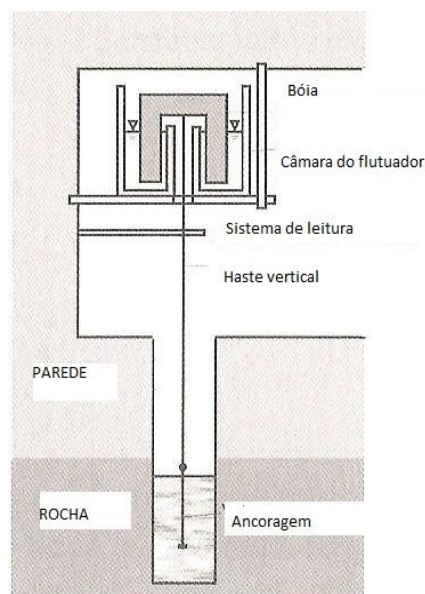
absolutos, visto que esses só podem ser obtidos através de técnicas geodésicas. Os pêndulos diretos possibilitam medir deslocamentos horizontais na crista e são instalados a partir de tubulações posicionadas verticalmente nas estruturas de barragem durante o período construtivo.

4.3.3 Prumagem Por Meio de Flutuadores

Segundo Möser et al. (2000) o prumo por flutuadores não pode ser mais hoje em dia desconsiderado no monitoramento de obras da Construção Civil, pois o uso deste método possibilita monitorar a qualidade das obras, que estão sendo executadas. A Figura 25 mostra o esquema do prumo flutuador. Quando o prumo por flutuadores é transferido para uma superfície à posição é estável para este ponto e ancorado em grandes profundidades. Na parte final da linha de prumo está ancorada a haste de prumo no ponto de referência, que na maioria das vezes assume uma profundidade de 30m até 50m no interior de rochas.

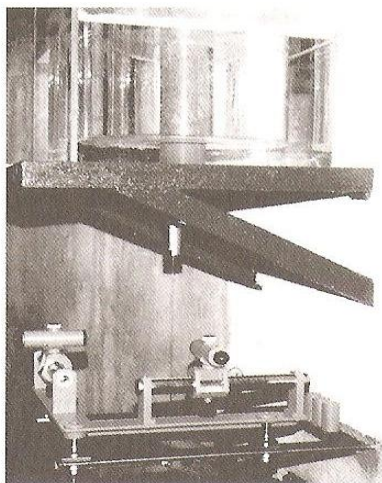
A Figura 25 mostra o esquema da prumagem por meio de flutuadores e a Figura 26 apresenta uma prumagem por meio de flutuadores por meio de coordenadas.

Figura 25 – Esquema do Prumo Flutuador.



FONTE: MOSER et al., (2000).

Figura 26 – Prumagem por Meio de Flutuadores com medidor de coordenadas.

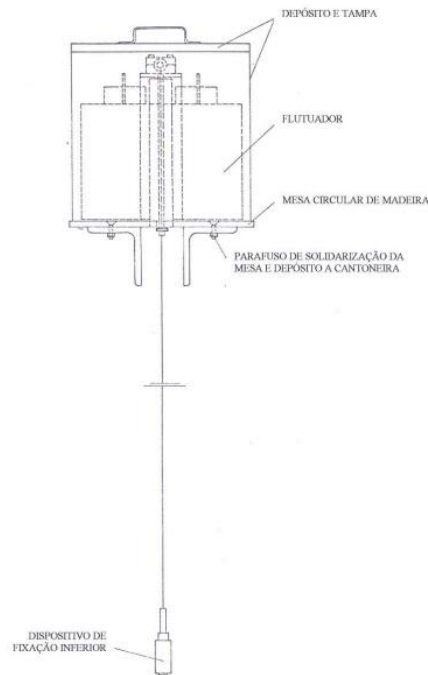


FONTE: MOSER et al. (2000).

Segundo Krelling (2006) equipamentos com características dos prumos flutuadores podem ser empregados no monitoramento geodésico e/ou geotécnico de estruturas, isto é, aplicável à medição de deslocamentos em uma estrutura de construção civil. Sua principal aplicação está no monitoramento de barragens, podendo ser estendida a outras áreas. O prumo é um instrumento inventado pelos astrônomos do Egito Antigo cerca de 3000 a. C., que é utilizado na construção civil para verificar a verticalidade de elementos construtivos.

Segundo Matos (2002), as instalações dos pêndulos, direto e invertido, devem ser nos mesmos blocos, possibilitando a determinação dos deslocamentos horizontais (deslocamentos relativos) da crista da barragem em relação ao ponto considerado fixo na fundação. Deve-se prever nestes mesmos blocos a instalação de marcos topográficos superficiais, para associação dos deslocamentos medidos com aqueles medidos por métodos geodésicos, os quais são considerados inicialmente como deslocamentos absolutos. A Figura 27 apresenta outro modelo de pêndulo invertido, muito utilizado em barragens.

Figura 27 – Pêndulo Invertido.



FONTE: MATOS (2002).

4.3.4 Prumagem A LASER

Uma grande descoberta do século XX foi a descoberta do LASER. O LASER é basicamente a polarização da luz, fazendo com que os seus elementos (fótons), sejam direcionados em um mesmo sentido, formando uma linha de luz. Esse alinhamento da luz é extremamente preciso, podendo, dependendo da intensidade do LASER, alcançar vários quilômetros.

Utilizando-se dessa propriedade foram construídos equipamentos que podem substituir as linhas de instrumentos convencionais, que utilizam a linha de “nylon”, níveis com bolhas e água, pêndulos e outros artifícios que são utilizados para medir prumos, esquadros e níveis (RIBEIRO, 2009).

Segundo Ribeiro (2009), os níveis a LASER podem ser do tipo ponto a ponto ou rotativos. A vantagem desse sistema é que não é preciso ajustar bolhas ou prumos para deixar o aparelho precisamente nivelado e pronto para o uso. Com o pêndulo, mesmo se o aparelho esteja alguns graus fora do nível, o pêndulo compensa esse erro e se autonivela em apenas alguns

segundos. Este tipo de LASER pode ter precisões de até menos de 1 mm de erro à uma distância de 30 metros. O resultado é uma precisão que elimina os erros relacionados à montagem e à medição. Tornando a sua utilização rápida, precisa e segura.

Nível a LASER ponto a ponto: O nível a LASER ponto a ponto é basicamente usado para substituir o uso de fios de “nylon” e prumos de peso para marcação de esquadro, prumo, nível e marcação de eixos. Ele possui vários feixes a LASER saindo de um mesmo ponto direcionado como eixos, com todos esses LASERS ortogonais entre si. A grande vantagem desse sistema é a rapidez e a praticidade com que se fazem medições em comparação com os métodos tradicionais. Em alguns segundos posiciona-se o aparelho e se faz a marcação, não sendo necessário posicionar fios, usar pêndulos, alinhá-los ou lançar eixos. Na Figura 28, observa-se um exemplo de nível a LASER ponto a ponto (Ribeiro, 2009).

Figura 28 – Nível a LASER PLS5 2009 ponto a ponto, **Pacific LASER Systems**.



FONTE: RIBEIRO (2009).

Nível a LASER rotativo: No nível a LASER rotativo, o feixe a LASER nivelador gira ao redor do nível como em um círculo. O LASER gira em uma velocidade tal que dará uma impressão de que você está olhando para uma linha contínua em vez de um ponto se movendo. O motor que gira a luz de LASER está no topo do nível, que deve ser colocado sobre um tripé ou num apoio fixo. Essa linha gerada pelo LASER, dependendo do tipo de nível a LASER, pode ser projetada tanto na horizontal, quanto na vertical. Assim, a versatilidade dos níveis a LASER permite sua utilização em uma ampla variedade de aplicações horizontais, verticais e de prumada. Hoje os níveis a

LASER são autonivelantes e fornecem simultânea e instantaneamente marcações de prumo, nível, esquadro e alinhamento. Na Figura 29, observa-se um exemplo de nível a LASER rotativo, sendo utilizado para o alinhamento de uma laje durante a concretagem (RIBEIRO, 2009).

Figura 29 – Foto de Nível a LASER rotativo.



FONTE: RIBEIRO (2009).

O prumo a LASER emprega-se para a prumagem precisa de construções prediais de grande porte, construções de torres, na mineração, montagem de elevadores, assim como construção de poços. O diâmetro do LASER têm o valor de 15mm para um comprimento de 100m. O alcance do prumo a LASER pode atingir um valor até 400m (por exemplo, Lot-LASER LL-50 da firma Geo-Laser). A horizontalização do instrumento é realizada por meio de um compensador (MOSER et al., 2000).

4.4 Métodos de Prumagem com o Emprego de Trenas, Prumos de Centro, Fios de “NYLON” e Par de Esquadros

O objetivo deste método é verificar a verticalização do madeirite utilizado para a concretagem de um pilar entre uma laje e outra da obra. A Figura 30 apresenta a verificação da verticalidade utilizando a trena e o fio de prumo a “nylon”, cujo peso é materializado por um corpo cilíndrico. A trena é utilizada tanto na parte superior como na parte inferior do madeirite.

O conhecimento deste método foi verificado durante a visita técnica à obra.

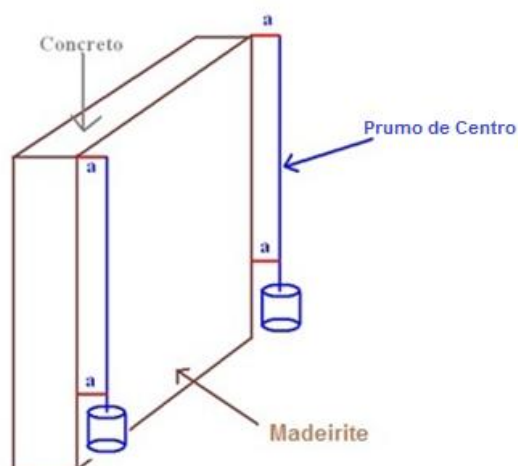
Figura 30 – Verificação da verticalidade na parte inferior utilizando a trena e o prumo de centro.



FOTO: Abril, 2012.

Durante o método é verificado o comprimento na horizontal entre a face do madeirite e o fio de prumo. Se na parte superior e inferior são observados os mesmos valores de medição, dentro de uma tolerância milimétrica, indica que o madeirite do pilar está posicionado na vertical (Figura 31).

Figura 31 –Verticalização do madeirite do pilar por meio de prumo de centro e trena.



Quando as medições realizadas a trena divergem, a exemplo da Figura 32, então são utilizadas as extensões da estronca metálica (Figura 33) para trazer o madeirite na posição vertical. A face do madeirite é apoiada a uma haste de ferro (estronca metálica), que pode ser estendida ou comprimida de acordo com o controle da verticalização do madeirite por meio do prumo de centro e da trena.

Figura 32 – Verificação da verticalidade do madeirite do pilar por meio de prumo de centro e trena.

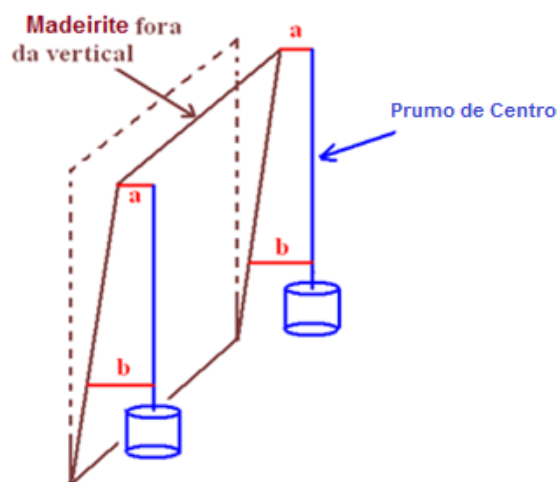


Figura 33 – Verificação da verticalidade na parte superior do madeirite utilizando a trena, o prumo de centro e a estronca metálica.



Foto: Abril, 2012.

Normalmente são definidos furos, que transpassam as lajes, onde são fixadas hastes metálicas, as quais são utilizadas para a verificação da verticalidade por meio do prumo de centro (Figura 34). Assim é possível visualizar desde a primeira laje até a última (Figura 34).

Figura 34 – Orifícios na laje e haste metálica.



FOTO: Abril, 2012.

A Figura 35 ilustra a haste metálica externa fixada na laje e viga da estrutura. Nesta Figura também é possível observar o madeirite que envolve a mesma. Nesta haste são marcados traços sendo possível verificar depois da concretagem o quanto a borda da laje variou milimetricamente para dentro e para fora.

Figura 35 – Haste metálica externa.



FOTO: Abril, 2012

A verticalização com ajuda do prumo de centro através do orifício aberto na laje é realizada de baixo para cima a partir do primeiro pavimento.

A cada cinco pavimentos construídos são materializados uma linha de prumo até o piso inicial. Além disso, em cada laje é materializada uma linha de prumo para a laje de baixo para o controle da verticalização e com a ajuda de um prumo de centro é verificado o deslocamento da linha de prumo com respeito aos traços riscados nas hastes metálicas fixadas nos orifícios.

A variação milimétrica ocasionada por uma folga na moldura dos elementos estruturais durante a concretagem deve ser corrigida nos pavimentos seguintes. Outro controle também realizado quanto à verticalização é o posicionamento temporário de um prumo de centro materializado dentro dos pilares em forma de U, de modo que seja possível a medição horizontal dos comprimentos da linha de prumo com respeito às faces internas e perpendiculares desses pilares.

5. EXPERIMENTOS E ANÁLISES METODOLÓGICAS

Neste Capítulo, apresenta-se a metodologia adotada nos trabalhos de campo, assim como o processamento e as análises dos resultados alcançados. No contexto desta dissertação os experimentos foram realizados em duas Áreas Testes distintas (capítulo 2).

A seguir serão apresentados os métodos e materiais, assim como as descrições das áreas testes.

5.1 Métodos e Materiais

5.1.1 Metodologia

A Figura 36 descreve as etapas do desenvolvimento metodológico desta dissertação. Inicialmente, realizou-se o levantamento bibliográfico e a partir da escolha das áreas testes, iniciou-se a implantação do campo de pontos de referência e campo de pontos-objeto. Para a implantação do campo de pontos de referência na área teste 1 foram escolhidos os seguintes métodos: Poligonação com Centragem Forçada, Interseção a Ré, Interseção a Vante e Nivelamento Trigonométrico.

A medição do campo de pontos de referência foi realizada com o emprego de estações totais.

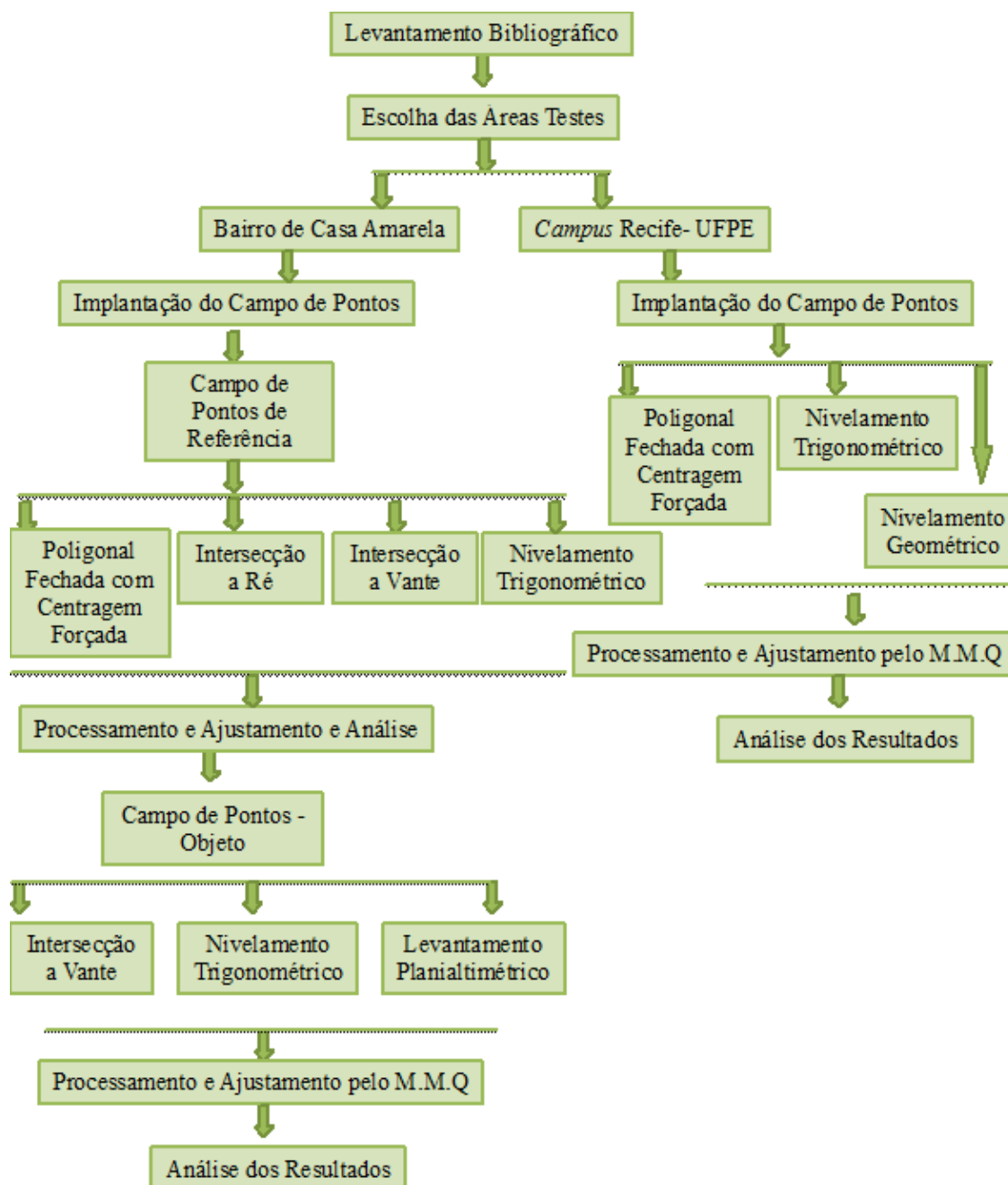
O campo de pontos-objeto foi definido na área teste 1 a partir dos métodos: interseção a vante e nivelamento trigonométrico e levantamento planialtimétrico a partir de três distâncias e três pontos conhecidos.

A Figura 36 descreve as etapas do desenvolvimento metodológico da área teste 2 com respeito a implantação do campo de pontos de referência. Nesta área foram empregados os métodos de poligonação fechada com centragem forçada, nivelamento trigonométrico e nivelamento geométrico.

Na área teste 2 a medição do campo de pontos de referência foi realizada com o emprego de estação total e nível digital.

Finalizados os procedimentos de campo, deu-se início ao processamento, análise dos resultados e comparação entre os métodos empregados.

Figura 36 – Fluxograma apresentando a sequência dos procedimentos metodológicos: Área Teste 1- Bairro de Casa Amarela e Área Teste 2- Campus Recife- UFPE.



5.1.2 Materiais

Para a realização desta pesquisa foram utilizados os seguintes equipamentos e softwares:

- 1) Estação Total 3305 DR (Trimble): Precisão angular de 5'' e Precisão linear de 5mm+5pmm. Modo de leitura com distanciômetro eletrônico (EDM-Eletronic Distance Measurement): Prisma Reflex (PR). Esta Estação Total é também capaz de medir a distância lançando o feixe diretamente sobre a superfície do objeto. Este último modo de medição de distância não foi empregado nesta dissertação. Acompanhada do respectivo apoio logístico;
- 2) Nível Digital DNA03 (Leica): Precisão de 0,3mm/km duplo nivelado. Visor de grandes dimensões, teclado alfanumérico, movimento horizontal, bi-direcional, possui bateria do tipo câmara de vídeo, compensador de amortecimento magnético. Acompanhado do respectivo apoio logístico;
- 3) *Software* MATLAB, versão 9.0;
- 4) Planilha no Excel versão 2007;
- 5) *Software* AstGeoTop versão 2012, versão disponibilizada para intersecção direta (Vante) foi a 2012.06.10, para levantamento planimétrico © versão 2012.11.11, para planialtimetria © versão 2013.05.06, para componente vertical versão 2012.06.10 e o cálculo de ângulo horizontal e zenital a versão 2012.05.23.

5.1.3 Área Teste

5.1.3.1 Área Teste 1: Bairro de Casa Amarela

A área teste 1 está localizada no Bairro de Casa Amarela da Região Metropolitana do Recife (RMR). A área levantada está situada em uma quadra cadastral constituída de edificações residenciais e prediais de grande porte (Figura 37). A edificação em estudo está localizada na Rua: Evaristo da Veiga, representada na Figura 37 pelo polígono de cor amarela.

Figura 37 – Esboço em vista aérea da localização da Área Teste 1.



IMAGEM: Adaptado, *GOOGLE Earth* 2009, acessado em Abril de 2012.

A área teste 1 foi escolhida porque nesta está sendo construída uma edificação predial, considerada neste trabalho, de grande porte, pois possui mais de vinte pavimentos (cf. capítulo 1). Isto possibilitou a determinação de pontos-objeto localizados nas quinas entre o pilar e as vigas no entorno do pilar oito. Além disso, no entorno do pilar oito, foram fixadas hastes metálicas, as quais foram medidas durante as campanhas de medição (Figura 5 e 6).

5.1.3.2 Área Teste 2- Campus Recife-UFPE

A área teste 2 está localizada no Bairro Cidade Universitária da Região Metropolitana do Recife (RMR). A área levantada está situada no interior do *Campus Recife- UFPE* e nos arredores do mesmo (Figura 37).

Esta área contempla um conjunto de campo de pontos de referência geodésicos/topográficos pré-existent (ITEP, EXE, EPS04, EPS06 e EPS07) e vértices levantados a partir do método da poligonação fechada com

centragem forçada (cf. item 3.1) denominados: EF1, EF2, P2, EF3, EF4, EF5, EF6, EF7, EF8, EF9, EF10, EF11, EF12, EF13, EF14, EF15, EF16, EF17 e EF18.

Figura 38 – Esboço em vista aérea da poligonal implantada da Área teste 2-Campus Recife-UFPE.



