
**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**

**UMA ABORDAGEM GEODÉSICA DA LOCAÇÃO E CONTROLE DIMENSIONAL DE
ESTRUTURAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

GLEICE PEREIRA DA SILVA

Orientadora: Profa.Dr.techn. Andréa de Seixas

Dissertação de Mestrado

Recife, 2014

VIRTUS IMPAVIDA

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

Gleice Pereira da Silva

UMA ABORDAGEM GEODÉSICA DA LOCAÇÃO E CONTROLE DIMENSIONAL DE
ESTRUTURAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dissertação de mestrado 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 na área de concentração Geodésia Aplicada.

Orientadora: Profa. Dr.techn. Andréa de Seixas

Recife, 2014

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

- S586a Silva, Gleice Pereira da.
Uma abordagem geodésica da locação e controle dimensional de estruturas da construção civil / Gleice Pereira da Silva. - Recife: O Autor, 2014.
xvi, 174 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientadora: Profa. Dra. Andréa de Seixas.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2014.
Inclui Referências e Apêndices.
1. Engenharia Cartográfica. 2. Locação. 3. Levantamentos geodésicos /topográficos. 4. GNSS. 5. Estação total. 6. Controle posicional. I. Seixas, Andréa. (Orientadora). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2014-130

**“UMA ABORDAGEM GEODÉSICA DA LOCAÇÃO E CONTROLE DIMENSIONAL DE
ESTRUTURAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL”**

POR

GLEICE PEREIRA DA SILVA

Dissertação defendida e aprovada em 27/02/2014.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. ANDRÉA DE SEIXAS

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. VERÔNICA MARIA COSTA ROMÃO

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. TIAGO LEITE ROLIM

Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. SÍLVIO JACKS DOS ANJOS GARNÉS

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação ao meu filho (Brenno), marido (Fred Freitas), pais (Vilian e Roberto) e irmãos (Gleison, Gleizer e Yuri Roberto) pelo incentivo, amor e paciência. E a todos aqueles que acreditaram, dando-me sempre força para vencer os meus ideais.

AGRADECIMENTOS

A Deus que esteve sempre presente em minha vida, mostrando os melhores caminhos, ensinando a ter esperança e amor na vida.

Ao meu filho (Brenno) por tornar cada saída e chegada com muita alegria, amor e companheirismo. Obrigada por tudo que ele me proporciona a cada dia.

Ao meu marido (Fred Freitas) pelo apoio, amor, companheirismo, paciência e cumplicidade depositados diariamente, e por sempre ajudar a realizar meus sonhos.

Aos meus pais (Vilian e Roberto) pela orientação durante toda minha vida.

Aos meus irmãos/filhos (Gleison, Gleizer e Yuri Roberto) pelo amor, paciência e amizade.

Esta dissertação não teria sido concluída sem o apoio, dedicação e companheirismo incondicional da Prof^a. Dr. Techn. Andréa de Seixas durante todo o tempo do mestrado.

Ao Professor Dr. Silvio Garnés pelas sugestões, colaborações e incentivo nesta dissertação.

A todos os Professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Departamento de Engenharia Cartográfica – DECart, pelo conhecimento concedido ao longo desses dois anos.

Aos amigos e mestrados Anderson Marcolino, Amanda Maria, Vanessa Maranhão e Esther Ribeiro pelas brincadeiras, risadas e guloseimas, que fizeram esta jornada ser mais prazerosa.

Ao MSc. Alexandre Souza e Ricardo Souza pela amizade, companheirismo de campo.

Aos meus amigos do mestrado Aduino Costa, André de Oliveira, Clayton Mamede, Gilberlan de Freitas, Mario Henrique e Mirele Viegas.

À Prof^a. Dr. Verônica Romão e Prof. Dr. Tiago Rolim pelas sugestões e contribuições prestadas.

Aos Engs. Civis José Roberto de Seixas e Antônio Rodrigues e mestre de obra Luiz, pelo acesso à obra.

A Rafael Pimentel Cabral de Seixas e José Roberto Pimentel Cabral de Seixas pela ajuda prestada na aquisição dos dados da área de estudo 1.

Aos funcionários e prestadores de serviços do Departamento de Engenharia Cartográfica e da Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, pela atenção e dedicação, em especial a Judite que me acompanhou desde a graduação nesta instituição, e Elisabeth Galdino.

Aos laboratórios LAGEO e LATOP pela cessão das instrumentações e *softwares*.

Aos Profissionais da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e REUNI, pela bolsa de estudo.

Ao projeto CNPq / VALE S.A. 454844/2012-3. Forma Engenharia.

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação, meus agradecimentos.

SUMÁRIO

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE QUADROS.....	XV
SIGLAS E ABREVIATURAS.....	XVI
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos da Pesquisa.....	3
1.1.1. Objetivo Geral.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos.....	4
1.2. Estrutura da Dissertação.....	4
2. QUALIDADE POSICIONAL.....	6
2.1. Norma Brasileira (NBR) 14.645-3/2005 - Locação Topográfica e Controle Dimensional da Obra – Procedimento.....	9
2.2. Norma Brasileira (NBR) 14.166/1998 - Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento.....	10
2.3 A Resolução PR nº 01 (2005) Altera a Caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro.....	13
2.5. Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS (2008)	13
3. SISTEMAS DE REFERÊNCIA.....	15
3.1. Sistemas Geodésicos de Referência.....	15
3.2. Sistema Geodésico Brasileiro.....	16
3.2.1. Sistema de coordenadas cartesianas tridimensionais geocêntricas (X, Y, Z) e coordenadas geodésicas elipsoidais (φ , λ , h).....	17
3.2.2 Sistema de coordenadas cartesianas tridimensionais topocêntricas e transformação de coordenadas geocêntricas em topocêntricas.....	19
3.3 Sistema Topográfico Local – STL.....	20
3.3.1 Definição do STL a partir de ferramentas computacionais.....	22
4. LOCAÇÃO DE ESTRUTURAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	24
4.1. Estado da Arte.....	24