IMAGEM: Adaptada GOOGLE Earth 2012, acessada em Julho 2012.

A área teste 2 foi escolhida pela comodidade de desenvolver trabalhos dentro do Campus Recife-UFPE e arredores e também no sentido de aproveitar um conjunto de campo de pontos pré-existent. Os vértices pré-existent (ITEP e EXE) foram adquiridos a partir dos trabalhos de campo realizados durante a disciplina de Levantamentos Geodésicos (2011.1). Os vértices EPS04, EPS06 e EPS07 constituem parte do campo de pontos de referência cadastral definidos em (FLOR, 2010) e (MENDONÇA et al., 2010), apresentados no capítulo 2.

5.2 Implantação do Campo de Pontos de Referência e Campo de Pontos-Objeto

Nos itens a seguir será tratado como foi a implantação dos campos de pontos de referência e campos de pontos-objeto.

5.2.1. Levantamento da Área teste 1: Bairro de Casa Amarela

Ao todo foram realizados cinco campanhas de medição. Ao passo que novos pavimentos da edificação predial foram construídos, foram implantados novos campos de pontos de referência condicionados a uma observação do ângulo vertical maior que 40° graus. Uma vez que o sistema de medição não estava disposto com uma ocular de cotovelo (cf. item 4.2). Desta forma os vértices do campo de pontos de referência em cada campanha se afastaram do pilar oito da edificação, para facilitar as visadas inclinadas aos demais pavimentos.

Esta área contempla um conjunto de campos de pontos de referência e um conjunto de campo de pontos-objeto, estes últimos definidos por pavimento da edificação em estudo e localizados nas quinas do pilar de número oito.

Na primeira visita (11/04/2012) foram implantados os vértices (EC1, EC2, EC3, EL1), sendo EL1 um vértice temporário. Na segunda visita (20/09/2012) foram implantados os vértices temporários (EL1 e EL2). Na terceira visita (21/11/2012) foram implantados os vértices temporários (EL1, EL2, EL3 e EL4). Na quarta visita (24/01/2013) foram implantados os vértices temporários (EL1, EL2, EL3 e EL4). Na quinta visita (31/01/2013) foram implantados os vértices temporários (EL5, EL6 e EL7). Todos os vértices "EL" não foram materializados em campo.

Embora os vértices temporários tenham a mesma denominação, os mesmos são diferentes, pois foram implantados em locais distintos. Conforme a construção dos pavimentos.

5.2.1.1 Medições, Processamento e Análise dos Resultados do Campo de Pontos de Referência

Nesta dissertação os vértices temporários foram determinados pelo método de interseção a ré por meio de medições de direções, por meio de medições combinadas de direções e distâncias e/ou por meio de

transformação de similaridade entre coordenadas. Estes vértices foram implantados para uma melhor visualização dos pontos-objeto distribuídos no pilar oito.

5.2.1.1.1 Medições

Na área teste 1 foi implantado através do método da poligonação fechada com centragem forçada um campo de pontos de referência na Rua Evaristo da Veiga em frente a entrada da edificação. O campo de pontos está composto por três vértices denominados de EC1, EC2 e EC3.

Estes três vértices serviram de apoio para todos os outros vértices que foram sucessivamente, implantados na área através do método de interseção a ré. No caso desta primeira campanha foi implantado o vértice EL1. O quadro 2 resume todas as medições realizadas na área teste 1 para a definição do campo de pontos de referência.

Quadro 2 – Descrição das Campanhas de Medição_ Campo de Pontos de Referência.

Datas	Equipe/Duração	Métodos	Determinação dos Pontos de Referência
11/04/2012	3 pessoas/6 horas	Poligonação Fechada com Centragem Forçada.	EC1, EC2 e EC3
		Interseção a Ré	EL1
		Nivelamento Trigonométrico	EC1, EC2, EC3 e EL1
20/09/2012	3 pessoas/6 horas	Interseção a Ré	EL1 e EL2
		Nivelamento Trigonométrico	EL1 e EL2
21/11/2012	3 pessoas/8 horas	Interseção a Ré	EL1, EL2, EL3 e EL4
		Nivelamento Trigonométrico	EL1, EL2, EL3 e EL4
24/01/2013	2 pessoas/6 horas	Interseção a Ré	EL1, EL2, EL3 e EL4
		Nivelamento Trigonométrico	EL1, EL2, EL3 e EL4
31/01/2013	2 pessoas/6 horas	Interseção a Ré	EL6 e EL7
		Interseção a Vante	EL5
		Nivelamento Trigonométrico	EL5, EL6 e EL7

Nesta primeira visita, foi implantado em campo o vértice EL1, determinado:

- ✓ Pelo Método da interseção a ré por meio de medição de direções (cf. item 3.3.1), através dos três vértices conhecidos (EC1, EC2 e EC3);
- ✓ Pelo Método da Transformação de Similaridade entre Coordenadas. Este método foi calculado através do vértice EC3 para o vértice EC2 (cf. item 3.3.2).
- ✓ Pelo Método da interseção a ré por meio de medições combinadas de direções e distâncias: Método da Estação Livre. Este método foi calculado de três formas distintas, a partir dos vértices EC3 e EC1, EC3 e EC2 e EC2 e EC1 (cf. item 3.3.3);

O Método de Nivelamento Trigonométrico (cf. item 3.5) foi realizado em campo durante a execução do método da poligonação e do método da interseção a ré. Em cada medição, verificaram-se as alturas dos respectivos prismas e das respectivas estações totais aos vértices topográficos. Através dos vértices de referência (EC1, EC2 e EC3) foi possível o cálculo da média das cotas dos vértices temporários. Nesta dissertação foi arbitrada uma cota igual a 0,0000m para o vértice EC1. As cotas dos demais vértices e pontos-objeto foram calculadas a partir desta referência altimétrica arbitrada.

Na segunda campanha determinaram-se os vértices EL1 e EL2 através dos pontos de referência já implantados na área (EC1, EC2 e EC3). Estes vértices foram implantados para uma melhor visualização das quinas do oitavo pavimento até o décimo pavimento.

O vértice EL1 foi calculado através do método da interseção a ré por meio de medição de direções, através dos três vértices (EC1, EC2 e EC3) e o Método da Transformação de Similaridade entre Coordenadas através dos vértices EC2 e EC3.

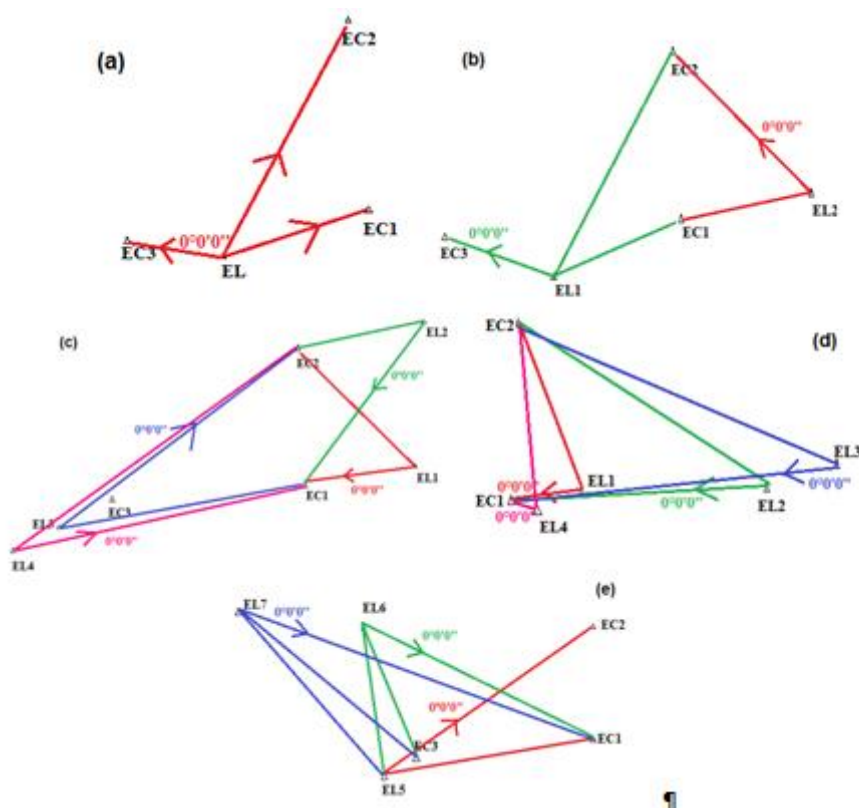
O vértice EL2 foi calculado através do método da interseção a ré por meio de medições combinadas de direções e distâncias e pelo Método da

Transformação de Similaridade entre Coordenadas, ambos através dos vértices EC1 e EC2. A partir desta segunda campanha de medição foram medidas as quinas e hastes (Figura 6).

Na terceira e quarta campanhas de medição a metodologia adotada em campo foi diferente em relação às duas primeiras campanhas de medição. Na terceira campanha não foi abordado em campo o método de interseção a ré por meio de medição de direções, por falta de uma base nivelante. Portanto, a metodologia ficou limitada aos métodos de interseção a ré por meio de medições combinadas de direções e distâncias e o Método da Transformação de Similaridade entre Coordenadas, tornando-se assim possível a determinação dos vértices temporários.

A Figura 39 ilustra para cada campanha de medição a realização das medições com relação aos vértices de referência e aos vértices temporários.

Figura 39 – Configuração das “EL’S” com relação ao campo de pontos de referência.



A Figura 40 ilustra o estado do andamento da edificação nas diferentes campanhas de medição.

Figura 40 – Andamento da edificação em relação às campanhas de medição.



Durante a quarta e quinta campanhas de medição foi possível visualizar duas linhas de prumos estendidas do décimo segundo pavimentos para baixo. Isto possibilitou a verificação da verticalidade das linhas de prumo e a determinação de pontos ao longo das mesmas por meio do método de interseção a vante.

O vértice EL4 foi definido para a determinação da terceira linha de prumo vertical em relação ao primeiro pavimento, zerando o equipamento no vértice EC1, formando um ângulo com EC2 (Figura 41). Com isso, visou-se a linha de prumo (Figura 42).

Figura 41 – Configuração dos vértices EC1 e EL4 para a determinação da terceira linha de prumo vertical em relação ao primeiro pavimento.



FOTO: Janeiro, 2013.

Figura 42 – Linha de Prumo em destaque.



FOTO: Janeiro, 2013.

Na quinta campanha de medição também foi empregado o método da interseção a vante para determinar as coordenadas de uma vértice temporário (quadro 2).

Durante as medições foram enfrentadas diversas dificuldades em campo, podem-se citar as seguintes:

- Movimentação excessiva de pedestres na área;
- A falta de intervissibilidade entre os prismas por razão de grande fluxo de caminhões passando na área;
- Problemas com respeito ao apoio logístico, por exemplo, falta do equipamento denominado ocular de cotovelo;
- Problema no vértice EC1, onde estava localizada a Estação Total, um dos varredores da rua bateu no tripé acarretando a descentralização do equipamento, o mesmo foi instalado novamente;
- Quantidade mínima de pessoas em campo, na quarta e quinta campanhas de medição.

A seguir serão apresentados o processamento dos dados referentes às cinco campanhas de medição realizadas nesta área teste 1- Bairro de Casa Amarela e respectivas análises.

5.2.1.1.2 Processamento e Análise dos Resultados

Nesta dissertação o *software* Matlab versão 9.0 foi utilizado para o cálculo de métodos topográficos/geodésicos de medição como, interseção a ré por meio de medição de direção, método de transformação de similaridade entre coordenadas e método de levantamento planialtimétrico a partir de três distâncias e três pontos conhecidos.

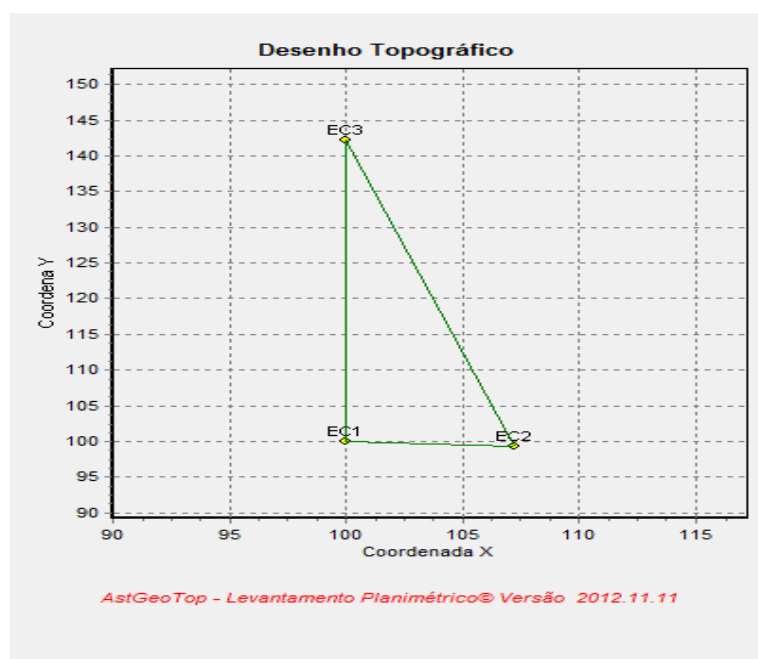
O programa Excel foi utilizado para o cálculo das médias das observações, como também para o cálculo tradicional da poligonal, o método de interseção a vante, o método de nivelamento trigonométrico e método de interseção a vante. O ajustamento pelo MMQ modelo paramétrico do método de interseção a vante também foi calculado no Excel.

No software AstGeoTop fez-se os cálculos do ajustamento da poligonal pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) utilizando o modelo paramétrico.

- **POLIGONAÇÃO COM CENTRAGEM FORÇADA**

Para o processamento da poligonal fechada com centragem forçada foi considerado o vértice EC1 como fixo definido em um Sistema Topográfico Local arbitrário, (100,000m;100,000m; 0,000m) onde o eixo Y definido no alinhamento do vértice EC1 para o vértice EC2. Conforme se pode visualizar na Figura 43, produzida pelo programa AstGeoTop.

Figura 43 – Desenho Topográfico da Poligonal implantada na primeira visita para a determinação dos pontos de referência EC1, EC2 e EC3.



FONTE: Software AstGeoTop, 2013.

- **Processamento na Planilha EXCEL:**

Obteve-se um erro angular de $-5''$, o mesmo foi distribuído igualmente nos vértices EC1, EC2 e EC3 da poligonal. O erro linear de 0,0023m foi corrigido proporcionalmente à distância horizontal de cada lado do polígono (Figura 43). A precisão relativa é expressa pela razão entre o erro linear e o

comprimento total da poligonal, nesta poligonal obteve-se o precisão relativa de 1/40532,2599.

No apêndice 1 está um exemplo do relatório disponibilizado pelo *software* Excel para o método tradicional.

A Tabela 1 apresenta o cálculo da poligonal executado no *software* EXCEL.

Tabela 1 – Cálculo da Poligonal.

ESTAÇÃO	PONTO VISADO	AZIMUTE	DHz (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EC1					
EC1	EC3	00° 00' 00"	42,242	0,0000	42,2420
EC3	EC2	170° 28' 15"	43,575	7,2138	-42,9737
EC2	EC1	275° 46' 52"	7,249	-7,2121	0,7302
Σ			93,066m	0,0017	-0,0015

Continuação da Tabela 1

$C\Delta X$ (m)	$C\Delta Y$ (m)	ΔX_c (m)	ΔY_c (m)	X (m)	Y (m)
				100,0000	100,0000
-0,00076933	0,00070305	0,00107566	42,24183982	99,9992	142,2427
-0,00079360	0,000725236	7,21338452	-42,97276523	107,2123	99,2697
-0,00013202	0,000120648	-7,21230859	0,729974518	100,0000	100,0000
		0,00000027m	-0,0009508m		

- **Processamento no AstGeoTop:**

Neste programa é possível ajustar uma poligonal fechada pelo Método Tradicional e pelo Método dos Mínimos Quadrados - modelo paramétrico.

A Figura 44 apresenta a tela inicial com os dados de entrada para o cálculo da poligonal fechada.

Figura 44 – Tela inicial para o cálculo da poligonal.

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO - PLANIMETRIA

Valores Iniciais:
 Estação: EC1 Coord X = 100.000 σ_x 0.000 m
 Azimute Inicial (ppg/segundo) 95°46'52.0" σ_{α} 0 Coord Y = 100.000 σ_y 0.000 m

Linha	Estação	Pto_Ré	Ang_Horário	Dist.horizantal	Pto_Vante	Ang_Horário	Dist.horizantal
1	EC1	EC3	0°00'00.0"	42.242	EC2	95°46'54.0"	7.249
2	EC2	EC1	0°00'00.0"	7.249	EC3	74°41'25.0"	43.575
3	EC3	EC2	0°00'00.0"	43.575	EC1	9°31'46.0"	42.242
4							

RELATÓRIO PARCIAL PRÉ AJUSTAMENTO

Erro em Y = 0.0016
 Erro Linear = 0.0022
 Precisão Relativa = 1/42213.67

QUANTIDADES TOLERÁVEIS
 Poligonal : Definida pelo usuário
 Erro tolerável Angular = 0°00'26.0"
 Erro tolerável Linear = 0.1628
 Precisão relativa tolerável = 1/610.1

CONCLUSÃO
 Poligonal dentro das especificações de tolerâncias para a classe no pré-ajustamento

DEFINA A CLASSE DA POLIGONAL

Classe de Poligonal: NBR 13133
☐ IP (NBR 13133)
☐ IP (NBR 13133)
☐ IP (NBR 13133)
☐ IP (NBR 13133)
☒ Definida pelo usuário

Precisões dos equipamentos utilizados:
 Classificação segundo a NBR 13133 (início/1994)
 Teodolito / Estação Total: Classe 2: precisão média
 Medidor Eletrônico de Distância: Classe 2: precisão média

Desvio padrão angular: 05"
 Desvio padrão linear: (Desv + 5ppm x D)
 Coeficiente b": 15"
 Tol. angular ("): 0.50m
 Coeficiente d(m): 0.50m
 Tol. linear m/m: 0.50m

Ajuste Linear
☒ Proporcional aos lados
☐ Proporcional as coordenadas parciais
☐ Partes iguais
☐ Partes iguais as coordenadas parciais

☒ Ajustar pelo Método Tradicional
☐ Ajustar por MMQ Paramétrico

Continuar **Ajustar**

FONTE: Software AstGeoTop, 2013.

Ressalta-se que a poligonal foi processada no sentido anti-horário a partir dos ângulos horários e distâncias horizontais das médias das observações realizadas. Para calcular a poligonal foram inseridos pelo usuário os seguintes dados: o desvio padrão angular foi informado o valor de 5", desvio padrão linear de 5mm+5ppm, a classificação da poligonal ficou em classe 2: precisão média, conforme as normas da NBR 13133/1994.

O erro linear obtido pelo processamento no AstGeoTop foi de 0,0023m, o erro angular foi de -00°00'05'', o erro relativo linear (precisão relativa) 1/41170,6657431.

No anexo 1 apresenta as coordenadas dos vértices da poligonal e os respectivos desvios padrão obtidos no ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados, utilizando o modelo paramétrico.

• MÉTODO DA INTERSEÇÃO A RÉ

• Primeira Campanha de Medição

O cálculo de interseção a ré foi realizado para a determinação da EL1 no software MATLAB versão 2009 e o software EXCEL.

Para realizar o controle dos cálculos o vértice EL1 foi determinado pelo método da interseção a ré por meio de medição de direções, por meio de medições combinadas de direções e distâncias: Método da Estação Livre e Método da Transformação de Similaridade entre Coordenadas.

Realizou-se também o teste de qualidade para o vértice EL1, denominado teste do Qui-Quadrado (χ^2), tal hipótese H_0 do vértice foi aceita ao nível de confiança de 95%.

- **Método da Interseção a Ré por Meio de Medição de Direções:**

A Tabela 2 apresenta as coordenadas determinadas do vértice temporário EL1 a partir dos alinhamentos observados para os vértices EC1, EC2 e EC3 (Figura 39).

Tabela 2 – Coordenadas do Vértice EL1.

Vértice	Interseção a Ré (MATLAB)	
	X(m)	Y(m)
EL1	99,4295	127,8663

No apêndice 4 encontra-se um exemplo do aplicativo desenvolvido para este método de interseção a ré

- **Método de Interseção a Ré por Meio de Medições Combinadas de Direções e Distâncias:**

As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam as coordenadas determinadas de EL1 a partir dos pares de vértices EC3 e EC1, EC3 e EC2 e EC2 e EC1, respectivamente.

Tabela 3 – Coordenadas do Vértice EL1.

Vértice	Interseção a Ré (MATLAB)	
	X(m)	Y(m)
EL1	99,4297	127,8715

Tabela 4 – Coordenadas do Vértice EL1.

Vértice	Interseção a Ré (MATLAB)	
	X(m)	Y(m)
EL1	99,4292	127,8715

Tabela 5 – Coordenadas do Vértice EL1.

Vértice	Interseção a Ré (MATLAB)	
	X(m)	Y(m)
EL1	99,4301	127,8710

- **Método de Transformação de Similaridade entre Coordenadas:**

A Tabela 6 apresenta as coordenadas determinadas de EL1.

Tabela 6 – Coordenadas do Vértice EL1.

Vértice	Transformação de Simil. Entre Coordenadas (MATLAB)	
	X(m)	Y(m)
EL1	99,4291	127,8716

A Tabela 7 que segue mostra as coordenadas do vértice EL1 pelos métodos de interseção a ré por meio de medição de direções e o método de transformação de similaridade e as suas respectivas diferenças.

Tabela 7 – Coordenadas do Vértice EL1, calculada através do método de Transformação de Similaridade a partir dos Vértices EC3 e EC2 e diferenças entre o Método de Interseção a Ré por Meio de Medição de Direções.

Vértice	Interseção a Ré (MATLAB)		Método de Transf. de Similaridade (EC3EC2) (MATLAB)		Diferenças	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EL1	99,4295	127,8663	99,4291	127,8716	0,0004	-0,0053

Percebe-se que em todos os casos as diferenças ficaram ou na casa do milímetro ou abaixo do milímetro, comprovando os cálculos realizados. A partir das coordenadas determinadas pelo Método da Interseção a Ré por Meio de Medição de Direções, realizou-se o ajustamento pelo Método dos

Mínimos Quadrados utilizando o modelo paramétrico apêndice 5, com o emprego do programa EXCEL. A Tabela 8 apresenta o resultado do processamento.