4.2. Estruturas de Construção Civil	27
4.3. Métodos para a definição do sistema de referência para a Locação.	27
4.3.1. Métodos de posicionamento com GNSS.....	28
4.3.1.1. Método de Posicionamento Relativo.....	29
a) Método de Posicionamento Relativo Estático	29
b) Método de posicionamento Relativo Estático Rápido	30
4.3.1.2. Posicionamento Relativo Cinemático em Tempo Real ou RTK (Real Time Kinematic)	30
4.3.2. Métodos com Estação Total	31
4.3.2.1. Método de Poligonação com Centragem Forçada	31
4.3.2.2. Método de Interseção a Ré	34
4.4. Métodos de Locação.....	38
4.4.1. Método Polar	40
4.4.1.1. Método de Irradiação Simples	41
4.4.1.2. Método de Irradiação Dupla.....	42
4.4.2. Método Ortogonal	43
4.4.3. Método da Interseção a Vante	43
4.4.4. Método da Bilateração.....	44
4.6. Ajustamento das observações.....	46
4.7. Teste de Hipótese	48
5. EXPERIMENTOS E ANÁLISES METODOLÓGICAS	49
5.1 Metodologia e Materiais.....	49
5.1.1. Metodologia	49
5.1.2. Materiais.....	51
5.2. Áreas de estudo.....	52
5.2.1. Área de estudo 1 – Bairro da Madalena.....	52
5.2.2. Área de Estudo 2 – <i>Campus Recife</i> - UFPE.....	56
5.3. Implantação e definição dos Sistemas de Referência de Medição	60
5.3.1. Área de Estudo 1 – Bairro da Madalena	62

5.3.1.1. Medição, Processamento e Análise dos Resultados dos pontos de referência com GNSS	62
a) Medições.....	62
b) Processamento	64
c) Análise	65
5.3.1.2. Definição do Sistema Topográfico Local	67
5.3.1.3. Medição, Processo e Análise dos Resultados dos Pontos de Referência com Estação Total	69
a) Medição	69
b) Processamento e Análise	73
5.3.2. Área de estudo 2 - <i>Campus Recife</i> – UFPE	92
5.3.2.1. Aplicação do Sistema Topográfico Local da Rede de Referência Cadastral – UFPE	93
5.3.2.2. Medição, Processamento e Análise dos Resultados dos pontos de Referência com Estação Total	94
a) Medição	94
b) Processamento e análise.....	97
5.4. Locação de Pilares, Eixos de Pilares de Edificação e Controle da Locação.....	115
5.4.1. Área de estudo 1 – Bairro da Madalena.....	116
5.4.2. Área de Estudo 2 - <i>Campus Recife</i> – UFPE.....	118
5.4.2.1. Preparação da Área de Locação	120
5.4.2.2. Locação com GNSS e Controle com Estação Total	124
5.4.2.3. Locação e Controle com Estação Total	128
5.4.2.4. Locação por cavaletes e Controle com Estação Total	138
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	143
6.1. CONCLUSÕES	143
6.2. RECOMENDAÇÕES	146
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147

APÊNDICES154

RESUMO

SILVA, Gleice Pereira da. **Uma Abordagem Geodésica da Locação e Controle Dimensional de Estruturas da Construção Civil**. Recife, 2014. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

O pujante crescimento do país nos últimos dez anos provocou um aumento considerável no número de obras de construção civil, sejam elas estradas, moradias, edifícios governamentais, escolas, dentre outras. Ressalta-se o desenvolvimento acelerado na Região Nordeste Brasileira e principalmente no Estado de Pernambuco, com a construção do estaleiro e área industrial de Porto Suape; Transposição do Rio São Francisco; Transnordestina e as Cidades da Copa de 2014, assim como a construção de edificações prediais por toda a Região Metropolitana do Recife (RMR) em um curto intervalo de tempo. Em todas estas obras envolvem trabalhos de locação e controle dimensional de estruturas da construção civil. Sendo que a locação e o controle dimensional são etapas/fases de grande importância durante toda construção da obra. Nesta dissertação foram escolhidas duas áreas localizadas na RMR: a primeira localizada no Bairro da Madalena, e a segunda, localizada, no *Campus Recife*, da Universidade Federal de Pernambuco, onde a dissertação tem por finalidade analisar a acurácia posicional das estruturas geodésicas implantadas com diferentes métodos de levantamentos geodésicos/topográficos e métodos de locação empregando-se receptores GNSS, estações totais e fios a "nylon" e a prumo. Neste contexto, fez-se necessário a implantação de pontos de referência externa e interna à obra com o emprego de receptores GNSS (método de posicionamento relativo estático) e estações totais (método da poligonização com centragem forçada, interseção a ré, interseção a vante, bilateração, irradiação dupla) para a definição de um Sistema Topográfico Local e determinação de pontos-objeto (irradiação simples e dupla, interseção a vante e bilateração). Para o controle e padronização dos dados adquiridos em campo foram empregadas, as normas nacionais da Associação Brasileira

de Normas Técnicas (ABNT) 13.133/1994, 14.166/1998, 14.645-1/2002 e 14.645-3/2005 e as resoluções PR nº 01 de 2005, PR nº 05 de 1993 e PR nº 22 de 1983, e Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS (2008) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Nas análises das estruturas geodésicas determinadas com os levantamentos geodésicos/topográficos e com os métodos de locação empregados, nesta dissertação, foram utilizados os métodos de ajustamento das observações e Teste de Hipótese a um nível de confiança de 95%. Os resultados obtidos pelo teste provaram que os métodos de irradiação simples e dupla, bilateração, interseção a vante e a ré empregados dentro da área de estudo 1, apresentaram bons resultados quando comparados com o resultado do método da poligonização.

PALAVRAS CHAVES – Locação, Levantamentos Geodésicos/Topográficos, GNSS, Estação Total, Controle Posicional.