Tabela 8 – Coordenadas do vértice EL1 ajustadas pelo método dos mínimos quadrados utilizando o modelo paramétrico (MMQ).

ESTAÇÃO	X (m)	SIGMA X (m)	Y (m)	SIGMA Y (m)	χ^2
EL1	99,4468	0,0126	127,8812	0,0006	$30,75 \leq 34,8$

- **Segunda Campanha de Medição**

Na segunda campanha de medição foram determinados dois vértices temporários, denominados de EL1 e EL2. A seguir são apresentados os resultados obtidos pelos seguintes métodos:

- **Método da Interseção a Ré por Meio de Medição de Direções:** A Tabela 9 apresenta as coordenadas determinadas para o vértice EL1.

Tabela 9 – Coordenadas do Vértice EL1, a partir dos vértices EC1, EC2 e EC3.

Vértice	Interseção a Ré (MATLAB)	
	X(m)	Y(m)
EL1	98,6194	127,0696

- **Método de Interseção a Ré por Meio de Medições Combinadas de Direções e Distâncias _ Estação Livre:**

O cálculo foi realizado empregando a calculadora científica e o programa MATLAB. A Tabela 10 apresenta as coordenadas determinadas para o vértice EL2.

Tabela 10 – Coordenadas do Vértice EL2, a partir dos vértices EC1 e EC2.

Vértice	Estação Livre (MATLAB)	
	X(m)	Y(m)
EL2	99,4310	84,5082

- **Método de Transformação de Similaridade entre Coordenadas e o Método de Interseção a Ré por Meio de Medições Combinadas de Direções e Distâncias _ Estação Livre:**

O cálculo foi realizado empregando o programa MATLAB, a Tabela 11 apresenta o cálculo do vértice EL1 realizado pelo método de transformação por similaridade a partir de EC2 e EC3 e o método de interseção a ré por meio de medição de direção. A Tabela 12 apresenta as coordenadas determinadas para o vértice EL2 realizado pelo método de transformação de similaridade a partir de EC1 e EC2 e o método de estação livre determinado através dos vértices EC1 e EC2 e respectivas diferenças entre os métodos.

Tabela 11 – Coordenadas do Vértice EL1, calculadas através do *software* MATLAB com os métodos de Transformação de Similaridade e Interseção a ré.

Vértice	Trans. de Similaridade (MATLAB)		Interseção a Ré (MATLAB)		Diferenças	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EL1	98,6233	127,1494	98,6194	127,0696	0,0039	0,0798

Tabela 12 – Coordenadas do Vértice EL2, calculada através do *software* MATLAB com os métodos de Transformação de Similaridade e respectivas diferenças.

Vértice	Estação Livre (MATLAB)		Transf. de Similaridade (MATLAB)		Diferenças	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EL2	99,4309	84,5082	99,4603	84,4941	-0,0293	0,0141

A partir da Tabela 12 verifica-se as diferenças entre as coordenadas obtidas por meio dos diferentes métodos de medição.

Percebe-se que nas diferenças entre os métodos de Transformação de Similaridade entre coordenadas e o método de Interseção a Ré por Meio de Medições de Direções as diferenças obtidas ficaram na casa dos centímetros. E as diferenças obtidas pelo método de Estação Livre e Transformação de Similaridade entre coordenadas também obteve diferenças na casa dos centímetros.

A partir das coordenadas determinadas pelo Método da Interseção a Ré por Meio de Medição de Direções, realizou-se o ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados utilizando o modelo paramétrico. A Tabela 13 apresenta os resultados do processamento realizado. O mesmo teste de qualidade, teste do Qui-Quadrado (χ^2) foi realizado nestes dois vértices temporários, a hipótese H_0 do vértice EL1 não foi aceito ao nível de significância de 5%, já a hipótese H_0 do vértice EL2 foi aceito ao nível de confiança de 95%.

Tabela 13 – Coordenadas dos vértices EL1 e EL2 ajustadas pelo Método dos Mínimos Quadrados – Modelo Paramétrico.

ESTAÇÃO	X (m)	SIGMA X (m)	Y (m)	SIGMA Y (m)	χ^2
EL1	98,5683	0,0298	127,0605	0,0022	99,43 > 98,65
EL2	99,4108	0,0014	84,5009	0,0005	15,99 ≤ 30,57

• Terceira Campanha de Medição

Na terceira campanha de medição foram determinados quatro vértices temporários, denominados de EL1 EL2, EL3 e EL4. A seguir são apresentados os resultados obtidos pelos seguintes métodos:

Para realizar o controle dos cálculos os vértices EL1, EL2, EL3 e EL4 foram determinados pelo método da interseção a ré por meio de medições combinadas de direções e distâncias: Método da Estação Livre e pelo método de Transformação de Similaridade entre Coordenadas.

• Método da Interseção a Ré por Meio de Medições Combinadas de Direções e Distâncias _ Estação Livre:

A Tabela 14 apresenta as coordenadas determinadas para os vértices EL1, EL2, EL3 e EL4, respectivamente.

Tabela 14 – Coordenadas do Vértice EL1, EL2, EL3 e EL4, a partir do vértice EC1 para EC2.

Vértice	Estação Livre (MATLAB)	
	X(m)	Y(m)
EL1	100,0877	79,3642
EL2	109,0648	77,7162
EL3	98,5856	148,0936
EL4	99,5976	153,3026

- Método de Transformação de Similaridade entre Coordenadas:**

A seguir será apresentada a Tabela 15 com as coordenadas dos vértices EL1, EL2, EL3 e EL4.

Tabela 15 – Coordenadas dos Vértices EL1, EL2, EL3 e EL4, calculadas através do software MATLAB pelo método de transformação de similaridade.

Vértice	Transf. de Similaridade (MATLAB)	
	X(m)	Y(m)
EL1	100,1557	79,3440
EL2	109,0425	77,6823
EL3	98,6836	148,1649
EL4	99,6872	153,3357

Foram calculadas as diferenças ΔX e ΔY entre os resultados das Interseções a Ré por Meio de Medições Combinadas de Direções e Distâncias _ Estação Livre e o Método de Transformação de Similaridade entre Coordenadas. A Tabela 16 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 16 – Coordenadas dos Vértices EL1, EL2, EL3 e EL4, diferenças entre os métodos calculados.

Vértices	Estação Livre (MATLAB)		Transf. de Similaridade (MATLAB)		Diferenças	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EL1	100,0877	79,3642	100,1557	79,34401	-0,08605	0,02023
EL2	109,0648	77,7162	109,0425	77,6823	0,022322	0,033923
EL3	98,5856	148,0936	98,6836	148,1649	-0,09801	-0,071305
EL4	99,5977	153,3026	99,6872	153,3357	-0,08949	-0,033102

A partir das coordenadas determinadas pelo Método da Interseção a Ré por Meio de Medições combinadas de Direções e Distâncias: Método da Estação Livre realizou-se o ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados utilizando o modelo paramétrico. E realizou-se também o cálculo do teste do Qui-Quadrado (χ^2), onde todos os vértices tiveram a hipótese H_0 aceita ao nível de confiança de 95%. A Tabela 17 apresenta o resultado obtido.

Tabela 17 – Coordenadas dos vértices EL1, EL2, EL3 e EL4 ajustados pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

ESTAÇÃO	X (m)	SIGMA X (m)	Y (m)	SIGMA Y (m)	χ^2
EL1	100,0572	0,0106	79,3576	0,0009	$35,76 \leq 49,64$
EL2	109,0352	0,0121	77,7232	0,0011	$33,79 \leq 46,54$
EL3	98,6071	0,0153	148,0911	0,0012	$18,79 \leq 19,36$
EL4	99,6269	0,0178	153,3475	0,0015	$24,40 \leq 32,04$

• Quarta Campanha de Medição

Na quarta campanha de medição foram determinados quatro vértices temporários, denominados de EL1, EL2, EL3 e EL4. A seguir são apresentados os resultados obtidos pelos seguintes métodos:

• Método Interseção a Ré por Meio de Medições Combinadas de Direções e Distâncias _ Método de Estação Livre:

A Tabela 18 apresenta as coordenadas determinadas para os vértices EL1, EL2, EL3 e EL4, todos os vértices zeraram em EC1 (cf. item 5.2.1.1.1) e formou um ângulo interno em EC2.

Tabela 18 – Coordenadas dos Vértices EL1, EL2, EL3 e EL4 a partir do vértice EC1 para EC2.

Vértice	Estação Livre (MATLAB)	
	X(m)	Y(m)
EL1	100,0814	86,2507
EL2	97,4794	49,9534
EL3	98,8970	45,9453
EL4	98,6816	97,2236

A partir das coordenadas determinadas pelo Método da Interseção a Ré por Meio de Medições combinadas de Direções e Distâncias: Método da Estação Livre realizou-se o ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados utilizando o modelo paramétrico, e também o teste do Qui-Quadrado (χ^2), obtendo a hipótese H_0 ao nível de confiança de 95% para todos os vértices desta campanha.

A Tabela 19 apresenta os resultados realizados para os vértices EL1, EL2, EL3 e EL4.

Tabela 19 – Coordenadas dos vértices EL1, EL2, EL3 e EL4 ajustadas pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

ESTAÇÃO	X (m)	SIGMA X (m)	Y (m)	SIGMA Y (m)	χ^2
EL1	100,0667	0,0008	86,2455	0,0003	$8,43 \leq 9,03$
EL2	97,4546	0,0170	49,9483	0,0015	$23,22 \leq 24,33$
EL3	98,8741	0,0157	45,9413	0,0013	$19,22 \leq 19,84$
EL4	98,6829	0,0000	97,2230	0,0000	$0,01 \leq 0,01$

- Quinta Campanha de Medição**

Na quinta campanha de medição foram determinados quatro vértices temporários, denominados de EL5, EL6 e EL7. A seguir são apresentados os resultados obtidos pelos seguintes métodos:

- Método de Estação Livre e Método da Interseção a Ré por Meio de Medição de Direções:**

A Tabela 20 apresenta as coordenadas dos vértices EL6 e EL7.

Tabela 20 – Coordenadas dos vértices EL6 e EL7 calculadas através do método de Estação Livre e Interseção a Ré por meio de medição de direções a partir de EC1 para EC3.

Vértice	Interseção a Ré (MATLAB)		Estação Livre (MATLAB)		Diferenças	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EL6	107,6829	165,1431	107,6902	165,1608	-0,0073	-0,0177
EL7	108,0292	188,5078	108,0405	188,5426	-0,0113	-0,0348

A partir da Tabela, pode-se verificar as diferenças ΔX e ΔY entre as coordenadas obtidas por meio dos dois métodos distintos. Os vértices temporários EL6 e EL7 foram calculadas pelo método de interseção a ré por meio de direção e o método da estação livre, as diferenças ficaram na casa do centímetro para EL7 e para EL6 na casa do milímetro para coordenada X e na casa do centímetro para coordenada Y.

• MÉTODO DA INTERSEÇÃO A VANTE

O vértice EL5 foi determinado pelo Método de Interseção a Vante.

A Tabela 21 apresenta os valores das coordenadas obtidas.

Tabela 21 – Coordenadas do vértice EL5.

Vértice	Interseção a Vante (EXCEL)	
	X(m)	Y(m)
EL5	98,6001	146,2645

A Tabela 22 apresenta o ajustamento dos vértices EL5, EL6 e EL7, realizados pelo MMQ – modelo paramétrico, o teste do Qui-Quadrado (χ^2), a hipótese H_0 do vértice EL6 não foi aceito ao nível de significância de 5%, as demais hipóteses H_0 dos vértices (EL5 e EL7) foram aceitos ao nível de confiança de 95%.

Tabela 22 – Coordenadas dos vértice EL5, EL6 e EL7 ajustadss pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

ESTAÇÃO	X (m)	SIGMA X (m)	Y (m)	SIGMA Y (m)	χ^2
EL5	98,6029	0,0004	146,2651	0,0002	$0,18 \leq 0,19$
EL6	107,7560	0,0361	165,1816	0,0171	$168,80 > 159,01$
EL7	108,0745	0,0221	188,5361	0,0023	$37,10 \leq 45,72$

• Método do Nivelamento Trigonométrico

A Tabela 23 apresenta os resultados do transporte de altura dos vértices EC1, EC2 e EC3.

Tabela 23 – Coordenadas Z(m) dos vértices EC1, EC2 e EC3.

Estação	Z (m)	SIGMA (m)
EC1	0,0000	0,0000
EC2	-0,00412	0,0003
EC3	0,15611	0,0032

A partir destes resultados foram calculadas as coordenadas (Z) dos respectivos vértices temporários e dos pontos-objeto levantados.

A Tabela 24 apresenta as coordenadas (Z) obtidas nas diferentes campanhas de medição.

Tabela 24 – Coordenadas Z(m) dos vértices temporários.

Campanha de Medição	Vértices	Z (m)
1º	EL1	1,6261
2º	EL1	1,6661
2º	EL2	1,4275
3º	EL1	1,3530
3º	EL2	1,5615
3º	EL3	1,7599
3º	EL4	1,7521
4º	EL1	1,3709
4º	EL2	1,4359
4º	EL3	1,4788
4º	EL4	1,4758
5º	EL5	1,7551
5º	EL6	1,7275
5º	EL7	1,7980

5.2.1.1.3 Conclusões

A Tabela 25 apresenta as coordenadas planimétricas de todos os vértices implantados na área teste 1- Bairro de Casa Amarela.

Tabela 25 – Coordenadas Planimétricas de todo o campo de pontos de referência

Visita	Vértice	X(m)	SIGMA X (m)	Y(m)	SIGMA Y (m)	χ^2
1ªVisita	EL1	99,4468	0,0126	127,8812	0,0006	$30,75 \leq 34,8$
2ªVisita	EL1	98,5683	0,0298	127,0605	0,0022	$99,43 > 98,65$
2ªVisita	EL2	99,4108	0,0014	84,5009	0,0005	$15,99 \leq 30,57$
3ªVisita	EL1	100,0572	0,0106	79,3576	0,0009	$35,76 \leq 49,64$
3ªVisita	EL2	109,0352	0,0121	77,7232	0,0011	$33,79 \leq 46,54$
3ªVisita	EL3	98,6071	0,0153	148,0911	0,0012	$18,79 \leq 19,36$
3ªVisita	EL4	99,6269	0,0178	153,3475	0,0015	$24,40 \leq 32,04$
4ªVisita	EL1	100,0667	0,0008	86,2455	0,0003	$8,43 \leq 9,03$
4ªVisita	EL2	97,4546	0,0170	49,9483	0,0015	$23,22 \leq 24,33$
4ªVisita	EL3	98,8741	0,0157	45,9413	0,0013	$19,22 \leq 19,84$
4ªVisita	EL4	98,6829	0,0000	97,2230	0,0000	$0,01 \leq 0,01$
5ªVisita	EL5	98,6029	0,0004	146,2651	0,0002	$0,18 \leq 0,19$
5ªVisita	EL6	107,7560	0,0361	165,1816	0,0171	$168,80 > 159,01$
5ªVisita	EL7	108,0745	0,0221	188,5361	0,0023	$37,10 \leq 45,72$

O teste do Qui-Quadrado (χ^2) foi realizado para todos os vértices calculado nesta área teste 1. Somente as hipóteses H_0 para os vértices EL1 segunda visita e EL6 quinta visita não foram aceitas para ao nível de significância $\alpha=5\%$, para os demais vértices as hipóteses H_0 foram aceitas ao nível de confiança de 95%.

As coordenadas dos pontos-objeto levantados a partir dos vértices EL1 (segunda visita) e EL6 (quinta visita) não serão apresentadas nesta dissertação. Pois ao se realizar o teste do Qui-Quadrado (χ^2) a hipótese H_0 não foi aceita ao nível de significância de $\alpha= 5\%$.

Finalizados os processamentos do campo de pontos de referência procedeu-se para os processamentos do campo de pontos-objeto (quinas/hastes) que serão descritos a seguir.

5.2.1.2 Medições, Processamento e Análise dos Resultados do Campo de Pontos-Objeto

5.2.1.2.1 Medições

Os pontos-objeto foram determinados planimetricamente pelo método da interseção a vante (cf. item 3.2) e altimetricamente pelo método de nivelamento trigonométrico (cf. item 3.5) e para alguns casos planialtimetricamente pelo método planialtimétrico a partir de três distâncias e três pontos conhecidos (cf. item 3.6).

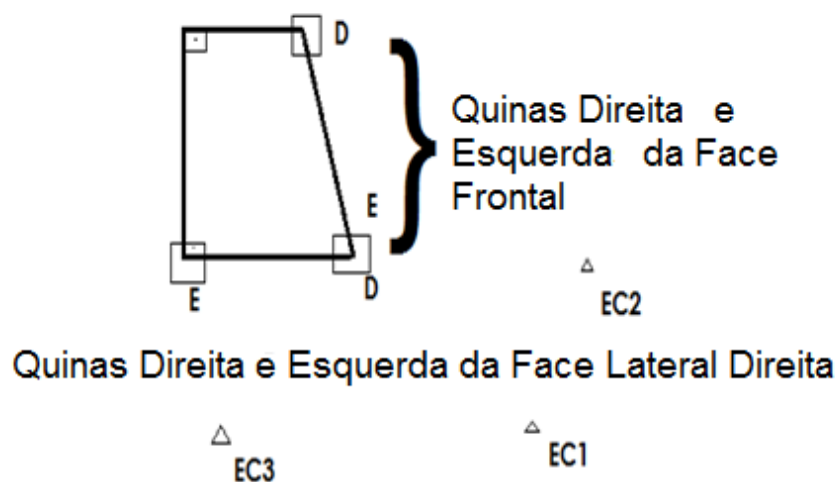
O teste do Qui-Quadrado (χ^2) também foi realizado para todos os pontos-objeto. Algumas hipóteses H_0 não foram aceitas para ao nível de significância $\alpha=5\%$, outras hipóteses foram aceitas ao nível de confiança de 95%.

Os pontos-objeto foram observados na posição direta e indireta da luneta.

A denominação dos pontos-objeto foi definida da seguinte maneira: primeiro a identificação do vértice (1= EC1; 2= EC2; 3= EC3 e EL= Estação Livre), onde a Estação Total estava instalada, segunda a identificação do pavimento da edificação, onde os pontos-objeto estavam posicionados (primeiro= 1; segundo=2 e assim por diante), terceiro a identificação da quina (direita= D ou esquerda= E) da face do pilar oitavo com respeito ao observador e quanto a identificação do ponto-objeto materializado com uma haste metálica.

A Figura 45 ilustra melhor a denominação do campo de pontos-objeto em relação às hastes metálicas e às quinas do pilar observado.

Figura 45 – Denominação do campo de pontos-objeto em relação às hastes metálicas.



O cálculo do Nivelamento Trigonométrico foi realizado depois que se obtiveram os valores das coordenadas planialtimétricas dos vértices e as coordenadas planimétricas das quinas e/ou hastes metálicas.

Com relação aos vértices temporários as alturas calculadas aos pontos-objeto foram calculadas a partir do centro do instrumento. O quadro 3 mostra um resumo em relação ao campo de pontos-objeto com respeito as cinco campanhas de medição.

Quadro 3 – Descrição das Campanhas de Medição_ Campo de Pontos-Objeto.

Data	Pontos de Referência Utilizados	Pavimentos Observados	Determinação dos Pontos-Objeto
11/04/2012	EC1, EC2, EC3 e EL1.	Quinto, Sexto e Sétimo.	Direita e Esquerda.
20/09/2012	EC1, EC2, EC3 e EL2.	Primeiro pavimento até o Sétimo.	Direita, Esquerda e Hastes Chanfradas.
21/11/2012	EC1, EC2, EC3, EL1, EL2, EL3 e EL4.	Primeiro pavimento até o Décimo Quinto.	Direita, Esquerda e Hastes Chanfradas.
24/01/2013	EC1, EC2, EL1, EL2, EL3 e EL4.	Primeiro pavimento até o Vigésimo.	Hastes Chanfradas e Hastes Direitas
31/01/2013	EC3, EL5 e EL7.	Primeiro pavimento até o Vigésimo Terceiro.	Hastes Direita e Hastes Esquerda.

5.2.1.2.2 Processamento e Análise dos Resultados

- **DIA 11/04/2012**

a) MÉTODO DA INTERSEÇÃO A VANTE 2D

As coordenadas X e Y das respectivas quinas observadas (Figura 5) foram calculadas aplicando o Método de Interseção a Vante (cf. item 3.2). A Tabela 26 mostra as coordenadas calculadas para as quinas direita e esquerda localizadas na face frontal do pilar oito da edificação. E a Tabela 27 mostra as coordenadas calculadas para as quinas direita e esquerda da face lateral direita do mesmo pilar. Todos os cálculos para a determinação do campo de pontos-objeto foram realizados no programa Excel.

Tabela 26 – Coordenadas X(m) e Y(m) dos pontos-objeto, localizadas na face frontal Quinas Direita e Esquerda.

Vértices	Quinas	X(m)	Y (m)
EC1/EC2	15D/25D	116,7290	117,8196
EC1/EC2	16D/26D	116,6993	117,8157
EC1/EC2	17D/27D	116,6952	117,8301
EC1/EC2	15E/25E	116,4192	117,9604
EC1/EC2	16E/26E	116,4125	117,9731
EC1/EC2	17E/27E	116,3934	117,9614

A Tabela 27 mostra as coordenadas calculadas para as quinas direita e esquerda da face lateral direita da edificação.

Tabela 27 – Coordenadas X(m) e Y(m) dos pontos-objeto, localizados na face lateral direita.