ABSTRACT

The vigorous growth of the country in the last ten years has caused a considerable increase in the number of civil works, be they roads, houses, government buildings, schools, among others. It is particularly noteworthy the rapid development of the Brazilian Northeast, and of the state of Pernambuco, with the construction of the yard and industrial area of Porto Suape; Transposition of the São Francisco River ; Cities where the Transnordestina highway passes, and the 2014 World Cup, as well as the construction of building throughout the Recife Metropolitan Region (RMR) in a short time interval. All these works involve work location and dimensional control structures construction, since the location and dimensional control are steps / phases of great importance throughout the construction. In this dissertation, two areas located in RMR were chosen: the first located in the neighborhood of Madalena, and the second, located in the Recife Campus of the Federal University of Pernambuco, where the goal was to analyze the positional accuracy of geodesic structures already implanted with different geodesic / surveying methods and location employing GNSS receivers, total stations and nylon wires and plumb. In this context, it was necessary the implementation of internal and external points of reference to work with GNSS (static relative positioning method) receivers and total stations (methods of traversing with forced centering, backward intersection, forward intersection, bilateration, double irradiation) for the definition of a Topographic System Location and determination of object points (single and double irradiation, forward intersection and bilateration). To control and standardize the data acquired in the field, the national standards of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) nr. 13.133/1994, 14.166/1998, 14.645-1/2002 and 14.645-3/2005 were employed, as well as resolutions PR Nr. 01 2005 , Nr. 05 PR 1993 and Nr. 22 PR 1983 from the Surveys and Recommendations Relating Static - GPS (2008) of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). In the analysis of the geodesic structures determined with geodesic / surveying methods and the location employed in this dissertation, the

adjustment methods of observation and hypothesis were tested to a confidence level of 95 %. The results of the test proved that the methods of single and double irradiation, bilateration, forward intersection delivered good results when compared with the results of traverse methods.

KEYWORDS: Set out; Geodesic / Topographic Surveys, GNSS, Total Station, and Positional Control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ordem hierárquica das Redes. Fonte: (ROMÃO et al., 1996).	11
Figura 2 - Coordenadas Geodésicas. Fonte: (DE FREITAS, 2005).	18
Figura 3 - Coordenadas Geodésicas. Fonte: (GÁRNES, 2005).	19
Figura 4 - Plano Topográfico Local e distância máxima a esta origem. Fonte: NBR 14.166/1998.....	20
Figura 5 - Elementos do Sistema Topográfico Local. Fonte: NBR 14.166/1998..	21
Figura 6 – Menu AstGeoTop2013. Fonte: AstGeoTop2013.	23
Figura 7- Transformações de Coordenadas. Fonte: AstGeoTop2013.	23
Figura 8 - Elementos Estruturais. Fonte: (RODRIGUES, 2005).	27
Figura 9 – Método de posicionamento relativo estático.	29
Figura 10 – Método RTK.	31
Figura 11 – Desenho Topográfico da poligonal implantada na área externa à obra. Fonte: AstGeoTop2013.	34
Figura 12 - Método de interseção a ré. Fonte: (KAHMEN; FAIG, 1988).	35
Figura 13 – Interseção a ré por meio de medições de distância. Fonte: (KAHMEN; FAIG, 1988).....	36
Figura 14 – Estação Livre. Fonte: (ERBA et al., 2005).	37
Figura 15 - Cavaletes para a construção de um “layout”. Fonte: (WOLF; GHILANI, 2006).	39
Figura 16 - Projeção dos cavaletes e edifício na área. Fonte: (WOLF; GHILANI 2006).	39
Figura 17 - Exemplo de planta de cargas e locação de pilares. Fonte: (Alva. G, M, S, 2007).	40
Figura 18 – Método Polar. Fonte: MOESER et al. (2000).	41
Figura 19 - Esquema do Método de Irradiação. Fonte: (KAHMEN; FAIG, 1988)	41
Figura 20 - Esquema do Método de irradiação dupla.....	42

Figura 21 – Método Ortogonal. Fonte: MOESER et al. (2000).	43
Figura 22 - Método de interseção a vante. Fonte: (KAHMEN; FAIG, 1988).....	44
Figura 23 - Bilateção. Fonte: (ERBAS et. al, 2005)	45
Figura 24 – Fluxograma da Metodologia Aplicada.	51
Figura 25 – Mapa da área de estudo 1 – Delimitação do Bairro da Madalena e identificação da Área de Estudo 1, coordenadas em metros.....	53
Figura 26 – Mapa da Área de Estudo I com os vértices (EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT83 e GT01) da Poligonal implantada.	54
Figura 27 – Mapa da Área de Estudo 2 – Delimitação do <i>Campus Recife</i> – UFPE e identificação da Área de Estudo 2, coordenadas em metros.	57
Figura 28 – Mapa da Área de Estudo 2 - <i>Campus Recife</i> UFPE e vértices da poligonal implantada (EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1) e pontos de referência EPS04 e EPS07.	58
Figura 29 – Fluxograma da Implantação, definição dos Sistemas de Referência de Medição, determinação dos pontos de referência e determinação dos pontos-objeto.	61
Figura 30 – Vista área dos vértices RBMC-RECF, V12, EM2 e EM3. Fonte: Imagem Google Earth (2014).	63
Figura 31 – Ocupação GNSS dos pontos de referência: a)EM2, b)EM3 e c)V12. Fotos: Novembro 2013.....	63
Figura 32 – Edifício em construção e ocupação GNSS do vértice EM2. Foto: Novembro 2013.....	64
Figura 33 – Linhas de Bases do processamento. Fonte: <i>TopCon Tools V.8.2.</i> ...	65
Figura 34– Análise da rede GNSS pontos com os pontos EM3 e EM2	66
Figura 35 – Análise da rede GNSS pontos com os pontos EM3 e EM2	67
Figura 36 – As coordenadas ajustadas da rede com os pontos EM3 e EM2. Fonte: <i>Topcon Tools v8.2</i>	67
Figura 37 – Croqui da área de estudo e esboço da localização da estruturas geodésicas internas e externas à obra.	70
Figura 38 – Esboço da poligonal externa implantada no entorno da quadra cadastral.....	72