Vértices	Quinas	X(m)	Y (m)
EC3/EL1	35D/EL15D	116,4226	117,9531
EC3/EL1	36D/EL16D	116,3926	117,9841
EC3/EL1	37D/EL17D	116,3743	117,9703
EC3/EL1	35E/EL15E	117,5814	119,0628
EC3/EL1	36E/EL16E	117,5710	119,0859
EC3/EL1	37E/EL17E	117,5648	119,0517

Foi realizado o ajustamento das quinas através do programa Excel. O método utilizado para o ajustamento foi o Método dos Mínimos Quadrados (cf. item 3.2.1). A Tabela 28 mostra os resultados obtidos para o ajustamento dos pontos-objeto das quinas direita e esquerda localizadas na face frontal do pilar oito. E a Tabela 29 mostra os resultados obtidos para o ajustamento dos pontos-objeto das quinas direita e esquerda da face lateral direita do mesmo pilar.

Após o ajustamento foi realizado um teste empregando-se a distribuição Qui-Quadrado (χ^2) $n-u$ graus de liberdade e nível de confiança de 95% (GEMAEL, 1994). Sendo n o número de observações e u o número de parâmetros (incógnitas). Comparando o valor da tabela de distribuição do Qui-Quadrado (χ^2) com o valor de, $\chi^2 = \sigma_0^2 \cdot (n - u) / \sigma_0^2$.

Sendo σ_0^2 a variância da unidade de peso a posteriori e σ_0^2 a unidade de peso a priori, se o valor de χ^2 for maior que o valor extraído da tabela de distribuição do Qui-Quadrado (χ^2), onde $\chi^2(n - u, 1 - \alpha) = 95\%$, a hipótese nula é quando $H_0: E\{\sigma_0^2\} = \sigma_0^2$ é rejeitada e o teste não é aceito ao nível de significância de $\alpha = 5\%$. Se o valor de χ^2 for menor que o valor extraído da tabela de distribuição χ^2 , a hipótese nula H_0 é aceita ao nível de confiança de 95%.

Tabela 28 – Coordenadas Ajustadas de X(m) e Y(m) dos pontos-objeto, localizadas na face frontal.

Vértices	Quinas	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ) m	Teste (χ^2)
EC1/EC2	15D/25D	116,8204	0,0782	117,8849	0,0539	PASSOU
EC1/EC2	16D/26D	116,7681	0,0462	117,8654	0,0318	PASSOU
EC1/EC2	17D/27D	116,7557	0,0431	117,8741	0,0296	PASSOU
EC1/EC2	15E/25E	116,4663	0,0303	117,9945	0,0203	PASSOU
EC1/EC2	16E/26E	116,4702	0,0399	118,0141	0,0266	PASSOU
EC1/EC2	17E/27E	116,4330	0,0258	117,9907	0,0172	PASSOU

Tabela 29 – Coordenadas Ajustadas de X(m) e Y(m) dos pontos-objeto, localizadas na face lateral direita.

Vértices	Quinas	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ) m	Teste (χ^2)
EC3/EL1	35D/EL15D	116,3989	0,010132	117,9972	0,012677	PASSOU
EC3/EL1	36D/EL16D	116,3690	0,010041	118,0282	0,012573	PASSOU
EC3/EL1	37D/EL17D	116,3507	0,010139	118,0143	0,012676	PASSOU
EC3/EL1	35E/EL15E	117,5618	0,008813	119,1070	0,012338	PASSOU
EC3/EL1	36E/EL16E	117,5515	0,008811	119,1301	0,01235	PASSOU
EC3/EL1	37E/EL17E	117,5452	0,008821	119,0959	0,012335	PASSOU

b) MÉTODO DE NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO

As Tabelas 30 e 31 mostram as coordenadas Z(m), obtidas pelo método de Nivelamento Trigonométrico (cf. 3.5), para as quinas direita e esquerda, localizadas na face frontal do pilar oito. E a para as quinas direita e esquerda, localizadas na face lateral direita do mesmo pilar.

Tabela 30 – Nivelamento Trigonométrico, (face Frontal).

Quinas	Z(m)	Quinas	Z(m)	Diferença (m)
15D	6,5598	25D	6,5690	-0,0092
16D	9,4948	26D	9,5039	-0,0090
17D	12,3906	27D	12,4022	-0,0116
15E	6,5245	25E	6,5350	-0,0105
16E	9,4579	26E	9,4701	-0,0122
17E	12,3855	27E	12,3959	-0,0103

Tabela 31 – Nivelamento Trigonométrico, (face Lateral direita).

Quinas	Z(m)	Quinas	Z(m)	Diferença (m)
35D	6,5856	EL15D	6,4230	0,1626
36D	9,5383	EL16D	9,2448	0,2935
37D	12,4913	EL17D	12,1045	0,3868
35E	6,5455	EL15E	6,5459	-0,0002
36E	9,4826	EL16E	9,4482	0,0344
37E	12,4215	EL17E	12,3939	0,0276

No Método do Nivelamento Trigonométrico, algumas quinas/hastes sofreram discrepâncias consideradas insatisfatórias, já que as intersecções

visavam o mesmo ponto (quina/haste) em diferentes pontos de referência. O apêndice 7 mostra um exemplo do cálculo para obter a coordenada Z.

Uma das explicações para este fato foi que alguns vértices de referência, como por exemplo, EL1 (segunda visita) e EL6 (quinta visita), não foram aceitas as hipóteses nula H_0 ao nível de significância de $\alpha=5\%$. Portanto estes erros repercutiram para a altimetria de alguns pontos. As Tabelas no Nivelamento Trigonométrico para os vértices citados acima não serão apresentados nesta dissertação, mas os mesmos pontos foram levantados em campo. Para os vértices que foram aceitos no teste do Qui-Quadrado (χ^2) ao nível de confiança de 95% as diferenças altimétricas entre as intersecções das quinas visadas de uma face a outra obteve resultados satisfatórios na determinação dos pontos-objeto.

- **DIA 20/09/2012**

a) MÉTODO DA INTERSEÇÃO A VANTE 2D

Para esta segunda campanha de medição foram obtidas as coordenadas dos pontos-objeto, quinas e hastes metálicas. A partir desta campanha de medição as quinas foram medidas na parte superior da viga (cf. Figura 6). A Tabela 32 mostra as quinas direita e esquerda da face frontal do pilar oito. A Tabela 33 mostra as quinas direita e esquerda da face lateral direita.

Tabela 32 – Coordenadas das quinas direita e esquerda da face frontal.

Vértices	Quinas	X(m)	Y (m)
EC1/EC2	11D/21D	116,7050	117,8069
EC1/EC2	12D/22D	116,7093	117,7863
EC1/EC2	13D/23D	116,7159	117,8671
EC1/EC2	14D/24D	116,7645	118,0066
EC1/EC2	15D/25D	116,6688	117,8392
EC1/EC2	16D/26D	116,6741	117,8422
EC1/EC2	17D/27D	116,6754	117,8439
EC1/EC2	11E/21E	116,3269	117,7894
EC1/EC2	12E/22E	116,3540	117,8304
EC1/EC2	13E/23E	116,4878	118,1244
EC1/EC2	14E/24E	116,4918	118,1576
EC1/EC2	15E/25E	116,3736	117,9716
EC1/EC2	16E/26E	116,3886	117,9835
EC1/EC2	17E/27E	116,3674	117,9396

Tabela 33 – Coordenadas das quinas direita e esquerda da face lateral direita.

Vértices	Quinas	X(m)	Y (m)
EC3/EC2	38D/28D	116,5752	117,6852
EC1/EC3	19D/39D	116,5590	117,7224
EC1/EC3	110D/310D	116,5784	117,7556
EC3/EC2	38E/28E	117,1611	119,5876
EC1/EC3	19E/39E	117,4643	119,1885
EC1/EC3	110E/310E	117,4717	119,1762

As Tabelas 34 e 35 mostram os resultados das coordenadas das quinas calculadas pelo MMQ- Modelo Paramétrico.

Tabela 34 – Coordenadas das quinas direita e esquerda ajustadas da face lateral direita.

Vértices	Quinas	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ)	Teste (χ^2)
EC3/EC2	38D/28D	116,6221	0,0063	117,7058	0,0036	PASSOU
EC1/EC3	19D/39D	116,5740	0,0044	117,7636	0,0037	PASSOU
EC1/EC3	110D/310D	116,5932	0,0041	117,7969	0,0034	PASSOU
EC3/EC2	38E/28E	117,2048	0,0068	119,6055	0,0041	PASSOU
EC1/EC3	19E/39E	117,4778	0,0044	119,2293	0,0037	PASSOU
EC1/EC3	110E/310E	117,4851	0,0048	119,2170	0,0040	PASSOU

Tabela 35 – Coordenadas das quinas direita e esquerda ajustadas da face frontal.

Vértices	Quinas	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ) m	Teste (χ^2)
EC1/EC2	11D/21D	116,7085	0,0031	117,8129	0,0021	PASSOU
EC1/EC2	12D/22D	116,7119	0,0041	117,7917	0,0028	PASSOU
EC1/EC2	13D/23D	116,7857	0,0288	117,9015	0,0197	PASSOU
EC1/EC2	14D/24D	116,8353	0,0285	118,0413	0,0195	PASSOU
EC1/EC2	15D/25D	116,5972	0,0272	117,8037	0,0187	PASSOU
EC1/EC2	16D/26D	116,6020	0,0270	117,8064	0,0185	PASSOU
EC1/EC2	17D/27D	116,6036	0,0272	117,8084	0,0186	PASSOU
EC1/EC2	11E/21E	116,3303	0,0025	117,7952	0,0017	PASSOU
EC1/EC2	12E/22E	116,3576	0,0024	117,8363	0,0016	PASSOU
EC1/EC2	13E/23E	116,5571	0,0289	118,1570	0,0193	PASSOU
EC1/EC2	14E/24E	116,5629	0,0276	118,1913	0,0184	PASSOU
EC1/EC2	15E/25E	116,3019	0,0265	117,9375	0,0177	PASSOU
EC1/EC2	16E/26E	116,3169	0,0266	117,9493	0,0177	PASSOU
EC1/EC2	17E/27E	116,2963	0,0269	117,9058	0,0179	PASSOU

As Tabelas 36 e 37 mostram as coordenadas X e Y calculadas para as hastes metálicas observadas, denominadas de hastes chanfradas, localizadas na face frontal do pilar, e haste direita localizadas na face frontal direita do pilar (Figura 45).

Tabela 36 – Coordenadas Planimétricas das hastes metálicas direitas.

Vértices	Hastes	X(m)	Y (m)
EC1/EC2	H11D/H21D	116,3137	118,0590
EC1/EC2	H13D/H23D	116,4663	118,4127
EC1/EC2	H14D/H24D	116,3568	118,2024
EC1/EC2	H15D/H25D	116,3251	118,2200
EC1/EC2	H16D/H26D	116,3214	118,2218
EC1/EC2	H17D/H27D	116,3520	118,2038
EC3/EC2	H38D/H28D	116,2940	118,2664
EC3/EL2	H39D/HEL29D	116,2915	118,2701
EC1/EC3	H110D/H310D	116,3587	118,2398
EC1/EC3	H31D/HEL11D	115,1226	120,1082

Tabela 37 – Coordenadas Planimétricas das hastes metálicas chanfradas.

Vértices	Hastes	X(m)	Y (m)
EC1/EC2	H13C/H23C	116,7780	117,6390
EC1/EC2	H14C/H24C	116,8090	117,7254
EC1/EC2	H15C/25C	116,7306	117,5882
EC1/EC2	H16C/H26C	116,7520	117,6159
EC1/EC2	H17C/H27C	116,7675	117,5931
EC1/EC2	H18C/H28C	116,7179	117,5671

As Tabelas 38, e 39 apresentam os resultados das coordenadas ajustadas pelo MMQ – Modelo Paramétrico.

Tabela 38 – Coordenada das hastes chanfradas ajustadas

Vértices	Hastes	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ) m	Teste (χ^2)
EC1/EC2	H13C/H23C	116,8487	0,0279	117,6748	0,0195	NÃO PASSOU
EC1/EC2	H14C/H24C	116,8785	0,0291	117,7602	0,0203	NÃO PASSOU
EC1/EC2	H15C/25C	116,6598	0,0276	117,5523	0,0192	NÃO PASSOU
EC1/EC2	H16C/H26C	116,6810	0,0276	117,5800	0,0192	NÃO PASSOU
EC1/EC2	H17C/H27C	116,6957	0,0271	117,5565	0,0189	NÃO PASSOU

Tabela 39 – Coordenadas das hastes direitas ajustadas.

Vértices	Hastes	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ) m	Teste (χ^2)
EC1/EC2	H11D/H21D	116,3171	0,0023	118,0647	0,0015	PASSOU
EC1/EC2	H13D/H23D	116,5356	0,0293	118,4445	0,0193	PASSOU
EC1/EC2	H14D/H24D	116,2860	0,0275	118,1695	0,0181	PASSOU
EC1/EC2	H15D/H25D	116,2550	0,0279	118,1877	0,0183	PASSOU
EC1/EC2	H16D/H26D	116,2729	0,0509	118,2035	0,0334	PASSOU
EC1/EC2	H17D/H27D	116,2814	0,0276	118,1710	0,0182	PASSOU
EC3/EC2	H38D/H28D	116,3409	0,0068	118,2856	0,0038	PASSOU
EC3/EL2	H39D/HEL29D	116,3052	0,0060	118,3114	0,0048	PASSOU
EC1/EC3	H110D/H310D	116,3735	0,0048	118,2799	0,0039	PASSOU

b) MÉTODO DE NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO

A seguir serão detalhadas as Tabelas para todos os pontos e suas respectivas diferenças entre as intersecções realizadas.

Tabela 40 – Coordenada Z(m) das quinas a partir de EC1 e EC2 da face frontal.

Quinas	Z(m)	Quinas	Z(m)	Diferença (m)
11D	4,2719	21D	4,3013	-0,0294
12D	7,1817	22D	7,2048	-0,0231
13D	10,1375	23D	10,1480	-0,0105
14D	13,1480	24D	13,1718	-0,0238
15D	15,9679	25D	15,9992	-0,0313
16D	18,8918	26D	18,8976	-0,0058
17D	21,8261	27D	21,8301	-0,0040
11E	4,2531	21E	4,2511	0,0019
12E	7,1529	22E	7,1545	-0,0016
13E	10,1738	23E	10,2014	-0,0276
14E	13,1273	24E	13,1821	-0,0548
15E	15,9508	25E	15,9580	-0,0072
16E	18,9110	26E	18,9213	-0,0103
17E	21,7716	27E	21,7767	-0,0051

Tabela 41 – Coordenadas Z(m) das quinas direitas a partir de EC1 e EC3, face lateral direita.

Quinas	Z(m)	Quinas	Z(m)	Discrepância (m)
19D	27,5140	39D	27,4639	0,0501
110D	30,5721	310D	30,9020	-0,3299

Tabela 42 – Coordenadas Z(m) das hastes chanfradas a partir de EC1 e EC2.

Hastes	Z(m)	Hastes	Z(m)	Diferença (m)
H13C	10,1617	H23C	10,1746	-0,0128
H14C	13,1412	H24C	13,1693	-0,0280
H15C	15,9517	H25C	15,9611	-0,0094
H16C	18,9091	H26C	18,9136	-0,0045
H17C	21,8386	H27C	21,8442	-0,0056
H18C	24,9792	H28C	25,0368	-0,0575

Tabela 43 – Coordenadas Z(m) das hastes direitas a partir de EC1, EC2 e EC3.

Hastes	Z(m)	Hastes	Z(m)	Diferença (m)
H11D	4,2374	H21D	4,2429	-0,0054
H13D	10,1043	H23D	10,2079	-0,1036
H14D	13,0445	H24D	13,0496	-0,0051
H15D	15,9507	H25D	15,9559	-0,0052
H16D	18,9228	H26D	18,9317	-0,0089
H17D	21,8411	H27D	21,8493	-0,0082
H19D	27,9978	H39D	28,0152	-0,0174
H110D	30,8232	H310D	30,7256	0,0976

c) LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO A PARTIR DE TRÊS VÉRTICES E TRÊS PONTOS CONHECIDOS

Este método determina as coordenadas planialtimétricas através de três vértices conhecidos (cf. item 3.6). No exemplo que será visto a seguir, os pontos de referência foram EC1, EC2 e EC3 e o ponto-objeto foi a haste metálica denominada H11D, ou seja, haste do primeiro pavimento da face direita do pilar oito. Para a realização deste método, inicialmente precisa-se da coordenada a priori que foi determinada nos métodos planimétrico descritos acima. A Tabela 44 mostra os resultados obtidos através deste método de medição.

Tabela 44 – Coordenadas Planialtimétricas da haste H11D a partir de EC1, EC2 e EC3.

Haste	X(m)	Y(m)	Z(m)
H11D	116,3162	118,0514	6,31928

Portanto podem-se obter as coordenadas planialtimétricas das quinas/hastes metálicas através deste método. No apêndice 6 é apresentado a rotina elaborada no software MATLAB versão 9.0.

• DIA 21/11/2012

a) MÉTODO DA INTERSEÇÃO A VANTE 2D

Na terceira campanha de medição foram obtidas as coordenadas dos pontos-objeto, quinas e hastes metálicas. As Tabelas 45 e 46 mostram as

coordenadas calculadas para as quinas direita e esquerda da face frontal e as quinas direita e esquerda da face lateral direita, respectivamente.

Tabela 45 – Coordenadas das quinas direita e esquerda da face frontal.

Vértices	Quinas	X(m)	Y (m)
EL1/EL2	EL111D/EL211D	116,5588	117,3630
EL1/EL2	EL112D/EL212D	116,5332	117,3263
EL1/EL2	EL113D/EL213D	116,5427	117,3115
EL1/EL2	EL114D/EL214D	116,5403	117,3381
EL1/EL2	EL115D/EL215D	116,5465	117,3587
EL1/EL2	EL116D/EL216D	116,5467	117,3557
EL1/EL2	EL111E/EL211E	116,2612	117,5129
EL1/EL2	EL112E/ EL212E	116,2487	117,5007
EL1/EL2	EL113E/ EL213E	116,2636	117,4935
EL1/EL2	EL114E/ EL214E	116,2328	117,3938
EL1/EL2	EL115E/ EL215E	116,2527	117,4850
EL1/EL2	EL116E/ EL216E	116,2392	117,4431
EL1/EL2	EL117E/ EL217E	116,2152	117,4123

Tabela 46 – Coordenadas das quinas direita e esquerda da face lateral direita.

Vértices	Quinas	X(m)	Y (m)
EL3/EL4	EL312D/EL412D	116,5261	117,5829
EL3/EL4	EL313D/EL413D	116,5671	117,5152
EL3/EL4	EL314D/EL414D	116,5931	117,4985
EL3/EL4	EL315D/EL415D	116,6176	117,4432
EL1/EL2	EL115D/EL215D	116,5465	117,3587
EL1/EL2	EL116D/EL216D	116,5467	117,3557
EL3/EL4	EL312E/ EL412E	117,7201	118,6721
EL3/EL4	EL313E/ EL413E	117,7630	118,6209
EL3/EL4	EL315E/ EL415E	117,7313	118,6512

As Tabelas 47 e 48 mostram os resultados calculados com o ajustamento pelo MMQ – Modelo Paramétrico.

Tabela 47 – Coordenadas ajustadas das quinas direita e esquerda da face frontal.

Vértices	Quinas	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ) m	Teste (χ^2)
EL1/EL2	EL112D/EL212D	116,5609	0,0457	117,3345	0,017111	PASSOU
EL1/EL2	EL113D/EL213D	116,5791	0,0371	117,3223	0,01389	PASSOU
EL1/EL2	EL114D/EL214D	116,5247	0,0166	117,3329	0,006216	PASSOU
EL1/EL2	EL115D/EL215D	116,519	0,0065	117,3506	0,002924	PASSOU
EL1/EL2	EL116D/EL216D	116,5366	0,0057	117,3530	0,002546	PASSOU
EL1/EL2	EL111E/EL211E	116,2330	0,0618	117,5036	0,022728	PASSOU
EL1/EL2	EL112E/ EL212E	116,2309	0,0164	117,4949	0,006024	PASSOU
EL1/EL2	EL113E/ EL213E	116,2426	0,0159	117,4868	0,00584	PASSOU
EL1/EL2	EL114E/ EL214E	116,2139	0,0162	117,3876	0,005965	PASSOU
EL1/EL2	EL115E/ EL215E	116,2327	0,0159	117,4786	0,005862	PASSOU
EL1/EL2	EL116E/ EL216E	116,2160	0,0153	117,4357	0,005623	PASSOU
EL1/EL2	EL117E/ EL217E	116,1855	0,0139	117,4029	0,005115	PASSOU

Tabela 48 – Coordenadas ajustadas, quinas direita e esquerda da face lateral direita.

Vértices	Quinas	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ) m	Teste (χ^2)
EL3/EL4	EL312D/EL412D	116,5701	0,029424	117,5625	0,016562	NÃO PASSOU
EL3/EL4	EL313D/EL413D	116,6125	0,02928	117,4941	0,016487	NÃO PASSOU
EL3/EL4	EL314D/EL414D	116,6441	0,028988	117,4743	0,016337	NÃO PASSOU
EL3/EL4	EL315D/EL415D	116,6502	0,029722	117,4289	0,016748	NÃO PASSOU
EL3/EL4	EL312E/ EL412E	117,7627	0,03066	118,6501	0,01886	NÃO PASSOU
EL3/EL4	EL313E/ EL413E	117,8057	0,030722	118,5988	0,018911	NÃO PASSOU
EL3/EL4	EL315E/ EL415E	117,7801	0,030266	118,6255	0,018618	NÃO PASSOU

Nesta terceira visita também foram medidas hastes, denominadas de chanfradas e hastes esquerdas. Nas Tabelas 49 e 50 mostram as coordenadas calculadas para as hastes metálicas.

Tabela 49 – Coordenadas planimétricas das hastes chanfradas.