Figura 39 – Vértices da Poligonal implantada externa à obra no Bairro da Madalena. Fonte: <i>Google Earth2013</i>	79
Figura 40 – Rede de Referência Cadastral UFPE <i>Campus Recife</i> . Fonte: MENDONÇA et al. (2010).	94
Figura 41 – Vértice EPS07 e instalação do prisma no vértice L1. Foto: Dezembro de 2013.	95
Figura 42 – Vértices EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1.	96
Figura 43 – Método de interseção a ré no vértice EPS04 e visualização dos vértices L1, L2, L3, P2 e P1.	97
Figura 44 – Vértices (L1, L2, L3, P2 e P1) da poligonal implantada. Fonte: <i>AstGeoTop2013 & Google Earth2013</i>	100
Figura 45 – Vértice EPS04 visando L1 e L2 (uma distância e um ângulo).	102
Figura 46 – Vértice EPS04 visando L1 e L2 (duas distâncias e um ângulo).	103
Figura 47 – Vértice EPS04 visando L1, L2 e L3 (três distâncias e dois ângulos).	104
Figura 48 – Vértice EPS04 visando L1, L2 e L3 (uma distância e dois ângulos).	105
Figura 49 – Vértice EPS04 visando L1 e L2 (duas distâncias).	107
Figura 50 – Vértice EPS04 visando L1, L2 e L3 (três distâncias).	108
Figura 51 – Vértice EPS04 visando L1, L2, L3, P2 e P1 (cinco distâncias).	109
Figura 52 – Vértice EPS04 visando L1, L2 e L3 (dois ângulos).	111
Figura 53 – Vértice EPS04 visando L1, L2, L3 e P2 (três ângulos).	112
Figura 54 – Vértice EPS04 visando L1, L2, L3, P2 e P1 (três ângulos).	113
Figura 55 – Visualização dos vértices das estruturas geodésicas externas e internas à obra e a identificação das quinas internas da propriedade.	117
Figura 56 – Fluxograma do procedimento da Locação.	119
Figura 57 – Estruturas geodésicas e pontos (A, B, C, D) da Área de Estudo 2. Fonte: <i>AutoCAD2013</i>	120
Figura 58 – Posicionamento dos Cavaletes. Fonte: <i>AutoCAD2013</i> (versão estudantil).	121

Figura 59 – Vértice EPS04 da RRC da UFPE. Fotos: Janeiro 2014.....	125
Figura 60 – Locação do ponto A pelo método de posicionamento RTK. Fotos: Janeiro 2014.....	126
Figura 61 – Coletora GNSS no ponto A. Fotos: Janeiro 2014.	126
Figura 59 – Verificação das distâncias entre os pontos locados. Fotos: Janeiro 2014.....	127
Figura 63 – Verificação dos pontos locados pelo método de irradiação e emprego de bastão e prisma. Fotos: Janeiro 2014.	130
Figura 64 – Visualização do vértice ESP04 visando os pontos A, B, C e D.	132
Figura 65 – Materiais empregados para a locação. Foto: Janeiro 2014.....	132
Figura 66 – Mini-prisma para locação. Foto: Janeiro 2014.....	134
Figura 68 – Ilustração das Retas que representam os eixos dos pilares.	136
Figura 69 – Fixação dos pregos nos pontos e amarração do fio a “nylon”. Foto: Janeiro 2014.....	138
Figura 70 – Determinando do ponto A área UFPE. Foto: Janeiro 2014.	139
Figura 71 – Controle posicional da locação do ponto A. Foto: Janeiro 2014.	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coordenadas Cartesianas Tridimensionais dos vértices EM2 e EM3.	22
Tabela 2 – Coordenadas dos vértices EM2 no STL.....	22
Tabela 3– Coordenadas das estações RBMC-RECF e V12.....	64
Tabela 4– Coordenadas das estações EM2 e EM3 (Ajustadas) determinadas por RECF e V12.....	65
Tabela 5 – As coordenadas Geodésicas e Cartesianas no STL (SIRGAS2000). 68	
Tabela 6 – As coordenadas Geodésicas e Cartesianas no STL (SIRGAS2000). 68	
Tabela 7 – As coordenadas no STLA (SIRGAS2000).	74
Tabelas 8 – Coordenadas dos vértices EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT83, E8 e GT01 ajustadas no STLA e seus respectivos desvios-padrão e diferenças entre as coordenadas X e Y determinadas pelos dois processamentos.....	75
Tabela 9 – Coordenadas no STL.....	76
Tabelas 10 – Coordenadas ajustadas dos vértices EM3, EM4, EM5, GT83, E8, GT01 e EM1 no STL e os seus respectivos desvios-padrão.....	76
Tabela 11 - valores observados ajustados da poligonal (EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT83, GT01 e E8) e seus respectivos desvios-padrão.....	77
Tabela 12 – Diferenças entre as coordenadas dos vértices EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT83, GT01 e E8 determinada pelo do método tradicional e o pelo MMQ-modelo paramétrico e seus respectivos desvios-padrão.	78
Tabela 13 – Coordenadas ajustadas EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT83, GT01 e E8 no STL no AstGeoTop2013, desvios-padrão e suas respectivas diferenças. 79	
Tabela 14 – As coordenadas dos vértices (E5, E7, E4, E3, E2 e E1) e respectivas diferenças.....	80
Tabela 15 – Desvios-padrão dos vértices E5 e E7; E4 e E3; E2 e E1.	81
Tabela 16 – Valores observados ajustados da poligonal e seus valores mais prováveis das distâncias e ângulos observados e seus respectivos desvios-padrão.	81
Tabela 17 – Valores observados dos azimutes e seus respectivos desvios-padrão.	82