Vértices	Hastes	X(m)	Y (m)
EC1/EC2	H12C/ H22C	116,7523	117,5888
EC1/EC2	H13C/ H23C	116,7199	117,5570
EL1/EC2	HEL14C/ H24C	117,2086	118,5103
EL1/EC2	HEL15C/ H25C	117,2400	118,5572
EL1/EC2	HEL16C/ H26C	117,2496	118,5233
EL1/EC2	HEL17C/ H27C	117,1996	118,5007
EL1/EC3	HEL18C/ H28C	117,2099	118,5768
EL1/EL2	HEL19C/ HEL29C	116,5751	117,0736
EL1/EL2	HEL110C/HEL210C	116,5866	117,0873
EL1/EL2	HEL111C/HEL211C	116,5729	117,1102
EL1/EL2	HEL112C/HEL212C	116,6072	117,1185
EL1/EL2	HEL113C/HEL213C	116,6279	117,0521
EL1/EL2	HEL114C/HEL214C	116,6304	117,0735
EL1/EL2	HEL116C/HEL216C	116,6386	117,0587
EL1/EL2	HEL117C/HEL217C	116,6248	117,0818
EL3/EL4	HEL312C/HEL412C	116,5278	117,7634
EL3/EL4	HEL313C/HEL413C	116,5348	117,7659
EL3/EL4	HEL314C/HEL414C	116,5858	117,7751
EL3/EL4	HEL315C/HEL415C	116,5440	117,7248

Tabela 50 – Coordenadas planimétricas das hastes esquerda.

Vértices	Hastes	X(m)	Y (m)
EC1/EC2	H12E/ H22E	116,3782	118,2326
EC1/EC2	H13E/ H23E	116,3571	118,2051
EL1/EC2	HEL14E/ H24E	116,9315	119,4833
EL1/EC2	HEL15E/ H25E	116,9255	119,4841
EL1/EC2	HEL16E/ H26E	116,9550	119,4592
EL1/EC2	HEL17E/ H27E	116,9032	119,5479
EL1/EC2	HEL18E/ H28E	116,9355	119,6359
EL1/EL2	HEL19E/ HEL29E	116,2211	117,7327
EL1/EL2	HEL110E/HEL210E	116,1411	117,6949
EL1/EL2	HEL111E/HEL211E	116,1622	117,7017
EL1/EL2	HEL112E/HEL212E	116,1920	117,7297
EL3/EL4	HEL313E/HEL413E	117,3960	118,5845
EL3/EL4	HEL314E/HEL414E	117,3423	118,6587
EL3/EL4	HEL315E/HEL415E	117,4022	118,5836

As Tabelas 51 e 52 mostra os cálculos dos respectivos ajustamentos pelo MMQ – Modelo Paramétrico.

Tabela 51 – Coordenada planimétricas ajustadas das hastes chanfradas.

Vértices	Hastes	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ) m	Teste (χ^2)
EC1/EC2	H12C/ H22C	116,8229	0,0278	117,6246	0,0194	PASSOU
EC1/EC2	H13C/ H23C	116,7905	0,0277	117,5927	0,0193	PASSOU
EL1/EC2	HEL14C/ H24C	117,1967	0,0059	118,5131	0,0031	PASSOU
EL1/EC2	HEL15C/ H25C	117,2281	0,0059	118,5600	0,0031	PASSOU
EL1/EC2	HEL16C/ H26C	117,2376	0,0059	118,5260	0,0031	PASSOU
EL1/EC2	HEL17C/ H27C	117,1877	0,0059	118,5034	0,0030	PASSOU
EL1/EC2	HEL18C/ H28C	117,1980	0,0058	118,5797	0,0030	PASSOU
EL1/EL2	HEL19C/HEL29C	116,5512	0,0147	117,0657	0,0055	PASSOU
EL1/EL2	HEL110C/HEL210C	116,5627	0,0146	117,0794	0,0055	PASSOU
EL1/EL2	HEL111C/HEL211C	116,5490	0,0147	117,1023	0,0055	PASSOU
EL1/EL2	HEL112C/HEL212C	116,5833	0,0146	117,1106	0,0055	PASSOU
EL1/EL2	HEL113C/HEL213C	116,6040	0,0146	117,0442	0,0055	PASSOU
EL1/EL2	HEL114C/HEL214C	116,6065	0,0146	117,0656	0,0055	PASSOU
EL1/EL2	HEL116C/HEL216C	116,6148	0,0146	117,0508	0,0055	PASSOU
EL1/EL2	HEL117C/HEL217C	116,6009	0,0146	117,0739	0,0055	PASSOU
EL3/EL4	HEL312C/HEL412C	116,5722	0,0296	117,7426	0,0168	PASSOU
EL3/EL4	HEL313C/HEL413C	116,5792	0,0296	117,7451	0,0168	PASSOU
EL3/EL4	HEL314C/HEL414C	116,6302	0,0296	117,7542	0,0168	PASSOU
EL3/EL4	HEL315C/HEL415C	116,5883	0,0296	117,7041	0,0167	PASSOU

Tabela 52 – Coordenada planimétricas ajustadas das hastes esquerdas.

Vértices	Hastes	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ) m	Teste (χ^2)
EC1/EC2	H12E/ H22E	116,4485	0,0279	118,2652	0,0184	PASSOU
EC1/EC2	H13E/ H23E	116,4274	0,0278	118,2377	0,0183	PASSOU
EL1/EC2	HEL14E/ H24E	116,9216	0,0046	119,4876	0,0022	PASSOU
EL1/EC2	HEL15E/ H25E	116,9155	0,0046	119,4884	0,0022	PASSOU
EL1/EC2	HEL16E/ H26E	116,9450	0,0047	119,4634	0,0023	PASSOU
EL1/EC2	HEL17E/ H27E	116,8934	0,0045	119,5522	0,0022	PASSOU
EL1/EC2	HEL18E/ H28E	116,9257	0,0045	119,6403	0,0022	PASSOU
EL1/EL2	HEL19E/HEL29E	116,1967	0,0150	117,7250	0,0055	PASSOU
EL1/EL2	HEL110E/HEL210E	116,1165	0,0151	117,6872	0,0055	PASSOU
EL1/EL2	HEL111E/HEL211E	116,1376	0,0151	117,6941	0,0055	PASSOU
EL1/EL2	HEL112E/HEL212E	116,1676	0,0150	117,7220	0,0055	PASSOU
EL3/EL4	HEL313E/HEL413E	117,4417	0,0304	118,5611	0,0184	PASSOU
EL3/EL4	HEL314E/HEL414E	117,3881	0,0305	118,6353	0,0184	PASSOU
EL3/EL4	HEL315E/HEL415E	117,4479	0,0304	118,5602	0,0184	PASSOU

b) MÉTODO DE NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO

O método do nivelamento trigonométrico foi realizado para todos os pontos-objeto medidas. A seguir serão detalhadas as Tabelas para todos os pontos e suas respectivas diferenças entre as interseções realizadas.

Tabela 53 – Coordenada Z(m) das quinas a partir de EL1 e EL2 da face frontal.

Quinas	Z(m)	Quinas	Z(m)	Diferença (m)
EL112D	38,9095	EL212D	38,8635	0,046
EL113D	41,7814	EL213D	41,8090	-0,0276
EL114D	44,7005	EL214D	44,7910	-0,0905
EL115D	47,6316	EL215D	47,7768	-0,1452
EL116D	50,5377	EL216D	50,7648	-0,2271
EL111E	36,0883	EL211E	36,0210	0,0673
EL112E	38,9768	EL212E	38,8743	0,1025
EL113E	41,8456	EL213E	41,7951	0,0505
EL114E	44,6273	EL214E	44,6555	-0,0282
EL115E	47,6248	EL215E	47,7028	-0,078
EL116E	50,4653	EL216E	50,5034	-0,0381
EL117E	53,3222	EL217E	53,4133	-0,0911

Tabela 54 – Coordenada Z(m) das quinas direita a partir de EL3 e EL4 da face lateral direita.

Quinas	Z(m)	Quinas	Z(m)	Diferença (m)
EL313D	42,9645	EL413D	42,8742	0,0903
EL314D	45,9238	EL414D	45,8228	0,1010
EL315D	48,9702	EL415D	48,8941	0,0762
EL312E	39,9610	EL412E	39,8962	0,0648
EL313E	42,9992	EL413E	42,9889	0,0103
EL315E	48,8326	EL415E	48,7991	0,0335

Tabela 55 – Coordenada Z(m) das hastes chanfradas a partir de EC1 e EC2.

Hastes	Z(m)	Hastes	Z(m)	Diferença (m)
H12C	10,1246	H22C	10,1447	-0,0201
H13C	13,0352	H23C	13,0538	-0,0186
HEL14C	16,6982	H24C	16,6769	0,0213
HEL15C	19,7818	H25C	19,7968	-0,0150
HEL16C	22,8394	H26C	22,8671	-0,0277
HEL17C	25,9581	H27C	25,9606	-0,0025
HEL18C	28,9516	H28C	29,0611	-0,1095
HEL19C	30,2834	HEL29C	30,2432	0,0402
HEL110C	33,1551	HEL210C	33,1091	0,0460
HEL111C	36,0642	HEL211C	36,0153	0,0489
HEL112C	38,9526	HEL212C	38,8965	0,0561
HEL113C	41,8477	HEL213C	41,8983	-0,0506
HEL114C	44,8100	HEL214C	44,8308	-0,0208
HEL116C	50,7995	HEL216C	50,7834	0,0161
HEL117C	53,3989	HEL217C	53,3446	-0,0457
HEL312C	39,9749	HEL412C	39,8805	0,0944
HEL313C	42,9422	HEL413C	42,8487	0,0935
HEL314C	45,8725	HEL414C	45,7620	0,1105
HEL315C	48,9261	HEL415C	48,9059	0,0202

Tabela 56 – Coordenada Z(m) das hastes esquerdas a partir de EC1 e EC2.

Hastes	Z(m)	Hastes	Z(m)	Diferença (m)
H12E	10,0983	H22E	10,1177	-0,0194
H13E	13,0258	H23E	13,0438	-0,0180
HEL14E	16,4204	H24E	16,9136	-0,4931
HEL15E	19,4924	H25E	20,0833	-0,5909
HEL16E	22,5063	H26E	22,5089	-0,0025
HEL17E	25,5259	H27E	25,5246	0,0014
HEL18E	28,6209	H28E	28,5745	0,0464
HEL19E	30,2650	HEL29E	30,2273	0,0377
HEL110E	33,2064	HEL210E	33,1647	0,0416
HEL111E	36,0269	HEL211E	35,9800	0,0469
HEL112E	38,9126	HEL212E	39,9048	-0,9923
HEL312E	39,9625	HEL412E	39,9029	0,0596
HEL313E	42,9492	HEL413E	42,8497	0,0995
HEL314E	45,8709	HEL414E	45,8554	0,0155
HEL315E	48,8801	HEL415E	48,8613	0,0189

- **DIA 24/01/2013**

- a) **MÉTODO DA INTERSEÇÃO A VANTE 2D**

As Tabelas 57 e 58 mostram as coordenadas calculadas para as hastes chanfradas e hastes à direita. E as Tabelas 59 e 60 mostram os resultados das coordenadas das hastes ajustadas pelo MMQ – Modelo Paramétrico.

Tabela 57 – Coordenadas Planimétricas das hastes chanfradas.

Vértices	Hastes	X(m)	Y (m)
EC1/EC2	H12C/ H22C	116,7630	117,6143
EC1/EC2	H13C/ H23C	116,7360	117,5863
EL1/EC2	HEL14C/ H24C	116,5132	117,1736
EL1/EC2	HEL15C/ H25C	116,6417	117,4027
EL1/EC2	HEL16C/ H26C	116,7565	117,5699
EL1/EC2	HEL17C/ H27C	116,6890	117,5104
EL1/EC2	HEL18C/ H28C	116,7566	117,6937
EL1/EL2	HEL19C/ HEL29C	117,1803	118,4433
EL1/EL2	HEL110C/HEL210C	117,1890	118,4480
EL1/EL2	HEL111C/HEL211C	117,1686	118,4590
EL1/EL2	HEL112C/HEL212C	117,2006	118,4651
EL1/EL2	HEL114C/HEL214C	117,2409	118,4613
EL3/EL2	HEL315C/HEL215C	116,9614	117,4766
EL3/EL2	HEL316C/HEL216C	117,0324	117,5443
EL3/EL2	HEL317C/HEL217C	116,9484	117,4732
EL3/EL2	HEL318C/HEL218C	116,8960	117,2628
EL3/EL2	HEL319C/HEL219C	116,9658	117,3874
EL3/EL2	HEL320C/HEL220C	116,9825	117,4828
EL3/EL2	HEL322C/HEL222C	116,9324	117,1667
EL3/EL2	HEL323C/HEL223C	116,9683	117,2815

Tabela 58 – Coordenadas Planimétricas das hastes à direita.

Vértices	Hastes	X(m)	Y (m)
EC1/EC2	H12D/ H22D	116,3927	118,2640
EC1/EC2	H13D/ H23D	116,3709	118,2361
EL1/EC2	HEL14D/ H24D	116,2473	118,0600
EL1/EC2	HEL15D/ H25D	116,2574	118,0900
EL1/EC2	HEL16D/ H26D	116,3114	118,1211
EL1/EC2	HEL17D/ H27D	116,2852	118,2468
EL1/EC2	HEL18D/ H28D	116,2777	118,2488
EL1/EL2	HEL19D/ HEL29D	116,8352	119,1769
EL1/EL2	HEL110D/HEL210D	116,7475	119,1229
EL1/EL2	HEL111D/HEL210D	116,7663	119,1242
EL1/EL2	HEL112D/HEL212D	116,8023	119,1716
EL1/EL2	HEL113D/HEL213D	116,8131	119,1565
EL1/EL2	HEL114D/HEL214D	116,8608	119,2089
EL3/EL2	HEL315D/HEL215D	116,5346	118,1586
EL3/EL2	HEL316D/HEL216D	116,6059	118,3248
EL3/EL2	HEL317D/HEL217D	116,5447	118,1156
EL3/EL2	HEL318D/HEL218D	116,5454	118,1919
EL3/EL2	HEL320D/HEL220D	116,4786	118,0498
EL3/EL2	HEL321D/HEL221D	116,5167	118,0274
EL3/EL2	HEL323D/HEL223D	116,4925	117,9468

Tabela 59 – Coordenadas Ajustadas das hastes chanfradas.

Vértices	Hastes	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ) m	Teste (χ^2)
EC1/EC2	H12C/ H22C	116,8334	0,0281	117,6499	0,0196	NÃO PASSOU
EC1/EC2	H13C/ H23C	116,8131	0,0243	117,6264	0,0169	NÃO PASSOU
EL1/EC2	HEL14C/ H24C	116,5192	0,0012	117,1721	0,0007	PASSOU
EL1/EC2	HEL15C/ H25C	116,7041	0,0689	117,4274	0,0368	NÃO PASSOU
EL1/EC2	HEL16C/ H26C	116,7623	0,0016	117,5650	0,0009	PASSOU
EL1/EC2	HEL17C/ H27C	116,6974	0,0019	117,5069	0,0010	PASSOU
EL1/EC2	HEL18C/ H28C	116,7619	0,0034	117,6884	0,0018	PASSOU
EL1/EL2	HEL19C/ HEL29C	117,1876	0,0048	118,4462	0,0026	PASSOU
EL1/EL2	HEL110C/HEL210C	117,1899	0,0005	118,4478	0,0002	PASSOU
EL1/EL2	HEL111C/HEL211C	117,1694	0,0005	118,4588	0,0003	PASSOU
EL1/EL2	HEL112C/HEL212C	117,2019	0,0004	118,4651	0,0002	PASSOU
EL1/EL2	HEL114C/HEL214C	117,2405	0,0048	118,4606	0,0026	PASSOU
EL3/EL2	HEL315C/HEL215C	116,9544	0,0050	117,4755	0,0021	PASSOU
EL3/EL2	HEL316C/HEL216C	117,0245	0,0050	117,5429	0,0021	PASSOU
EL3/EL2	HEL317C/HEL217C	116,9409	0,0050	117,4720	0,0021	PASSOU
EL3/EL2	HEL318C/HEL218C	116,8886	0,0050	117,2615	0,0021	PASSOU
EL3/EL2	HEL319C/HEL219C	116,9585	0,0050	117,3862	0,0021	PASSOU
EL3/EL2	HEL320C/HEL220C	116,9744	0,0050	117,4813	0,0021	PASSOU
EL3/EL2	HEL322C/HEL222C	116,9163	0,0080	117,1631	0,0034	PASSOU
EL3/EL2	HEL323C/HEL223C	116,9560	0,0061	117,2790	0,0026	PASSOU

Tabela 60 – Coordenadas Ajustadas das hastes à direita.

Vértices	Hastes	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ) m	Teste (χ^2)
EC1/EC2	H12D/ H22D	116,4657	0,0260	118,2983	0,0171	NÃO PASSOU
EC1/EC2	H13D/ H23D	116,4454	0,0248	118,2714	0,0163	NÃO PASSOU
EL1/EC2	HEL14D/ H24D	116,2439	0,0033	118,0508	0,0016	PASSOU
EL1/EC2	HEL15D/ H25D	116,2638	0,0043	118,0854	0,0021	PASSOU
EL1/EC2	HEL16D/ H26D	116,3122	0,0038	118,1138	0,0019	PASSOU
EL1/EC2	HEL17D/ H27D	116,2896	0,0031	118,2412	0,0015	PASSOU
EL1/EC2	HEL18D/ H28D	116,2799	0,0029	118,2421	0,0015	PASSOU
EL1/EL2	HEL19D/ HEL29D	116,8360	0,0005	119,1767	0,0002	PASSOU
EL1/EL2	HEL110D/HEL210D	116,7506	0,0017	119,1237	0,0009	PASSOU
EL1/EL2	HEL111D/HEL211D	116,7669	0,0006	119,1239	0,0003	PASSOU
EL1/EL2	HEL112D/HEL212D	116,8033	0,0006	119,1715	0,0003	PASSOU
EL1/EL2	HEL113D/HEL213D	116,8134	0,0038	119,1561	0,0019	PASSOU
EL3/EL2	HEL114D/HEL214D	116,8538	0,0025	119,2051	0,0013	PASSOU
EL3/EL2	HEL315D/HEL215D	116,5435	0,0144	118,1617	0,0060	PASSOU
EL3/EL2	HEL316D/HEL216D	116,6024	0,0054	118,3248	0,0023	PASSOU
EL3/EL2	HEL317D/HEL217D	116,5368	0,0049	118,1143	0,0021	PASSOU
EL3/EL2	HEL318D/HEL218D	116,5392	0,0049	118,1911	0,0021	PASSOU
EL3/EL2	HEL320D/HEL220D	116,4714	0,0049	118,0487	0,0021	PASSOU
EL3/EL2	HEL321D/HEL221D	116,5031	0,0065	118,0247	0,0027	PASSOU
EL3/EL2	HEL323D/HEL223D	116,4853	0,0049	117,9457	0,0021	PASSOU

Foram visualizados nesta visita linhas de prumo localizadas na edificação predial. Abaixo a Tabela 61 mostra as coordenadas obtidas para estas linhas de prumo e a Tabela 62 o ajustamento realizado pelo método dos mínimos quadrados (MMQ).

Tabela 61 – Linhas de Prumo.

Vértices	Linhas de Prumo	X(m)	Y (m)
EC1/EC2	1°L1°P	117,1314515	117,6382576
EC1/ EL1	1°L12°P	117,1586012	117,6462714
EC1/ EL4	3°L1°P	121,6914632	115,7153582
EC1/EL4	3°L12°P	122,009253	115,9486057

Tabela 62 – Ajustamento das Linhas de Prumo.

Vértices	Hastes	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ) m	Teste (χ^2)
EC1/EC2	1°L1°P	117,2505	0,0155	117,7090	0,0110	PASSOU
EC1/ EL4	3°L1°P	117,1780	0,0046	117,6350	0,0038	PASSOU
EC1/EL4	3°L12°P	122,0391	0,0109	115,9533	0,0142	PASSOU
EC1/ EL1	1°L12°P	121,7163	0,0027	115,7083	0,0029	PASSOU

Nestes resultados pode-se perceber que as linhas de prumo (primeira e terceira linha de prumo), obedecem a uma linha vertical.

b) MÉTODO DE NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO

O Método de Nivelamento Trigonométrico foi realizado para todos os pontos-objeto e as linhas de prumo observadas. A seguir serão detalhadas as Tabelas para todos os pontos-objeto e as linhas de prumo e suas respectivas diferenças entre as intersecções realizadas.

Tabela 63 – Coordenadas Z(m) das hastes chanfradas.

Hastes	Z(m)	Hastes	Z(m)	Diferença (m)
H12C	10,1367	H22C	10,1477	-0,0110
H13C	13,5279	H23C	13,4637	0,0642
HEL14C	15,7399	H24C	15,7182	0,0217
HEL15C	18,7639	H25C	18,6933	0,0706
HEL16C	21,7935	H26C	21,8000	-0,0065
HEL17C	24,7052	H27C	24,6922	0,0130
HEL18C	27,7129	H28C	27,7959	-0,0830
HEL19C	31,4348	HEL29C	31,0600	0,3748
HEL110C	34,4099	HEL210C	34,3009	0,1090
HEL111C	37,4205	HEL211C	37,3849	0,0356
HEL112C	40,4159	HEL212C	40,3532	0,0627
HEL114C	46,4497	HEL214C	46,4514	-0,0017
HEL315C	48,2319	HEL215C	48,2282	0,0037
HEL316C	51,2493	HEL216C	51,0684	0,1809
HEL317C	54,1134	HEL217C	54,1231	-0,0097
HEL318C	56,9180	HEL218C	56,9307	-0,0127
HEL319C	59,8633	HEL219C	59,8746	-0,0113
HEL320C	62,9165	HEL220C	62,8351	0,0814
HEL322C	68,5056	HEL222C	68,3907	0,1149
HEL323C	71,5245	HEL223C	71,4091	0,1154

Tabela 64 – Coordenadas Z(m) das hastes direitas.

Hastes	Z(m)	Hastes	Z(m)	Diferença (m)
H12D	10,1124	H22D	10,1237	-0,0113
H13D	13,0418	H23D	13,0534	-0,0116
HEL14D	15,8524	H24D	15,8166	0,0358
HEL15D	18,8255	H25D	18,7915	0,0340
HEL16D	21,7609	H26D	21,7412	0,0197
HEL17D	24,7089	H27D	24,7256	-0,0167
HEL18D	27,6379	H28D	27,6528	-0,0149
HEL19D	31,4589	HEL29D	31,3691	0,0898
HEL110D	34,5083	HEL210D	34,3796	0,1287
HEL111D	37,4372	HEL211D	37,3787	0,0585
HEL112D	40,4581	HEL212D	40,3995	0,0586
HEL113D	43,4758	HEL213D	43,3999	0,0759
HEL114D	46,4255	HEL214D	46,3456	0,0799
HEL315D	48,2592	HEL215D	48,1952	0,0640
HEL316D	51,2541	HEL216D	51,1922	0,0619
HEL317D	54,0537	HEL217D	53,9838	0,0699
HEL318D	57,0687	HEL218D	56,9935	0,0752
HEL320D	62,8404	HEL220D	62,7558	0,0846
HEL321D	65,6801	HEL221D	65,5843	0,0958
HEL323D	71,4743	HEL223D	71,3999	0,0744

Tabela 65 – Coordenadas Z(m) das linhas de prumo.

Linhas de Prumo	Z(m)	Linhas de Prumo	Z(m)	Diferença (m)
1ºL1ºP	7,1226	1ºL1ºP	7,1339	-0,0113
3ºL1ºP	1,9627	3ºL1ºP	2,0045	-0,0418
3ºL12ºP	40,4726	3ºL12ºP	40,5124	-0,0398
3ºL12ºP	6,6288	3ºL12ºP	6,6263	0,0025

- **DIA 31/01/2013**

a) MÉTODO DA INTERSEÇÃO A VANTE 2D

As Tabelas 66 e 67 mostram as coordenadas calculadas para as hastes metálicas direita e esquerda localizadas na face lateral direita do pilar oito.

Nesta visita também foram realizados os ajustamentos das hastes metálicas. As Tabelas 68 e 69 mostram os resultados das coordenadas das hastes ajustadas pelo MMQ.

Tabela 66 – Coordenada das hastes direita e esquerda.

Vértices	Hastes	X(m)	Y (m)
EC3/EL5	H32E/ HEL52E	117,1353	119,1356
EC3/EL5	H33E/ HEL53E	117,2419	119,2658
EC3/EL5	H34E/ HEL54E	117,0926	119,1953
EC3/EL5	H36E/ HEL56E	117,2343	119,3177
EC3/EL5	H37E/ HEL57E	117,2338	119,3605
EC3/EL5	H38E/ HEL58E	117,1611	119,3358
EC3/EL5	H39E/ HEL59E	117,1888	119,3662
EC3/EL5	H311E/ HEL511E	117,3001	119,2025
EC3/EL5	H312E/ HEL512E	117,9786	118,2989

Tabela 67 – Coordenadas das hastes direita.

Vértices	Hastes	X(m)	Y (m)
EC3/EL5	H31D/ HEL51D	116,3227	118,2876
EC3/EL5	H32D/ HEL52D	116,3446	118,3031
EC3/EL5	H33D/ HEL53D	116,2908	118,3332
EC3/EL5	H34D/ HEL54D	116,2420	118,3663
EC3/EL5	H35D/ HEL55D	116,2185	118,3908
EC3/EL5	H36D/ HEL56D	116,2461	118,3846
EC3/EL5	H37D/ HEL57D	116,1713	118,4461
EC3/EL5	H38D/ HEL538D	116,1629	118,4598
EC3/EL5	H39D/ HEL59D	116,3497	118,2436
EC3/EL5	H310D/ HEL510D	116,2631	118,1981
EC3/EL5	H311D/ HEL511D	116,3128	118,1774
EC3/EL5	H312D/ HEL512D	116,3091	118,2720

Tabela 68 – Coordenadas Ajustadas das hastes, face esquerda.

Vértices	Hastes	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ)m	Teste (χ^2)
EC3/EL5	H32E/ HEL52E	117,1736	0,0174	119,1116	0,0126	PASSOU
EC3/EL5	H33E/ HEL53E	117,2797	0,0249	119,2418	0,0183	PASSOU
EC3/EL5	H34E/ HEL54E	117,1325	0,0247	119,1701	0,0180	PASSOU
EC3/EL5	H36E/ HEL56E	117,2750	0,0251	119,2915	0,0185	PASSOU
EC3/EL5	H37E/ HEL57E	117,2727	0,0251	119,3356	0,0185	PASSOU
EC3/EL5	H38E/ HEL58E	117,2002	0,0251	119,3108	0,0184	PASSOU
EC3/EL5	H39E/ HEL59E	117,2280	0,0251	119,3411	0,0185	PASSOU
EC3/EL5	H311E/ HEL511E	117,3395	0,0249	119,1774	0,0183	PASSOU
EC3/EL5	H312E/ HEL512E	118,0161	0,0233	118,2751	0,0172	PASSOU

Tabela 69 – Coordenada Ajustadas das hastes, face direita.

Vértices	Hastes	X (m)	(σ) m	Y(m)	(σ) m	Teste (χ^2)
EC3/EL5	H31D/ HEL51D	116,3566	0,0221	118,2686	0,0149	PASSOU
EC3/EL5	H32D/ HEL52D	116,3793	0,0157	118,2835	0,0106	PASSOU
EC3/EL5	H33D/ HEL53D	116,3274	0,0222	118,3125	0,0150	PASSOU
EC3/EL5	H34D/ HEL54D	115,6088	0,0938	118,7871	0,0630	NÃO PASSOU
EC3/EL5	H35D/ HEL55D	116,2542	0,0222	118,3707	0,0149	PASSOU
EC3/EL5	H36D/ HEL56D	116,2815	0,0223	118,3646	0,0150	PASSOU
EC3/EL5	H37D/ HEL57D	116,2076	0,0224	118,4256	0,0150	PASSOU
EC3/EL5	H38D/ HEL538D	116,1976	0,0223	118,4403	0,0150	PASSOU
EC3/EL5	H39D/ HEL59D	116,3829	0,0220	118,2250	0,0148	PASSOU
EC3/EL5	H310D/ HEL510D	116,2993	0,0219	118,1778	0,0147	PASSOU
EC3/EL5	H311D/ HEL511D	116,3474	0,0219	118,1581	0,0146	PASSOU
EC3/EL5	H312D/ HEL512D	116,3449	0,0221	118,2517	0,0148	PASSOU

b) MÉTODO DE NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO

O Método de Nivelamento Trigonométrico foi realizado para todos os pontos-objeto. A seguir serão detalhadas as Tabelas para todos os pontos-objeto e suas respectivas diferenças entre as intersecções realizadas.

Tabela 70 – Coordenadas Z(m) das hastes esquerdas.

Hastes	Z(m)	Hastes	Z(m)	Diferença (m)
H32E	10,0741	HEL52E	10,0790	-0,0049
H33E	12,9956	HEL53E	13,0019	-0,0063
H34E	15,8909	HEL54E	15,8980	-0,0071
H36E	21,6766	HEL56E	21,6906	-0,0140
H37E	24,5728	HEL57E	24,5914	-0,0186
H38E	27,4595	HEL58E	27,4822	-0,0227
H39E	30,3754	HEL59E	30,4014	-0,0259
H311E	36,4050	HEL511E	36,4052	-0,0002
H312E	40,8074	HEL512E	40,8224	-0,015

Tabela 71 – Coordenadas Z(m) das hastes direitas.

Hastes	Z(m)	Hastes	Z(m)	Diferença (m)
H31D	7,1703	HEL51D	7,1735	-0,0031
H32D	10,0790	HEL52D	10,0813	-0,0023
H33D	12,9737	HEL53D	12,9801	-0,0063
H34D	15,8496	HEL54D	15,8599	-0,0103
H35D	18,7837	HEL55D	18,7983	-0,0146
H36D	21,6791	HEL56D	21,6953	-0,0163
H37D	24,5431	HEL57D	24,5651	-0,0220
H38D	27,4510	HEL538D	27,4746	-0,0236
H39D	30,5976	HEL59D	30,5954	0,0021
H310D	33,5561	HEL510D	33,5544	0,0017
H311D	36,4703	HEL511D	36,4618	0,0085
H312D	39,3154	HEL512D	39,3166	-0,0012

Os resultados que foram obtidos dos cálculos para o método de nivelamento trigonométrico, pode-se observar que para os pontos de referência que foi aceita a hipótese nula H_0 ao nível de confiança 95% foi satisfatória para as hastes no sentido de encontrar as coordenadas altimétricas das hastes. Algumas hastes o valor da diferença entre as interseções ficaram na casa do milímetro, o que conclui que obteve-se um bom resultado aplicando tal método.

5.2.2 Levantamento da Área teste 2- Campus Recife – UFPE

A finalidade desta área teste é de mostrar os cuidados que se devem ter quanto à definição do sistema de referência para o transporte de coordenadas e realização do campo de pontos de referência.

Nesta área teste, o sistema de referência é definido em um Sistema Topográfico Local (MENDONÇA et. al., 2010) e no Sistema Geodésico Brasileiro (SIRGAS2000), os quais compõem a rede de referência cadastral da UFPE (FLOR, 2010). Além disso, durante a disciplina de Levantamentos Geodésicos (semestre 2011.1) foi densificada a rede altimétrica do *campus* Recife - UFPE.

Nesta dissertação foi implantada uma poligonal fechada e apoiada no entorno dos prédios do Centro de Tecnologia e Geociências.

A importância desse experimento na área teste 2 diz respeito ao transporte de coordenadas planimétricas e altimétricas. Neste contexto, as coordenadas dos vértices da poligonal implantada foram transportadas utilizando as coordenadas dos pontos de referência no Sistema Topográfico Local e no Sistema UTM SIRGAS2000. O transporte de altura foi realizado através do método do Nivelamento Trigonométrico, utilizando-se dos pontos de referências de nível determinadas pelo método do nivelamento geométrico nos vértices idênticos.

Ao todo a poligonal implantada está composta por 23 vértices (EF1, EF2, P2, EF3, EF4, EPS06, EF5, EF6*, EF7, EF8, EXE, EF9, EF10, EF11, EF12, EF13, EF14, EF15, EF16, EF17, EF18, EPS07 e EPS04). Sendo quatro vértices de pilares com centragem fixa (Figura 4): (P2, EPS04, EPS06 e EPS07), e os demais vértices localizados entre os meios fios.

A seguir serão descritas as medições realizadas. O Quadro 4 resume as medições realizadas na área teste 2 para a definição do campo de pontos de referência.

Quadro 4 – Descrição das medições na área teste 2- Campus UFPE.

Datas	Equipe/ Duração	Métodos	Determinação dos Pontos de Referência
31/05/2012	3 pessoas / 5 horas	Poligonação com Centragem Forçada e Niv. Trigonométrico	EPS07, EPS04, EF1, P2, EF2, EF3, EF4, EPS06 e EF5
06/06/2012	4 pessoas / 5 horas	Poligonação com Centragem Forçada e Niv. Trigonométrico	EF5, EF6*, EF7, EF8, EF9, EXE e EF10
11/06/2012	4 pessoas / 8 horas	Poligonação com Centragem Forçada e Niv. Trigonométrico	EF10, EF11, EF12, EF13, EF14, EF15, EF16, EF17, EF18 e EPS07

As medições foram realizadas em três distintos 31/05/2012, 06/06/2012 e 11/06/2012, após o reconhecimento da área e implantação dos pinos. Nesta dissertação vale ressaltar o uso de figuras extraídas do *Google Earth* ano 2012, para a visualização da área trabalhada na área teste 2. Esta imagem é de vista aérea meramente ilustrativa da área levantada. As linhas desenhadas na figura não foram inseridas usando as ferramentas do *Google*

Earth. A Figura 46 mostra o esboço da poligonal implantada nos diferentes dias de medição e os respectivos vértices implantados em campo.

Figura 46 – Esboço em vista aérea da Poligonal completa da área teste 2-CAMPUS RECIFE - UFPE.



IMAGEM: Adaptada GOOGLE Earth ano2012, acessada em Julho 2012.

As observações dos ângulos horizontais e verticais, assim como das distâncias inclinadas foram realizadas em duas séries com visadas conjugadas direta e inversa com dispositivo de centragem forçada. Foi utilizado um prisma refletor com constante aditiva de $-0,035\text{m}$ adaptado à base nivelante centrada e nivelada durante o procedimento da centragem forçada.

A coleta dos ângulos foi realizada observando-se uma tolerância de $10''$ para os valores (Hz, V) repetidos de PD e/ou PI. Para valores PD e/ou PI que ultrapassavam essa tolerância era realizada uma nova medição angular.

Os vértices EPS07, EPS04 e EPS06 foram definidos no trabalho final de monografia de (FLOR, 2010) e posteriormente (MENDONÇA et al., 2010), com coordenadas na projeção UTM SIRGAS2000.

Com isto é possível averiguar o transporte de coordenadas UTM e STL definidas pelos vértices de apoio citados acima, além de interligar estruturas

geodésicas pré-existentes localizadas no entorno do prédio do CTG/UFPE, o que possibilita aplicar o método da interseção a vante em estruturas de edificações prediais com 14 pavimentos (Prédio da Administração do CTG).

O método de Nivelamento Trigonométrico com visadas unilaterais a curta distância (cf. item 3.5) foi realizado, na área testes, com o objetivo de encontrar as altitudes dos 23 vértices da poligonal implantada. Utilizou-se para o transporte de altura a informação do vértice EF2 ($H = 9,04741\text{m}$) com respeito à RN 3641B do IBGE. O erro de fechamento altimétrico foi de $-0,00393\text{ m}$.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo geral, identificar e analisar métodos geodésicos/topográficos para o controle da verticalização de pilares de um edifício predial de grande porte, considerado neste trabalho como sendo um edifício acima de vinte pavimentos. A definição e materialização de redes geodésicas e/ou topográficas planialtimétricas de boa qualidade são necessárias, assim como a interligação de referenciais planialtimétricos locais implantados em obras de edifícios prediais e seu entorno. Desta forma o conceito de campo de pontos foi utilizado para a determinação de pontos de referência e pontos-objeto para o levantamento planialtimétrico de um pilar de uma edificação predial (capítulo 2).

Nesta dissertação utilizou-se o *software* Matlab versão 9.0 para o cálculo de métodos topográficos/geodésicos de medição como: interseção a ré por meio de medições angulares, interseção a ré por meio de medições angulares e lineares - método de transformação de similaridade (cf. item 3.3.2) entre coordenadas e método de levantamento planialtimétrico a partir de três distâncias e três pontos conhecidos (cf. item 3.6). Empregou-se também o programa Excel para o cálculo das médias das observações (Hz, V, Di), como também para o cálculo tradicional da poligonal (cf item 3.1), o método de interseção a vante (cf. item 3.2), o método de nivelamento trigonométrico (cf. item 3.5) e método de interseção a re por meio de medições angulares e lineares – Método da Estação Livre (cf. item 3.3.3). O ajustamento pelo MMQ modelo paramétrico do método de interseção a vante (cf. anexo 1 e 2) também foi calculado no Excel.

Nesta dissertação foram realizados experimentos em duas áreas teste conforme os itens 6.1.1 e 6.1.2.

6.1.1 Área Teste 1: Bairro de Casa Amarela

O campo de pontos de referência está materializado de duas maneiras: com hastes metálicas cravadas entre os meios fios das calçadas e com vértices auxiliares definidos temporariamente durante cinco épocas de medição.

Nesta área foram implantados dezessete vértices (EC1, EC2, EC3, EL1, EL2, EL3, EL4, EL5, EL6 e EL7), sendo três (EC1, EC2 e EC3) materializados com pinos e os demais não foram materializados, sendo utilizados no momento das observações para o campo de pontos-objeto.

Os vértices fixos (EC1, EC2 e EC3) foram implantados pelo método de poligonação com centragem forçada. Esta poligonal foi calculada pelo método tradicional (Excel) e o programa AstGeoTop fez-se os cálculos do ajustamento da poligonal pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) utilizando o modelo paramétrico, obteve-se o erro de fechamento angular de $-5''$ e o erro de fechamento linear de 0,0023m.

Os vértices temporários foram determinados pelos métodos de estação livre, transformação de similaridade entre coordenadas e interseção a vante. O teste do Qui-Quadrado (χ^2) foi realizado para todos os vértices calculados nesta área teste 1. Somente as hipóteses H_0 para os vértices EL1 segunda visita e EL6 quinta visita não foram aceitas para ao nível de significância $\alpha=5\%$, para os demais vértices as hipóteses H_0 foram aceitas ao nível de confiança de 95%.

Observando a Tabela 25 verifica-se que o vértice EL5 (quinta visita) obteve o menor desvio padrão para coordenada X= 0,0004 e para a coordenada Y=0,0002. E o vértice EL6 (quinta visita) obteve o maior desvio padrão para coordenada X= 0,0361 e para a coordenada Y= 0,0171.

Os pontos-objeto estão materializados: pelas quinas de um pilar e por hastes metálicas fixadas nas vigas e no entorno do pilar observado.

Os pontos-objeto foram definidos através de visadas unilaterais empregando-se os métodos de interseção a vante e nivelamento trigonométrico. O pilar de estudo foi denominado de pilar oito. Na primeira visita visaram-se apenas quinas, localizadas na parte inferior do pavimento, na segunda e terceira visitas as quinas foram visualizadas na parte superior do pavimento. A partir da segunda visita foram medidas as hastes localizadas no entorno do pilar observado.

Na primeira visita foram medidos 12 pontos-objeto. Realizou-se o teste do Qui-Quadrado (χ^2) para verificar a qualidade dos pontos-objeto. A hipótese nula H_0 , para seis pontos-objeto, não foi aceita ao nível de significância de $\alpha=5\%$ para os demais H_0 foi aceito ao nível de confiança de 95% (Tabela 29). O melhor resultado obtido foi para a quina denominada 36E/EL16E. Para a coordenada X obteve o desvio padrão igual a 0,008811m e para a coordenada Y obteve o desvio padrão igual a 0,012335m.

Na segunda visita foram medidas 33 pontos-objeto. Realizou-se o teste do Qui- Quadrado (χ^2) para verificar a qualidade dos pontos-objeto. A hipótese nula H_0 , para dez pontos-objeto, não foi aceita ao nível de significância de $\alpha=5\%$ para os demais H_0 foi aceito ao nível de confiança de 95%. O melhor resultado obtido foi para a quina denominada 12E/22E. Para a coordenada X obteve o desvio padrão igual a 0,0024m e para a coordenada Y obteve o desvio padrão igual a 0,0016m.

Em relação as hastes metálicas foram medidas 25 pontos-objeto. Realizou-se o teste do Qui- Quadrado (χ^2) para verificar a qualidade dos pontos-objeto. A hipótese nula H_0 , para cinco pontos-objeto, não foi aceita ao nível de significância de $\alpha=5\%$ para os demais H_0 foi aceito ao nível de confiança de 95%. O melhor resultado obtido foi para a haste metálica denominada H11D/H21D. Para a coordenada X obteve o desvio padrão

igual a 0,0023m e para a coordenada Y obteve o desvio padrão igual a 0,0015m.

Na terceira visita foram medidas 22 pontos-objeto. Realizou-se o teste do Qui- Quadrado (χ^2) para verificar a qualidade dos pontos-objeto. A hipótese nula H_0 , para sete pontos-objeto, não foi aceita ao nível de significância de $\alpha=5\%$ para os demais H_0 foi aceito ao nível de confiança de 95%. O melhor resultado obtido foi para a quina denominada EL116D/EL216D. Para a coordenada X obteve o desvio padrão igual a 0,0057m e para a coordenada Y obteve o desvio padrão igual a 0,002546m.

Em relação as hastes metálicas foram medidas 34 pontos-objeto. Realizou-se o teste do Qui- Quadrado (χ^2) para verificar a qualidade dos pontos-objeto. A hipótese nula H_0 , para nove pontos-objeto, não foi aceita ao nível de significância de $\alpha=5\%$ para os demais H_0 foi aceito ao nível de confiança de 95%. O melhor resultado obtido foi para a haste metálica denominada HEL18E/H28E. Para a coordenada X obteve o desvio padrão igual a 0,0045m e para a coordenada Y obteve o desvio padrão igual a 0,0022m.

Na quarta visita foram medidas 40 pontos-objeto (hastes metálicas). Realizou-se o teste do Qui- Quadrado (χ^2) para verificar a qualidade dos pontos-objeto. A hipótese nula H_0 , para cinco pontos-objeto, não foi aceita ao nível de significância de $\alpha=5\%$ para os demais H_0 foi aceito ao nível de confiança de 95%. O melhor resultado obtido foi para a quina denominada HEL112C/HEL212C. Para a coordenada X obteve o desvio padrão igual a 0,0004m e para a coordenada Y obteve o desvio padrão igual a 0,0002m.

Na quinta visita foram medidas 39 pontos-objeto (hastes metálicas). Realizou-se o teste do Qui- Quadrado (χ^2) para verificar a qualidade dos pontos-objeto. A hipótese nula H_0 , para onze pontos-objeto, não foi aceita ao nível de significância de $\alpha=5\%$ para os demais H_0 foi aceito ao nível de confiança de 95%. O melhor resultado obtido foi para a quina denominada

H32D/HEL52D. Para a coordenada X obteve o desvio padrão igual a 0,0157m e para a coordenada Y obteve o desvio padrão igual a 0,0106m.

Esta dissertação tem uma abordagem teórico-prática de uma metodologia adotada para a definição de um conjunto de campo de pontos-objeto distribuídos ao longo de um pilar de uma edificação predial de 31 pavimentos em construção.

Com os resultados apresentados no capítulo 5, confirma-se que a metodologia adotada para o controle geométrico de pilares utilizando campo de pontos de referência distribuídos no terreno e com a determinação de campo de pontos-objeto materializados por hastes, pode ser bem sucedida no contexto de construção de edificações prediais de grande porte.

6.1.2 Área Teste 2 – Campus Recife UFPE

A finalidade desta área teste foi de mostrar os cuidados que se devem ter quanto à definição do sistema de referência para o transporte de coordenadas e realização do campo de pontos de referência.

Nesta área teste, diferentemente da área teste 1, existem pontos de referência definidos em um Sistema Topográfico Local (MENDONÇA et. al., 2010) e no Sistema Geodésico Brasileiro (SIRGAS2000), os quais compõem a rede de referência cadastral da UFPE (Flor, 2010).