Tabela 18- Classificações das poligonais internas à obra, Erros de Fechamento Angular e Linear, precisões relativas e perímetro.....	82
Tabela 19 – As coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E2 no STL e respectivas diferenças – caso interseção a vante.....	83
Tabela 20– Desvios-padrão das coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E2.....	84
Tabela 21– Estatística do Teste para os vértices E8, E5, E7 e E2.....	84
Tabela 22 – Coordenadas ajustadas obtidas pelo método de poligonização fechada e pelo método de interseção a vante e suas respectivas diferenças.	85
Tabela 23 – As coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E2 no STL e suas respectivas diferenças – caso irradiação dupla.....	86
Tabela 24– Desvios-padrão dos Vértices E8, E5, E7 e E7 – caso irradiação dupla.	86
Tabela 25– Estatística do teste dos Vértices E8, E5, E7 e E7 – caso irradiação dupla.	87
Tabela 26 – Coordenadas ajustadas obtidas pelo método de poligonização fechada e pelo método da irradiação dupla e suas respectivas diferenças.	87
Tabela 27 – Coordenadas dos vértices E2 e E5 obtidos pelo método da bilateração sem ajustamento e pelo método de poligonização com ajustamento e respectivas diferenças.	88
Tabela 28 – Coordenadas dos vértices E8, E7, E2 e E4 no STL e suas respectivas diferenças.....	89
Tabela 29– Desvios-padrão dos Vértices E8, E7, E2 e E4 - caso estação livre..	90
Tabela 31– Estatística do teste dos Vértices E8, E5, E7 e E7 – caso estação livre.....	90
Tabela 32 – Coordenadas ajustadas obtidas pela poligonização fechada e pelo método estação livre e suas respectivas diferenças.	91
Tabela 33 – Coordenadas dos vértices E3 e E7 no STL e suas respectivas diferenças.....	91
Tabela 34 – Coordenadas dos vértices E7 e E3 no STL e suas respectivas diferenças.....	92
Tabela 35 – Coordenadas dos Vértices ESP04 e EPS07.	93

Tabela 36 – Coordenadas do Vértice RBMC-RECF.	93
Tabelas 37 – Coordenadas dos vértices EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1 no STL (SIRGAS2000).....	98
Tabelas 38 – Coordenadas ajustadas dos vértices L1, L2, L3, P2 e P1 no STL e seus respectivos desvios-padrão.	99
Tabela 39 - Valores observados ajustados da poligonal (EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1) e seus respectivos desvios-padrão.....	99
Tabela 40 – Diferenças entre as coordenadas dos vértices (EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1) pelo método tradicional e pelo método MMQ - modelo paramétrico.....	100
Tabela 41 – Coordenadas Geodésicas (ϕ, λ) e Plano-retangulares UTM (SIRGAS2000) dos vértices L1, L2, L3, P2 e P1.....	101
Tabela 42 – As coordenadas ajustadas L1, L2, L3, P2 e P1 no STL no AstGeoTop2013, desvios-padrão e suas respectivas diferenças.	101
Tabela 43 – As coordenadas do vértice EPS04 - caso 1 (uma distância e duas direções).....	102
Tabela 44 – As coordenadas do vértice EPS04, desvios-padrão e suas respectivas diferenças – caso 2 (duas distâncias e duas direções).....	103
Tabela 45 – As Coordenadas do vértice EPS04 no STL, desvios-padrão e suas respectivas diferenças - caso 3 (três distâncias e dois ângulos)	104
Tabela 46 – As coordenadas do vértice EPS04 no STL, desvios-padrão e suas respectivas diferenças - caso 4 (uma distância e três direções).....	105
Tabela 47 – A diferenças das coordenadas do vértice EPS04 por meio de medições combinadas de direções e distâncias	106
Tabela 48 – As coordenadas do vértice EPS04 no STL - caso 1 (duas distâncias).	107
Tabela 49 – As coordenadas do vértice EPS04 no STL, desvios-padrão e suas respectivas diferenças - caso 2 (três distâncias).....	108
Tabela 50 – As coordenadas do vértice EPS04 no STL, desvios-padrão e suas respectivas diferenças - caso 3 (cinco direções).....	109
Tabela 51 – A diferenças do vértice das coordenadas do vértice EPS04 por meio de medições distância e direção.....	110

Tabela 52 – As coordenadas do vértice EPS04 no STL - caso 1 (duas distâncias).....	111
Tabela 53 – As Coordenadas do vértice EPS04 no STL, desvios-padrão e suas respectivas diferenças - caso 2 (quatro direções)	112
Tabela 54 – As Coordenadas EPS04 no STL, desvios-padrão e suas respectivas diferenças - caso 3 (cinco direções)	113
Tabela 55 – As diferenças das coordenadas do vértice EPS04 por meio de medições distância.....	114
Tabelas 56 – Diferenças entre as coordenadas do Vértice EPS04 no STL.	115
Tabela 57 – Coordenadas das Quinas internas as faces do muro da propriedade.....	117
Tabela 58 – Coordenadas das fixadas no gabarito da obra as faces do muro da propriedade.	118
Tabela 59 – As coordenadas Plano-retangulares X e Y no STL	120
Tabela 60 – Coordenadas do gabarito STL área UFPE. Preparação.....	122
Tabela 61 – EPS04 a partir de L1 e L2.	123
Tabela 62 – EPS04 a partir de L1, L2 e L3.	123
Tabela 63 – As coordenadas do comando pontos polar/detalhes e do AutoCAD2013 para a locação dos pontos A, B, C e D, e suas respectivas diferenças.....	123
Tabela 64 – As coordenadas do método da Irradiação dupla e AutoCAD2013 para determinar os pontos A, B, C e D, e seus respectivos desvios-padrão e diferenças.....	124
Tabela 65 – Coordenadas dos pontos A, B, C e D em SIRGAS2000. Fonte : AstGeoTop 2013.....	125
Tabela 66 – Desvios obtidos durante a locação.....	127
Tabela 67 – Coordenadas plano-retangulares no STL dos pontos A, B, C e D e suas respectivas diferenças	128
Tabela 68 – Caderneta de Locação UFPE.	130
Tabela 69 – As coordenadas dos pontos A, B, C, D, A _P , B _P , C _P e D _P da Área da UFEP obtidas com o emprego da Estação Total e respectivas diferenças.	131