Nesta dissertação foi implantada uma poligonal fechada e apoiada no entorno dos prédios do Centro de Tecnologia e Geociências com vinte e três vértices (EPS07, EPS04, EF1, EF2, P2, EF3, EF4, EPS06, EF5, EF6*, EF7, EF8, EXE, EF9, EF10, EF11, EF12, EF13, EF14, EF15, EF16, EF17 e EF18).

A importância desse experimento na área teste 2 diz respeito ao transporte de coordenadas planimétricas e altimétricas. Neste contexto, as coordenadas dos vértices da poligonal implantada foram transportadas

utilizando as coordenadas dos pontos de referência no Sistema Topográfico Local e no Sistema UTM SIRGAS2000. O transporte de altura foi realizado através do método do Nivelamento Trigonométrico, utilizando-se dos pontos de referências de nível determinadas pelo método do nivelamento geométrico nos vértices idênticos. O erro linear obtido nas coordenadas UTM foi de 0,051508114m e a precisão realtiva foi de 1/45908,30877m e o erro de fechamento no transporte do Nivelamento Trigonométrico foi de -0,00393m.

O menor desvio padrão obtido foi para o vértice EPS07 no sistema STL (Sistema Topográfico Local) onde obteve o desvio padrão para coordenada X igual a 0,0032m e o desvio padrão para a coordenada Y igual a 0,0025m.

6.2 Recomendações

As recomendações feitas para trabalhos futuros são:

Em relação à área teste 1: Bairro de Casa Amarela. Nesta visita os vértices de referência foram obtidos no decorrer das visitas em campo. Mas em um trabalho futuro é recomendável definir o campo de pontos de referência logo na primeira campanha de medição. Neste trabalho isto não foi possível, por ser um trabalho temporal, e as visitas ocorreram de acordo com o andamento da obra.

- Fazer uso de um instrumento chamado ocular de cotovelo, pois ajuda na visualização de pontos-objeto em local alto;
- Depois de calcular as coordenadas dos vértices implantados em campo é possível através do método de prumagem plana chegar às coordenadas do centro do pilar.

Em relação a área teste 2: *Campus Recife UFPE*. Nesta em trabalhos futuros seria interessante fazer visadas no alto do prédio do Centro de Tecnologia e Geociências, para comparar as coordenadas obtidas e também obter as coordenadas planialtimétricas.

REFERÊNCIAS

- [1] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13133: **Execução de Levantamento Topográfico**. 1994.
- [2] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14645: **Elaboração do “Como Construído” (As Built) para edificações**. 2000.
- [3] ARAÚJO de. A. I. P.; DE SEIXAS, A.; GARNÉS. S. J. A.; DE SEIXAS. J. R. **Geodésia Aplicada aos Estudos de Verticalização de Edifício Predial de Grande Porte: Método da Prumagem Plana**. VII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba-PR. 2011.
- [4] ARAÚJO de. A. I. P.; DE SEIXAS, A.; PEREIRA. T. A. J.; DA SILVA, D. J. N.; FARAH. T. T. F. Q. **Poligonação com Centragem Forçada e sua Verificação pelo Método da Estação Desconhecida**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife-PE. 2012.
- [5] BARBOSA de, A. M. S. **Análise e Comparação de Estruturas Geodésicas Tridimensionais Definidas por Métodos Planialtimétricos de Medição**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, Pernambuco. 2013.
- [6] BARROS, E. O. **Controle Geométrico da Estrutura de Concreto de Edifícios como Ferramenta da Racionalização Construtiva**. Dissertação (mestrado)-Escola Politécnica da USP: Universidade de São Paulo. São Paulo. 2001.
- [7] BONJORNO, J. R. **Matemática: Fazendo a diferença**. 1ª Ed. São Paulo. FTD. 2006.
- [8] BOTELHO, F. J. L. **Métodos Geodésicos para Racionalização Construtiva no Posicionamento Preciso de Edificações Prediais**. Dissertação de Mestrado. Pós- Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, Pernambuco. 2003.

- [9] CARDOSO, P. J. C. **Determinação Controlada de Deslocamentos Verticais de Pontos com Linha de Base GPS de 425 metros de Extensão.** Dissertação de Mestrado, Recife: Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Cartográfica. 2005.
- [10] COUTINHO NETO, A. B. **Teodolito e Acessórios.** Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Cartográfica. Recife-PE. 1983.
- [11] DALMOLIN, Q. **Ajustamento por Mínimos Quadrados.** Curitiba: Imprensa Universitária-UFPR, 2002.
- [12] ERBA, Diego Alfonso et al., **Cadastro Multifinalitário como instrumento da política fiscal e urbana,**Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- [13] ESPARTEL, L. Curso de Topografia. Porto Alegre: Editora Globo. 7ª. Ed.1980.
- [14] FLOR, C. D. R. V. **Planejamento e Implantação de uma Rede de Referência Cadastral no Campus Recife da UFPE.** Trabalho final de Graduação. Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, Pernambuco. 2010.
- [15] GAMA, L. F. **Experimentos e Análises Metodológicas do Desempenho de Estruturas Geodésicas Planimétricas Implantadas com GPS e Estação Total: Aplicações em Levantamentos Cadastrais Urbanos.** Dissertação de Mestrado. Pós- Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, Pernambuco. 2008.
- [16] GARNÉS, S. J. A; **Programa AstGeoTop.** Software de cálculo, Universidade Federal de Pernambuco- Recife, Brasil. Versão 2013.
- [17] GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas.** Curitiba: Ed. UFPR, 1994. Reimpressão 2004.

- [18] GOMES, J. P.; VEIGA, L. A. K.; SANTOS, D. P.; FAGGION, P. L. **Determinação de Desníveis de Precisão com Nivelamento Trigonométrico utilizando Estação Total**. Boletim de Ciências Geodésicas: Universidade Federal do Paraná- Curitiba, Brasil.2007.
- [19] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (Brasil). **Especificações e normas gerais para levantamento geodésicos**: coletânea das normas vigentes. Rio de Janeiro, 1998.
- [20] JORDAN, W. **Tratado General de Topografia**. Editorial Gustavo Gili S.A., Vol II, Barcelona. 1994.
- [21] KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Berlin. Ed. De Gruyter. 1988.
- [22] KAHMEN, H. Vermessungskunde. Aufl. 19. De Gruyter. 1997.
- [23] KRELLING, P. C. L. **Concepção de um Inclinômetro Foto-Mecânico para Controle Geodésico de Estruturas**. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2006.
- [24] MATOS, S. F. **Avaliação de Instrumentos para Auscultação de Barragem de Concreto. Estudo de Caso: Deformímetros e Tensômetros para Concreto na Barragem de Itaipu**. Dissertação de Mestrado pela Universidade Federal do Paraná-UFPR. Curitiba. 2002.
- [25] MENDONÇA, F. J.; GARNÉS, S. J. dos A.; PEREIRA, C. M.; NETO, J. A. B.; MELO, W. D. A. **Análise do Ajustamento por Mínimos Quadrados de uma Trilateração Topográfica com Injunções nos Planos UTM e Topocêntricos**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, UFPE. 2010.
- [26] MÖSER et al. **Sensoren und Verfahren der Ingenieurvermessung**. (2000).
- [27] PENÃ, J. S. **La Intersección Inversa: Método Geométrico, Topográfico Y Cartográfico**. XIV Congreso Internacional de Ingenieria Grafica, Santander, Espana- 5-7. 2002.

- [28] RIBEIRO, M. **Determinação de Traço Experimental para Produção de Blocos Intertravado de Concreto utilizando Resíduo da Construção Civil.** Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. 2009.
- [29] SEIXAS, A de. **Sistema de Medição Polar à Base de Teodolitos e Definição do Método das Linhas de Grade.** Revista Brasileira de Cartografia. 2004.
- [30] SEIXAS, A de., PACHECO, A. P., VEIGA, L. A. K., SANTOS, D. P., FAGGION, P. L. **Uma Abordagem Geodésica de Técnicas Ópticas de Medição Tridimensional para Determinação e Transporte de Alturas em Áreas de Risco.** UFPE. Boletim de Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. 2007.
- [31] SILVA, A. G. O.; AZEVEDO, V. W. B.; DE SEIXAS. A. **Métodos de Levantamento Topográficos Planimétricos para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais.** Universidade Federal de Pernambuco. Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil. 2006.
- [32] SILVA, T. F.; DE SEIXAS, A.; ROMÃO, V. M. C. **Conceituação de Campos de Pontos na Medida de Deformação de Objetos.** Universidade Federal de Pernambuco, I SIMGEO. Recife. Pernambuco. 2004.
- [33] SILVA, T. F. **Uso do Sistema Eletrônico Polar de Medição como Inclinômetro no Laboratório de Metrologia e Posicionamento Espacial-LAMEPE.** Seminários e Workshop Geoprocessamento. Recife-PE. 1991a.
- [34] SILVA, T. F. **Emprego do Sistema Eletrônico Polar de Medição na Deformação de Estruturas Predominantemente Verticais.** Dissertação para o cargo de Professor Titular do Departamento de Engenharia Cartográfica-Área Topografia_UFPE. 1991b.
- [35] SOUZA, W. O. **Aplicação de métodos para a determinação do desvio na integração de posicionamento GNSS com levantamentos topográficos.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco. Recife-Pernambuco. 2012.
- [36] TORGE, W. **Geodäsie**, 2. Auflage, de Gruyter Lehrbuch. 2003.

- [37] U. S. Navy, Bureau of Naval Personnel. **Construção Civil: Teoria e Prática**. Editora Hemus. 2005.
- [38] VENTURI, Jacir J. **Álgebra Vetorial e Geometria Analítica**. 9.^a ed. - Curitiba 242 p. 1949.
- [39] WILD HEERBRUGG Ltda. **The Theodolite and its Application**. Traduzido por A.H. Ward, F.R.I.C.S. Autor original: O. Trutmann. 1980.
- [40] WOLF, P. R. e GHILANI, C. D. **Adjustment Computations: Statistics and least Squares in Surveying and GIS**. New York: John Wiley & Sons Inc. 3^o Edição. 1997.
- [41] Só Física disponível na página da internet WWW.SOFISICA.COM.BR, acessado em 28/08/2012.
- [42] Só Matemática disponível na página da internet WWW.SOMATEMATICA.COM.BR, acessado em 28/08/2012.
- [43] ZOCCOLLOTTI FILHO, C. A. **Utilização de Técnicas de Poligonização de Precisão para o Monitoramento de Pontos Localizados em Galerias de Inspeção: Estudo de Caso da U. H. de Salto Caxias**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2005.

APÊNDICE

Apêndice 1-Ajustamento e controle de qualidade do método de interseção a vante 2D:

Calculou-se inicialmente o vetor dos valores das observações ajustadas L_a vem da soma do vetor dos valores observados L_b com o vetor dos resíduos V e é expresso da seguinte forma:

$$L_a = L_b + V \quad (01)$$

Onde:

L_b : Vetor dos valores observados;

V : Vetor dos resíduos;

L_a : Vetor dos valores observados ajustados.

Posteriormente realizou-se o cálculo da matriz A , ou seja, o coeficiente das incógnitas. A matriz A é composta pelas coordenadas a priori (coordenadas dos pontos de referência com o vetor de L_a)

E a matriz das derivadas parciais por A :

$$A = \frac{\delta F}{\delta X_a} | X_0 \quad (02)$$

a equação $L_b + V = F(X_0 + X) \approx F(X_0) + \frac{\delta F}{\delta X_a} | X_a = X_0(X) = 0$ é escrita sucessivamente por:

$$L_b + V = L_0 + AX;$$

$$V = AX + L_0 - L_b$$

E, finalmente fazendo,

$$L = L_0 - L_b \quad (03)$$

é obtido o modelo matemático linearizado dos métodos dos parâmetros:

$$n^V 1 = n^A uu^X 1 + n^L 1 \quad (04)$$

Maiores detalhes sobre o desenvolvimento paramétrico pesquisar em: GEMAEL (1994) e DALMOLIN (2002).

Os elementos da matriz A são formados pela derivada da equação de observação em relação aos parâmetros. Após a minimização na forma quadrática fundamental $V^T P V$ que caracteriza o Método dos Mínimos Quadrados e com algumas manipulações algébricas (GEMAEL, 1994), obtém-se a solução do sistema de equações normais. As equações normais evidencia a importância da matriz dos pesos P no processo de ajustamento.

A relação entre parâmetros e observações deve existir de modo que os ângulos horizontais possam ser ajustados pelo modelo paramétrico do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Este modelo é utilizado para estimar valores que se encontram vinculado às observações (GEMAEL, 1994).

✓ **Matriz Variância-Covariância**

GEMAEL (1994), afirma que antes do ajustamento é necessário estimar a precisão das medidas efetuadas para compor a matriz das covariâncias dos valores observados $\sum L_b$ e a partir da variância de unidade de peso a priori σ_0^2 .

$$P = \sigma_0^2 (\sum L_b^{-1}) \quad (05)$$

Considerando-se que as observações são não correlacionadas para uma interseção a vante a matriz P é uma matriz diagonal, sendo os elementos da diagonal principal calculados pelo inverso do quadrado da precisão dos alinhamentos formados. Apresenta-se a seguir a matriz dos pesos.

$$P = \sigma_0^2 \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \frac{1}{\sigma_n^2} \end{bmatrix} \quad (06)$$

A Matriz das covariâncias ΣX_a do vetor dos parâmetros ajustados A se obtém multiplicando a variância *a priori* σ_0^2 pelo inverso da matriz N dada por $A^T P A$, quando está admitir a inversa ordinária, se escreve:

$$\Sigma X_a = \sigma_0^2 (A^T P A)^{-1} \quad (07)$$

✓ Sequência de Cálculos para o Ajustamento Paramétrico

Conhecidas as coordenadas de dois vértices (campo de pontos de referência) e realizadas as medições angulares e lineares para a determinação por interseção a vante, a partir do modelo paramétrico do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Deseja-se calcular as coordenadas ajustadas dos pontos-objeto (quinas/hastes), bem como a qualidade dessas coordenadas, das observações e dos resíduos.

Considerando a precisão linear da Estação Total, utilizada neste trabalho de 5mm+5ppm e a precisão angular de 5 segundos e as observações realizadas em campo, empregou-se a seguinte sequência de cálculo para o ajustamento:

1) Cálculo dos parâmetros aproximados e definição das equações de observação

As coordenadas aproximadas dos vértices de referência foram calculadas de várias formas (cf. item 5.2.1.1). As equações de observações são dadas por:

$$D_1^0 = [(X_{N0} - X_1)^2 + (Y_{N0} - Y_1)^2]^{1/2} \quad (08)$$

$$D_2^0 = [(X_{N0} - X_2)^2 + (Y_{N0} - Y_2)^2]^{1/2} \quad (09)$$

$$\alpha = \arctg \frac{Y_{N0} - Y_1}{X_{N0} - X_1} - \arctg \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (10)$$

$$\beta = \arctg \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} - \arctg \frac{Y_{N0} - Y_2}{X_{N0} - X_2} \quad (11)$$

2) Linearização das Equações de Observação

$$AX + L = V$$

a) Cálculo da Matriz L

$$L = L_0 - L_b$$

L_b = Vetor das observações e,

L_0 = Vetor das observações calculadas a partir de valores aproximados dos parâmetros

b) Cálculo da matriz A (coeficiente das incógnitas)

$$a_{11} = \frac{X_2 - X_{N_0}}{D_2^0}; a_{12} = \frac{X_2 - X_{N_0}}{D_2^0}$$

$$a_{21} = \frac{X_2 - X_{N_0}}{D_1^0}; a_{22} = \frac{X_2 - X_{N_0}}{D_1^0}$$

$$a_{31} = \frac{Y_{N_0} - Y_2}{(D_2^0)^2} \cdot 180/\pi; a_{32} = \frac{X_{N_0} - X_2}{(D_2^0)^2} \cdot 180/\pi$$

$$a_{41} = \frac{Y_{N_0} - Y_1}{(D_1^0)^2} \cdot 180/\pi; a_{42} = \frac{X_{N_0} - X_1}{(D_1^0)^2} \cdot 180/\pi$$

Da matriz A calcula-se sua matriz transposta A^T .

3) Aplicação do MMQ e formação das equações normais

a) Cálculo da Matriz de Peso

$$P = Q^{-1} = \sigma_0^2 \sum L_b^{-1} \text{ onde } \sigma_0^2 = 1 \text{ e representa a variância a priori}$$

Considerando que as observações não são correlacionadas a matriz P é uma matriz diagonal, sendo os elementos da diagonal principal calculados pelo inverso do quadrado da precisão dos alinhamentos formados.

b) Cálculo de $N^{-1} = (A^T P A)^{-1}$

c) Cálculo de $A^T P L$

d) Cálculo das equações normais $X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L$

4) Estimação do vetor dos parâmetros corrigidos $X_a = X_0 + X$

Unidade em (m).

5) Cálculo dos resíduos $V = AX + L$

Unidade em (m).

6) Cálculo das observações ajustadas $L_a = L_b + V$

Unidade em (m).

7) Cálculo da variância da observação de peso unitário (a posteriori)

$$\sigma_0^2 = \frac{V^T P V}{n-u}$$

n = número de observações

u = número de incógnitas

8) Teste de qualidade do Ajustamento

Usando-se a distribuição do Qui-quadrado (χ^2) com $n-u$ graus de liberdade e nível de confiança de 95%. Compara-se o valor da tabela da distribuição Qui-quadrada com o valor calculado, que é dado por:

$$T = \sigma_0^2 \cdot (n - u) / \sigma_0^2$$

Se o valor calculado for maior que o valor extraído da tabela do Qui-quadrado o teste é aceito.

9) Cálculo da matriz Variância- Covariância dos parâmetros ajustados

$$\sum X_a = \sum X = \hat{\sigma}_0^2 N^{-1}$$

Unidade em (m^2).

10) Cálculo da matriz Variância- Covariância das observações ajustadas

$$\sum L_a = A \sum X A^t$$

Unidade em (m^2).

11) Cálculo da matriz Variância- Covariância dos Resíduos

a) Matriz Variância- Covariância das observações

$$\sum L_b = \sigma_0^2 p - 1$$

b) Matriz Variância- Covariância dos resíduos

$$\sum V = \sum L_b - \sum L_a$$

Unidade em (m^2).

Apêndice 2- Processamento e Análise dos Resultados Área Teste 2.

Com a ajuda de uma planilha *Excel* foram calculados os valores médios observações realizadas para cada alinhamento da poligonal, calculando-se em seguida os ângulos externos da poligonal implantada e as respectivas distâncias horizontais, obtidas a partir dos ângulos verticais e distâncias inclinadas medidas.

O cálculo da poligonal pelo método tradicional foi realizado em coordenadas UTM SIRGAS2000 e STL. O erro linear obtido nas coordenadas UTM foi de 0,051508114m e a precisão relativa obtida foi de 1/45908,30877m. O erro linear obtido nas coordenadas STL foi de 0,0515081141m e a precisão relativa obtida foi de 1/45908,30877m.

As coordenadas obtidas para os 23 vértices estão detalhadas na Tabela 72. As Tabelas 73 e 74 apresentam a comparação entre as coordenadas dos vértices EPS04, EPS06 e EPS07 obtidas nesta dissertação e o disponibilizadas em (MENDONÇA et al., 2010) e suas respectivas diferenças, nas coordenadas UTM e STL.

Tabela 72 – Coordenadas UTM SIRGAS2000 e STL dos vértices da Área teste 2.

Vértices	UTM/Sistema SIRGAS2000		STL/Sistema SIRGAS2000	
	E(m)	N(m)	E (m)	N (m)
EF1	284708,045	9109266,746	149776,659	249712,768
EF2	284665,008	9109177,109	149733,612	249623,136
P2	284625,151	9109173,717	149693,754	249619,749
EF3	284629,645	9109142,605	149698,245	249588,636
EF4	284620,980	9109100,699	149689,574	249546,731
EPS06	284601,303	9109007,305	149669,886	249453,340
EF5	284605,259	9108887,083	149673,829	249333,117
EF6*	284699,181	9108847,682	149767,746	249293,705
EF7	284413,168	9108945,947	149481,745	249392,004
EF8	284343,948	9108955,380	149412,526	249401,445
EXE	284275,656	9108821,395	149344,218	249267,467
EF9	284337,589	9108969,012	149406,168	249415,077
EF10	284257,359	9108982,634	149325,940	249428,709
EF11	284281,716	9109089,094	149350,309	249535,166
EF12	284395,419	9109046,691	149464,007	249492,749
EF13	284438,860	9109079,917	149507,452	249525,970
EF14	284458,279	9109172,156	149526,882	249618,207
EF15	284486,463	9109248,304	149555,075	249694,352
EF16	284560,879	9109245,997	149629,491	249692,037
EF17	284571,278	9109337,840	149639,900	249783,878
EF18	284596,998	9109351,762	149665,621	249797,797
EPS07	284649,773	9109408,288	149718,403	249854,317
EPS04	284742,576	9109481,118	149811,215	249927,136

Tabela 73 – Comparação entre as coordenadas UTM SIRGAS2000 dos vértices EPS04, EPS06 e EPS07.

Vértices	Presente Trabalho (EXCEL)		Trabalho de MENDONÇA et al., 2010		Diferenças	
	E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	ΔE (m)	ΔN (m)
EPS04	284742,576	9109481,118	284742,576	9109481,118	-----	-----
EPS06	284601,303	9109007,305	284603,506	9109006,560	-2,203	0,745
EPS07	284649,773	9109408,288	284650,091	9109407,837	-0,318	0,451

Tabela 74 – Comparação entre as coordenadas X e Y, STL dos vértices EPS04, EPS06 e EPS07.

Vértices	Presente Trabalho (EXCEL)		Trabalho de MENDONÇA et al., (2010)		Diferenças	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EPS04	149811,215	249927,136	149811,215	249927,136	-----	-----
EPS06	149669,886	249453,340	149669,906	249453,330	-0,02	0,01
EPS07	149718,403	249854,317	149718,398	249854,310	0,005	0,007

No programa AstGeoTop foi calculado o ajustamento da poligonal (X,Y) pelo Método dos Mínimos Quadrados utilizando o Modelo Paramétrico. A Tabela 75 mostra as coordenadas (X,Y) dos vinte e três vértices no STL e respectivos desvios padrão.