Tabela 70– Caderneta de Locação dos cavaletes.....	133
Tabela 71 – As coordenadas dos pontos A_{A1} , A_{L1} , B_{L1} , B_{F1} , C_{F1} , C_{L1} , D_{L1} e D_{A1} determinadas por interseção a vante e coletadas no AutoCAD2013 e suas respectivas diferenças.	135
Tabela 72 – Coordenadas dos pontos A, B, C e D obtidas pela interseção das retas e coletadas no AutoCAD2013 e suas respectivas diferenças.....	137
Tabela 73 – Coordenadas dos pontos A, B, C e D a partir do vértice ESP04 (Irradiação Simples)	140
Tabela 74 – Coordenadas dos pontos A, B, C e D a partir do vértice L1 (Irradiação Simples)	141
Tabela 75 – Coordenadas dos pontos A, B, C e D a partir dos vértices EPS04 e L1 (Irradiação Dupla).....	141

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros de transformação entre o SAD-69 e SIRGAS2000.	15
Quadro 2 – Classificação dos Métodos de posicionamento.	28
Quadro 3 - Fechamento das poligonais na ferramenta Loop Closures.	66

SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AstGeoTop – Programa Computacional.

DIN - *Deutsches Institut für Normung*.

GLONASS – Global'naya navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema.

GNSS – Global Navigation Satellite Systems.

GPS – Global Position System.

ISO - *International Standard Organization*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

NBR – Norma Brasileira.

RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.

RC - Racionalização Construtiva.

RMR - a Região Metropolitana do Recife.

RRCM - Referência de Medição para o Cadastro Municipal.

RTK - Real Time Kinematic.

SAD - 69 – South American Datum 69.

SCA - Sistema de Controle Ativos.

SCN - Sistema Cartográfico Nacional.

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro.

SIRGAS200 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas.

SRM - Sistema de Referência de Medição.

STL – Sistema Topográfico Local.

UTM – Universal Transversa de Mercator.

1. INTRODUÇÃO

O pujante crescimento do país nos últimos dez anos provocou um aumento considerável no número de obras de construção civil, sejam elas estradas, moradias, edifícios governamentais, escolas, dentre outras. Ressalta-se o desenvolvimento acelerado na Região Nordeste Brasileira e principalmente no Estado de Pernambuco, com a construção do estaleiro e área industrial de Porto Suape; Transposição do Rio São Francisco; Transnordestina e as Cidades da Copa de 2014, assim como a construção de edificações prediais por toda a Região Metropolitana do Recife (RMR) em um curto intervalo de tempo.

É importante ressaltar que a locação e o controle posicional e dimensional são etapas de grande importância durante a execução da obra. Quando o controle posicional e dimensional é negligenciado, pode trazer conseqüências desastrosas, as quais poderão repercutir diretamente na construção da obra, provocando defeitos. Caso os mesmos sejam descobertos a tempo, poderão ser contornados com um custo adicional reduzido, caso contrário, tem-se que recomeçar a obra do início, comprometendo assim, seriamente, o custo da obra.

Os Métodos com base nos Sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System, em português Sistema Global de Navegação por Satélite) e os Métodos Terrestres de Medição: Poligonação, Interseção a Vante e a Ré, Irradiação, Bilateração, surgem neste cenário como ferramentas técnicas para a execução e acompanhamento das obras. Estas favorecem a locação e o controle geométrico de estruturas da construção civil, pois garantem uma exatidão compatível com as tolerâncias expressas nas normas ou compatíveis com a precisão do equipamento empregado. O emprego dessas tecnologias melhora, portanto, o desempenho geométrico da obra, garantindo uma confiabilidade posicional dos elementos estruturais da obra.

A Teoria dos Erros vem contribuir para o estudo e garantia da confiabilidade da posição dos elementos da estrutura civil locada em

campo, sendo fundamental para a verificação e a análise do controle dimensional de estruturas da obra. Os métodos empregados nesta dissertação para os cálculos de ajustamento com os dados adquiridos em campo serão os Métodos dos Mínimos Quadrados (MMQ).

Para obtenção do controle de qualidade dos dados adquiridos nesta dissertação foram abordadas as seguintes normas nacionais: Norma Brasileira (NBR) 13.133/1994, Norma Brasileira (NBR) 14.166/1996 e Norma Brasileira (NBR) 14.645-1/2000 e 14.645-3/2005 Elaboração do “como construído” (“*as built*”) para edificações, todas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), assim como a Resolução PR nº5 (1993), Resolução PR nº22 (1983), Resolução PR nº01 (2005) e Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS (2008) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As normas servem para padronizar os métodos de levantamento e locação, para definição de sistemas de referência, melhorando a execução do trabalho de campo e gerenciamento do processo.

Para as realizações de trabalho voltado à Engenharia é necessária a definição de campo de pontos. Estes podem ser campo de pontos de referência e pontos-objeto. Em (SILVA et. al., 2004) são conceituados pontos na medição de deformação de objetos, os quais, no contexto desta dissertação, podem ser similarmente abstraídos para a execução de locação de obras e seu controle dimensional.

Nesta dissertação, foram escolhidos para a locação e o controle posicional objetos da construção civil, como pilares de edificações prediais. Para tanto foram aplicados os métodos com base nos Sistemas GNSS como: estático e RTK (Real Time Kinematic), os métodos planimétricos à base de sistemas de medição compostos por estações totais, tais como: Poligonação com Centragem Forçada, Interseção a Ré, Interseção a Vante, Irradiações simples e duplas, e Bilateração, assim como o método por cavaletes com empregado de fios a “nylon” e a prumo.