Tabela 75 – Coordenadas STL dos vértices da poligonal implantada na Área teste 2.

Vértices	STL			
	X(m)	Sigma X(m)	Y (m)	Sigma Y(m)
EF1	149776,6603	0,0075	249712,7717	0,0043
EF2	149733,6151	0,0108	249623,1390	0,0061
P2	149693,7565	0,0114	249619,7517	0,0071
EF3	149698,2487	0,0124	249588,6384	0,0079
EF4	149689,5805	0,0140	249546,7336	0,0087
EPS06	149669,8978	0,0183	249453,3412	0,0097
EF5	149673,8484	0,0250	249333,1212	0,0102
EF6*	149767,7692	0,0273	249293,7189	0,0120
EF7	149481,7561	0,0226	249391,9935	0,0159
EF8	149412,5362	0,0223	249401,4293	0,0194
EXE	149344,2391	0,0298	249267,4485	0,0230
EF9	149406,1775	0,0214	249415,0647	0,0192
EF10	149325,9479	0,0208	249428,6942	0,0238
EF11	149350,3123	0,0159	249535,1538	0,0218
EF12	149464,0115	0,0177	249492,7411	0,0150
EF13	149507,4547	0,0160	249525,9632	0,0127
EF14	149526,8845	0,0116	249618,2010	0,0112
EF15	149555,0766	0,0090	249694,3467	0,0094
EF16	149629,4925	0,0084	249692,0324	0,0068
EF17	149639,9024	0,0059	249783,8753	0,0053
EF18	149665,6230	0,0046	249797,7945	0,0044
EPS07	149718,4042	0,0032	249854,3150	0,0025
EPS04	149811,2150	0,0000	249927,1360	0,0000

Fonte: AstGeoTop, 2013.

A Tabela 76 apresenta as altitudes dos vinte e três vértices determinadas através do método de nivelamento trigonométrico.

Tabela 76 – Altitudes determinadas através do método de Nivelamento Trigonométrico_
Área teste 2.

Vértices	H(m)
EF2	10,4281
P2	9,4230
EF3	9,2623
EF4	10,0140
EPS06	8,3427
EF5	8,3060
EF6*	8,8849
EF7	9,0407
EF8	9,3331
EXE	9,1910
EF9	9,1054
EF10	9,6890
EF11	9,1421
EF12	9,3160
EF13	9,3759
EF14	9,2513
EF15	10,8791
EF16	11,0327
EF17	10,7502
EF18	11,3662
EPS07	11,6532
EPS04	10,2934
EF1	10,3588
EF2	10,4241

Apêndice 3- Exemplo do relatório disponibilizado pelo programa para o método tradicional.

	Azimutes			Decimais	Radiano	Distâncias	ΔX	ΔY	Cx	Cy	X	Y
											100,0000	100,0000
AzEC1EC3	0	0	0	0	0,0000000000	42,242	0	42,242	-0,0007693269	0,00070305	99,9992	142,2427
AzEC3EC2	170	28	15	170,4708333	2,97527732029	43,575	7,2138263	-42,973728	-0,000793604	0,000725236	107,2123	99,2697
AzEC2EC1	275	46	52	275,7811111	4,81328840370	7,249	-7,2121314	0,7301795	-0,000132021	0,00012064800	100,0000	100,0000
SOMATÓRIO	PERÍMETRO					93,066	0,001695	-0,0015489				

OBS: Neste caso os azimutes foram inseridos

ERRO LINEAR= 0,0022960970
 PRECISÃO RELATIVA 40532,2597812713

Apêndice 4- Método da Interseção a Ré por Meio de Medição de Direções.

%DADOS DE ENTRADA

%COORDENADAS FINAIS

M=[99.9989 142.2426]; %EC3

A=[107.2123 99.2697]; %EC2_COORDENADAS OBTIDAS ATRAVÉS DO CÁLCULO DA POLIGONAÇÃO COM CENTRAGEM FORÇADA, O CÁLCULO ESTÁ NO PROGRAMA EXCELL!

B=[100.0000 100.0000]; %EC1

%CÁLCULO PARA OBTEN AS COORDENADAS LOCAIS

XALINHA=A(1,1)-M(1,1)

YALINHA=A(1,2)-M(1,2)

XBLINHA=B(1,1)-M(1,1)

YBLINHA=B(1,2)-M(1,2)

RALINHA=(162+30/60+26/3600) %ALFA=RA-RM (ÂNGULO EM GRAU DECIMAL)

RALINHA_Rad=((RALINHA*2*3.141592654)/360); %ALFA= Radianos

RBLINHA=(176+33/60+33/3600) %BETA=RB-RM (ÂNGULO EM GRAU DECIMAL)

RBLINHA_Rad=((RBLINHA*2*3.141592654)/360); %BETA= Radianos

%CÁLCULO DA TANGENTE DE MN

J=(YBLINHA);

L=XBLINHA*(tan(RBLINHA_Rad))^-1;

O=(YALINHA); %PARTE DE CIMA DA FORMULA

P=XALINHA*(tan(RALINHA_Rad))^-1;

NUMERADOR=J-L-O+P

```

Q=(YALINHA)*(tan(RALINHA_Rad))^1;
R=(XALINHA);
S=(YBLINHA)*(tan(RBLINHA_Rad))^1; %PARTE DE BAIXO DA FÓRMULA
U=XBLINHA;
DENOMINADOR=Q+R-S-U
TM=NUMERADOR/DENOMINADOR %VALOR DA TANGENTE DE MN
%CÁLCULO DA COORDENADA Y'N E O CONTROLE DE Y'N (COORDENADA LOCAL YN)
YNLINHAN=(TM*(YBLINHA*tan(RBLINHA_Rad)^1+XBLINHA))+YBLINHA-
(XBLINHA*tan(RBLINHA_Rad)^1); %PARTE DE CIMA DA FORMULA
YNLINHAD=1+(tan(TM)^2); %PARTE DE BAIXO DA FORMULA
YNLINHA=YNLINHAN/YNLINHAD %COORDENADA DE Y'N
%CONTROLE de Y'N
YNLINHAC=(TM*(YALINHA*tan(RALINHA_Rad)^1+XALINHA))+YALINHA-
(XALINHA*tan(RALINHA_Rad)^1); %PARTE DE CIMA DA FORMULA DO CONTROLE DE Y'N
CONTROLE=YNLINHAC/YNLINHAD %FORMULA DO CONTROLE DE Y'N
disp('-----CONTROLE A APARTIR DA QUINTA CASA DECIMAL-----')
CONTROLEGERAL=CONTROLE-YNLINHA
%CALCULO DA COORNADA X'N
XNLINHA=YNLINHA*TM
% COORDENADAS DE X E Y EM RELAÇÃO AO PONTO EL=ESTAÇÃO LIVRE!
XEL=XNLINHA+M(1,1)
YEL=YNLINHA+M(1,2) %COORDENADAS FINAIS DO PONTO EL, DENOMINADO DE
ESTAÇÃO LIVRE
XALINHA = 7.213399999999999; YALINHA = -42.9729

XBLINHA = 0.001099999999999388; YBLINHA = -42.2426

RALINHA = 162.5072222222222; RBLINHA = 176.559166666667

NUMERADOR = -22.1394466579844; DENOMINADOR = -559.001114729474

TM = 0.0396053712141498; YNLINHA = -14.3763014825326

CONTROLE = -14.3763014825326

-----CONTROLE A APARTIR DA QUINTA CASA DECIMAL-----

CONTROLEGERAL = -5.32907051820075e-015

XNLINHA = -0.569378756902235

XEL = 99.4295212430978; YEL = 127.866298517467

```

Apêndice 5- Ajustamento do vértice EL1 (primeira visita 11/04/2012)

COORDENADAS DOS PONTOS

ESTAÇÃO	X	Y
EC3	100,0002	142,2426
EC2	107,2137	99,2697

COORDENADAS FINAIS EL	
XEL	99,429521
OU	
XEL	99,429521
YEL	127,866298

5mm+5ppm

σ_i (m)	0,005071938
	0,005148186

ÂNGULOS DOS PONTOS

ÂNGULO	DECIMAL
ELEC3	359,9994444
ELEC2	162,5068056

LINEARIZANDO AS EQUAÇÕES DE OBSERVAÇÃO: $A \cdot X + L = V$

a) Cálculo da matriz L, onde

$L_a = F(X_a)$:

li1=	14,38762432 m		14,38762432
li2=	29,63711963 m	L0=	29,63711963
li3=	168,1978671 °		168,1978671
li4=	5,698417238 °		5,698417238

b) Cálculo da matriz A (coeficiente das incógnitas):

	Y0	X0
A=	0,999213051	0,039664575
	-0,96489127	0,262649647
	-568,6418851	14324,98387
	1827,956939	6715,33244

	14,3876		2,43E-05
Lb=	29,6632	L= L0-Lb = L	-0,02608
	359,9994444		-191,802
	162,5068056		-156,808

At=	0,999213051	-0,96489127	-568,642	1827,957
	0,039664575	0,262649647	14324,98	6715,332

APLICANDO O MMQ E FORMAÇÃO DAS EQUAÇÕES NORMAIS

a) Matriz dos Pesos: $P = Q^{-1} = \sigma_0^2 \sum Lb^{-1}$ onde $\sigma_0^2 = 1$

P=	38873,3624	0	0	0
	0	37730,41737	0	0
	0	0	0,04000	0
	0	0	0	0,04000

P.A=	38842,7	1541,8	P.L=	0,9455	P.V	694,2096
	71	95		93		857
	-	-		-		-
	36405,7	9909,8		984,02		1464,203
	50	81		3		997
				-		-
		572,99		7,6720		0,000137
	-22,746	9		6		002
				-		-
		268,61		6,2723		0,000277
	73,118	3		4		481

b) Cálculo de $N^{-1} = (At.P.A)^{-1}$

N=At.P.A=	220531,0011	157160,8326
	157160,8326	10014698,09
N⁻¹=	4,5858E-06	-7,1965E-08
	-7,1965E-08	1,00983E-07

c) Cálculo de $U = At.P.L$

d) Cálculo das Equações Normais $X = -N^{-1}.U$

U=	-6152,482507	X=	0,017255099	Xt=	0,017255	0,014935007
	-152281,4142		0,014935007			

ESTIMANDO O VETOR DOS PARÂMETROS CORRIGIDOS

Xa=X0+X	99,4467761
	127,881233

CÁLCULANDO OS RESÍDUOS: $V = A.X + L$

	0,017833911		0,017858
A.X=	-0,01272662	V=	-0,03881
	204,1317655		0,003425
	131,8351172		-0,00694

COORDENADAS AJUSTADAS

EL

	X	Y
	99,4467761	127,881233

CÁLCULO DAS OBSERVAÇÕES AJUSTADAS

metros	La=	14,40545824
		29,62439301
		360,0028695
		162,4998686

Vt=	0,017858236	-0,03881	0,003425	-0,00693702
	número de observações	4	número de incógnitas	2

VARIÂNCIA DA OBSERVAÇÃO DE PESO UNITÁRIO (A POSTERIORI):

$\sigma_{\hat{\theta}}^2 =$	Vt.P.V	$\Sigma Xa = \Sigma XX = \sigma_{\hat{\theta}}^2 . N^{-1} \rightarrow$
	n - u	

Vt.P.V	69,21871543	30,75935771	34,8
--------	-------------	-------------	------

$\sigma_{\hat{\theta}}^2 =$	34,60935771
---	--------------------

MATRIZ VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DOS PARAMETROS AJUSTADOS

0,000158711	-2,49066E-06	metros
-2,4907E-06	3,49494E-06	quadrados

MATRIZ VARIÂNCIA E COVARIÂNCIA DAS OBSERVAÇÕES AJUSTADAS:

$\Sigma x . At =$	0,000158488	-0,000153793	-0,12593	0,273392054
	-2,35008E-06	3,32116E-06	0,051481	0,018916878

$\Sigma L_a L_a = A \cdot \Sigma x x \cdot A^t =$	1,58E-04	-0,000153541	-0,12379	0,273927238
	-1,54E-04	0,000149266	0,135029	-0,258825095
	-0,123787572	0,135029001	809,0769	115,5217961
	0,273927238	-0,258825095	115,5218	626,7820251

MATRIZ VARIÂNCIA E COVARIÂNCIA DOS RESÍDUOS:

$\Sigma L_b L_b = \sigma \sigma^2 \cdot P^{-1} =$	2,57E-05	0	0	0
	0,00E+00	2,65038E-05	0	0
	0	0	25	0
	0	0	0	25

$\Sigma v v = \Sigma L_b L_b - \Sigma L_a L_a =$	-1,33E-04	0,000153541	0,123788	-0,27393
	1,54E-04	-	-	-
		0,000122762	-0,13503	0,258825
	1,24E-01	-	-	-
		0,135029001	-784,077	-115,522
	-2,74E-01	0,258825095	-115,522	-601,782

Apêndice 6-LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO A PARTIR DE TRÊS VÉRTICES E TRÊS PONTOS ONHECIDOS

```

clc
clear
format long
% ENTRADA DOS PONTOS
EC1=[100.0000
      100.0000
      0.0000]
EC2=[107.2123
      99.2697
      -0.00412]
EC3=[99.9992
      142.2697
      0.15611]
% PONTOS APROXIMADOS DA HASTE H11D,H21D OU H31D(SEGUNDA VISITA DE MEDIÇÃO)
XPo=[116.3137592
      118.0590188
      4.23744]

```

```
% ENTRADA DAS DISTÂNCIAS MEDIDAS
```

```
Lb=[24.33642  
    20.87762  
    29.17217]
```

```
% FORMAÇÃO DA MATRIZ DOS PESOS
```

```
%Calcular Variância
```

```
a=5; b=3;
```

```
Sd2ec1=sqrt(a^2+b^2*(Lb(1,1)/1000)^2);
```

```
Sd2ec2=sqrt(a^2+b^2*(Lb(2,1)/1000)^2);
```

```
Sd2ec3=sqrt(a^2+b^2*(Lb(3,1)/1000)^2);
```

```
%MATRIZ COVARIÂNCIA
```

```
sLb=[Sd2ec1,Sd2ec2,Sd2ec3];
```

```
sLb=diag(sLb);
```

```
Sd2o=1;
```

```
P=Sd2o*sLb;
```

```
%INÍCIO DO LOOP
```

```
erro=1 %declaração da variável erro
```

```
%CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS
```

```
iteracao=0
```

```
while erro>1e-10
```

```
    iteracao
```

```
    dAPo=sqrt((EC1(1)-XPo(1))^2+(EC1(2)-XPo(2))^2+(EC1(3)-XPo(3))^2)
```

```
    dBPo=sqrt((EC2(1)-XPo(1))^2+(EC2(2)-XPo(2))^2+(EC2(3)-XPo(3))^2)
```

```
    dCPo=sqrt((EC3(1)-XPo(1))^2+(EC3(2)-XPo(2))^2+(EC3(3)-XPo(3))^2)
```

```
    Lo=[dAPo,dBPo,dCPo]'
```

```
% FORMAÇÃO DA MATRIZ A
```

```
A=[ (XPo(1)-EC1(1))/dAPo (XPo(2)-EC1(2))/dAPo (XPo(3)-EC1(3))/dAPo
```

```
    (XPo(1)-EC2(1))/dBPo (XPo(2)-EC2(2))/dBPo (XPo(3)-EC2(3))/dBPo
```

```
    (XPo(1)-EC3(1))/dCPo (XPo(2)-EC3(2))/dCPo (XPo(3)-EC3(3))/dCPo]
```

```
% CÁLCULO DO L
```

```
L=Lb-Lo
```

```
% FORMAÇÃO DAS EQUAÇÕES NORMAIS DO MMQ
```

```
N=A'*P*A
```

```
U=A'*P*L
```

```
X=inv(N)*U;
```

```
erro=norm(X)
```

```
XPo=XPo+X
```

```
    iteracao=iteracao+1
```

```
if iteracao==10,
    break
end
end
EC1 = 100

    100

    0

EC2 = 1.0e+002 *

    1.0721230000000000

    0.9926970000000000

    -0.0000412000000000

EC3 = 1.0e+002 *

    0.9999920000000000

    1.4226970000000000

    0.0015611000000000

XPo = 1.0e+002 *

    1.1631375920000000

    1.1805901880000000

    0.0423744000000000

Lb = 24.3364200000000000

    20.8776200000000000

    29.1721700000000001

A = 0.670048683847522  0.742316895666980  0.000622640780625

    0.435697209686668  0.900092822877605  0.000922862653231

    0.559092299685606  -0.829091353493370  -0.004829906292260

L = -0.012529719192948
```

-0.014599435972336

-0.010456413544883

N = 4.757460645725381 2.130152938751347 -0.009407063477713

2.130152938751346 10.244107633330184 0.026490100852037

-0.009407063477713 0.026490100852037 0.000122855165646

U = -0.103024225682167

-0.068866211515221

0.000146172781014

erro = 6.304159611466984

XPo = 1.0e+002 *

1.163162157255322

1.180513559186013

0.063192771522750 iteracao = 10

Apêndice 7- Nivelamento Trigonométrico (primeira visita).

OBS: ALTURAS OBTIDAS PELO CÁLCULO DO NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO_ANTI-HORÁRIO.

ALTURAS PARA OS PONTOS					
HEC1	0,0000				
HEC2	-0,00412				
HEC3	0,15611				
H15D A PARTIR DE EC1		EC1		DH	ALT.INST.
X	Y	X	Y		
116,7289782	117,8196589	100,0000	100,0000	24,44175	1,435
H15E A PARTIR DE EC1		EC1		DH	ALT.INST.
116,4192392	117,960366	100,0000	100,0000	24,33446	1,435
H16D A PARTIR DE EC1		EC1		DH	ALT.INST.
116,6992767	117,8156953	100,0000	100,0000	24,41853	1,435
H16E A PARTIR DE EC1		EC1		DH	ALT.INST.
116,4125087	117,9731155	100,0000	100,0000	24,33934	1,435
H17D A PARTIR DE EC1		EC1		DH	ALT.INST.
116,6952255	117,8300748	100,0000	100,0000	24,42626	1,435
H17E A PARTIR DE EC1		EC1		DH	ALT.INST.
116,3933657	117,9614186	100,0000	100,0000	24,31779	1,435

V (MÉDIO)					$\Delta H = \text{ALT. INST.} + \Delta h$	
GRAU	MINUTO	SEGUNDO	DECIMAIS	RADIANO		
78	9	29	78,1580555556	1,3641154064	6,5598236114	
GRAU	MINUTO	SEGUNDO	DECIMAIS	RADIANO	$\Delta H = \text{ALT. INST.} + \Delta h$	
78	11	13	78,1869444444	1,3646196126	6,5245216851	
GRAU	MINUTO	SEGUNDO	DECIMAIS	RADIANO	$\Delta H = \text{ALT. INST.} + \Delta h$	
71	44	0,5	71,7334722222	1,2519852742	9,4948357257	
GRAU	MINUTO	SEGUNDO	DECIMAIS	RADIANO	$\Delta H = \text{ALT. INST.} + \Delta h$	
71	45	23	71,7563888889	1,2523852455	9,4579006424	
GRAU	MINUTO	SEGUNDO	DECIMAIS	RADIANO	$\Delta H = \text{ALT. INST.} + \Delta h$	
65	50	34,5	65,8429166667	1,1491756849	12,3906118266	
GRAU	MINUTO	SEGUNDO	DECIMAIS	RADIANO	$\Delta H = \text{ALT. INST.} + \Delta h$	
65	45	27	65,7575000000	1,1476848829	12,3855375405	

ANEXOS

Anexo 1-Relatório disponibilizado pelo programa para o método tradicional.

CONCLUSÃO APÓS O AJUSTAMENTO - POLIGONAL Poligonal definida pelo usuário

Fechamento angular : dentro da especificação

Erro médio em Azimute : dentro da especificação

Erro de fechamento linear : dentro da especificação

Erro relativo linear : dentro da especificação

Erro relativo entre duas estações poligonais : dentro da especificação

Erro médio em posição : dentro da especificação

PLANILHA COM ELEMENTOS DA POLIGONAL AJUSTADOS

Est.	P.Vis.	Ângulo	Distância	Azimute	Coord. Totais	
				X	Y	
EC1	EC2	95°46'58,4"	7,249	95°46'52,0"	100,0000	100,0000
EC2	EC3	74°41'23,5"	43,574	350°28'15,5"	107,2123	99,2698
EC3	EC1	9°31'38,1"	42,243	179°59'53,6"	99,9987	142,2427

Perímetro = 93,066 m

Área = 152,333 m²

Área = 0,0152333 ha

Área = 0,0062948 Alq.SP

Anexo 2-Relatório disponibilizado pelo AstGeoTop, com todas as informações do ajustamento(MMQ)

PARÂMETROS AJUSTADOS Xa, Desvios-padrão e Erro Posicional(1*sigma)

Est.	X(m)	SigmaX(m)	Y(m)	SigmaY(m)	P.Posição(m)
EC1	100,0000	0,0000	100,0000	0,0000	0,0000
EC2	107,2137	0,0006	99,2697	0,0001	0,0006
EC3	100,0002	0,0003	142,2426	0,0034	0,0034

OBSERVACOES AJUSTADAS La e Desvios-padrão (1*sigma)

Est.	P.Vis.	Ângulo	Sigma Âng."	Distância(m)	Sig.Dist.(m)
EC1	EC2	95°46'49,9"	1,4521	7,251	0,0006
EC2	EC3	74°41'25,0"	1,2013	43,574	0,0035
EC3	EC1	9°31'45,1"	1,1764	42,243	0,0034

CONTROLE DE QUALIDADE DO AJUSTAMENTO

Variância da Unidade Peso Estimada a Posteriori = 0,978

***** Teste de Hipótese Qui-quadrado *****

Estatística do teste $vTPV = 2,935$

Percentil inferior da distribuição Qui-quadrado = 0,22

Percentil superior da distribuição Qui-quadrado = 9,35

Conclusão

Ao nível de significância de 5%:

NÃO É REJEITADA a hipótese de que as observações ponderadas sejam proveniente de uma distribuição normal