Apesar de destes métodos serem conhecidos e utilizados como ferramentas de locação, até então não foram abordados sistematicamente

de acordo com as normas. Envolvendo a definição e implantação de estruturas geodésicas e sistemas de referência, assim como análise da acurácia posicional dos métodos empregados.

Neste contexto, designa-se abordar como os métodos GNSS e os Métodos Terrestres de Medição podem ser aplicados de modo a garantir um resultado compatível com a precisão do equipamento empregado na locação e controle dimensional de pilares de edificações prediais, ressaltando-se que estes devem ser empregados nos Projetos de Engenharia para o georreferenciamento, locação e controle dimensional de elementos estruturais da construção civil, com o objetivo de fornecer um resultado posicional confiável para a obra.

Foram escolhidas duas áreas de estudo que ficam localizadas na Região Metropolitana do Recife (RMR). A primeira área está localizada no Bairro da Madalena, que será denominada de Área de Estudo 1 - Madalena; e a segunda está localizada no Bairro da Várzea, dentro do *Campus Recife*, da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), que será denominada de Área de Estudo 2- *Campus Recife UFPE*. Na Área de Estudo 1 – Madalena, foram implantadas estruturas geodésicas para o controle de locações realizadas em uma obra de construção civil (edificação predial) e na Área de Estudo 2 - *Campus Recife UFPE*, foram implantadas estruturas geodésicas para a locação e controle posicional de pontos-objeto, que simulam centros e eixos de pilares de uma edificação.

1.1. Objetivos da Pesquisa

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar a acurácia posicional das estruturas geodésicas implantadas com diferentes métodos de levantamentos geodésicos/topográficos e métodos de locação empregando-se receptores GNSS, estações totais e fios a "nylon" e a prumo.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Analisar e definir estruturas geodésicas a fim de contribuir para a rigidez geométrica na obtenção de pontos do espaço objeto usados em locação;
- Executar o controle da locação com o emprego de estação total em uma obra no Bairro da Madalena – Recife/PE e no *Campus Recife UFPE*.
- Elaborar aplicativos para o processamento e análises dos resultados; e
- Analisar os resultados do posicionamento para o levantamento e a locação de obras por métodos GNSS e Métodos Terrestre de Medição, utilizando-se Teoria dos Erros.

1.2. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida em seis (6) capítulos: 1. Introdução, 2. Qualidade Posicional, 3. Sistemas de Referência, 4. Locação de Estruturas da Construção Civil, 5. Experimentos e Análises Metodológicas, finalizando-se com o capítulo 6. Conclusões e Recomendações.

O primeiro capítulo apresenta na introdução um contexto geral e a importância desta dissertação, assim como a formulação do problema e a hipótese da pesquisa. Além disso, são descritos os objetivos geral e específicos, e finalizando-se com a estruturação do trabalho.

No segundo capítulo são apresentadas as normas brasileiras referentes ao tema da dissertação. E no terceiro capítulo serão apresentados os conceitos relacionados aos Sistemas de Referência, Sistemas de Coordenadas e suas Transformações.

No quarto capítulo é apresentado o estado da arte referente aos sistemas disponíveis empregados para a locação. Assim como os conceitos relacionados à locação e seus respectivos métodos com o emprego de receptores GNSS, estação total e fios a “nylon” e a prumo, assim como os modelos de ajustamento.

No quinto capítulo serão descritos os procedimentos metodológicos necessários para a realização dos pontos de referência para a locação e o controle dimensional, especificamente, centros de pilares de edificação predial, assim como os respectivos processamentos e análises dos resultados.

Finalizando-se com as conclusões e recomendações para futuros trabalhos.

2. QUALIDADE POSICIONAL

A locação não é uma tarefa fácil, além de posicionar e localizar o ponto desejado deve-se também expor a qualidade posicional obtida no procedimento de locação. Para analisar a acurácia posicional na locação, nesta dissertação, foram estudadas normas nacionais da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A utilização do controle de qualidade garante uma série de benefícios, tais como: a visibilidade frente ao mercado, a redução de custos e tempo na obra e a confiabilidade do produto gerado. As locações das estruturas civis exigem um controle dimensional e geométrico para garantir que as estruturas sejam corretamente locadas, conforme planejamento em projeto.

Para ser realizado o controle dimensional e geométrico são necessárias normas e procedimentos para garantir a qualidade do trabalho, baseado em três questões fundamentais: O que medir? Como medir? E o que fazer com os dados obtidos? (GUIMARÃES, 2012).

Segundo Botelho (2003), as normas técnicas e especificações para a realização do posicionamento preciso de edificações prediais, compreendem desde as relacionadas aos trabalhos topográficos para o controle dimensional, até aquelas relativas ao georreferenciamento dos imóveis à Rede de Referência Cadastral Municipal. Estas normas e especificações são enquadradas em normas nacionais e estrangeiras relacionadas aos trabalhos de Topografia NBR 13.133/1994 – Execução de Levantamento Topográfico; NBR 14.166/1998 – Manutenção e implantação de Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimentos; NBR 14.645/2005 – Elaboração do “Como Construído” (“*as built*”) para edificações; NBRR 14.645-3/2005 – Locação Topográfica e Controle Dimensional da Obra (Procedimento); e em normas relacionadas Altera a Caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro (Resolução PR nº1, (IBGE, 2005)), e aos levantamentos por receptores GPS (Resolução PR nº5 (IBGE,

1993); Resolução PR nº22 (IBGE, 1983); e Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS). Em (BOTELHO, 2003) também são discutidos, resumidamente, sobre o tratamento dos dados nas poligonais segundo a NBR 13.133/1994, assim como o ajustamento da poligonal no campo de pontos de referência primário.

Complementando a NBR 13.133/1994 onde considera três (3) tipos de poligonais, levando em consideração à tolerância do fechamento e o ajustamento das observações. Classificando em Tipo 1, 2 e 3.

- Tipo 1 - Poligonais fechadas e apoiadas em um único ponto e uma só direção;
- Tipo 2 – Poligonais fechadas e apoiadas em pontos e direções distintas num desenvolvimento curvo; e
- Tipo 3 – Poligonais fechadas e apoiadas em pontos e direções distintas num desenvolvimento retilíneo.

Em Erba et al. (2005) a poligonal podem ser classificada em três (3) grupos.

- Aberta: Começam e terminam em pontos diferentes, ou seja, o ponto de partida não é o mesmo da chegada;
- Fechada: Começam e terminam no mesmo ponto, ou seja, o ponto de partida é o mesmo da chegada; e
- Apoiada/Enquadrada: Se conhecem as coordenadas do ponto de partida e de chegada, sendo estas não coincidentes.

No que diz respeito às normas internacionais sobre locação Botelho (2003) cita a ISO 4463-1/1989 – Measurement methods for building – setting-out and measurement (Mensuração e locação de edificações). Acrescenta-se aqui, que além desta, existe também a norma DIN 18.710/2010 – Ingenieurvermessung (Engenharia de Medição). Essa é subdividida em quatro (4) partes denominadas: Parte 1- Allgemeine Anforderungen (Finalidades Gerais); Parte 2 - Aufnahme (Levantamento); Parte 3 – Absteckung (Locação); e Parte 4 – Überwachung (Monitoramento).

Com respeito às normas da ISO (*International Standard Organization*) relacionadas com a instrumentação topográfica/geodésica, pode-se citar as seguintes:

- ISO 17.123-1/2002 - Óptica e instrumentos ópticos - procedimentos de campo para testar instrumentos geodésicos e topográficos – Parte 1: Teoria;
- ISO/DIN 17.123-5/2005 - Óptica e instrumentos ópticos - procedimentos de campo para testar instrumentos geodésicos e topográficos – Parte 5: Estações Totais;
- ISO/DIN 17.123-8/2007 - Óptica e instrumentos ópticos - procedimentos de campo para testar instrumentos geodésicos e topográficos – Parte 8: Sistemas de medição de campo GNSS em tempo real cinemático (RTK);

Ressalta-se que a NBR 13.133/1994 traz recomendações sobre os ajustamentos das poligonais do tipo 1 e 2, mas não utiliza o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Os métodos de bilateração, irradiação simples e dupla, interseção a ré e vante também não são discutidos nesta norma. Além disso, a norma está desatualizada de acordo com as tecnologias atuais. Atualmente nos canteiros de obra da Construção Civil empregam-se, por exemplo, instrumentos que possuem programas embutidos para o levantamento e locação planialtimétrica.

Além das normas citadas em Botelho (2003) acrescenta-se, nesta dissertação, aborda-se a norma NBR 14.645-3/2005 – Locação Topográfica e Controle Dimensional da Obra – Procedimento; as discussões sobre a NBR 14.166/1998 apresentadas em Gárnes et al. (2005) e Dal'forno et al. (2010) referentes as transformações de coordenadas geodésicas em coordenadas plano-retangulares no Sistema Topográfico Local, além das discussões apresentadas em Romão et al. (1996), as quais antecedem a homologação desta norma; a Resolução PR nº5 (IBGE, 2005) – Caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro; e as Recomendações para os Levantamentos Relativos Estáticos – GPS (IBGE, 2008). Esta última atualiza a PR nº5 (IBGE, 1993).

Essas normas são importantes devido aos métodos e instrumentos de medição empregados, sendo necessárias para se discutir a qualidade dimensional e geométrica das estruturas civis estudadas.

2.1. Norma Brasileira (NBR) 14.645-3/2005 - Locação Topográfica e Controle Dimensional da Obra – Procedimento

A NBR 14.645 está dividida em três (3) partes. A primeira parte trata sobre o Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25.000 m², para fins de estudos, projetos e edificação; A segunda parte trata sobre Levantamento planimétrico para Registro público para retificação de imóvel urbano - Procedimento; e a terceira Parte trata sobre a locação topográfica e controle dimensional da obra – Procedimento, que tem por objetivo:

- Estabelecer os requisitos necessários para a locação e o controle dimensional da obra, ressaltando as anotações de todas as alterações que ocorrerem durante a mesma; e
- Indicar os procedimentos para se chegar ao projeto executado, tendo-se inicialmente um projeto executivo.

A parte 3 da norma descreve que, para a realização da locação e o controle dimensional em uma obra de edificação, é necessário que tenha sido desenvolvida anteriormente as etapas: do levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral do imóvel (de acordo com as tolerâncias admissíveis); assim como do projeto executivo (terraplanagem, fundação, pilares e eixos); além de outros detalhes da edificação, que são considerados necessários. Ressalta-se a importância da verificação da documentação do projeto executivo e a conferência da base cartográfica utilizada no projeto. Devendo-se ser a mesma base utilizada no levantamento planialtimétrico e cadastral.

De acordo com a parte 3 da norma, normalmente é necessária a implantação de apoio topográfico planialtimétrico para o acompanhamento de todas as etapas do levantamento topográfico previsto durante a obra. Neste contexto são verificadas as poligonais e

referência de nível, localizadas exteriormente e interiormente a obra. A locação dos eixos dos pilares é realizada a partir dos vértices da poligonal implantada, sendo estes transportados para o gabarito da obra e materializados por pinos metálicos ou marcos de concreto.

2.2. Norma Brasileira (NBR) 14.166/1998 - Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento

A norma NBR 14.166/1998 impõe condições fixas para a implantação de uma Rede de Referência Cadastral Municipal destinada a constituir uma infraestrutura de apoio geodésico e topográfico. Neste contexto, sistematizando e normalizando os levantamentos topográficos, seja por método direto (clássico), por método aerofotogramétrico ou outro que seja criado. As atividades cadastrais, que são representadas no Plano Topográfico Local entre as escalas de 1:1000 até 1:1, devem ser apoiadas nesta Rede de Referência Cadastral Municipal, assim como os levantamentos destinados à Cartografia.

A norma fixa as condições necessárias para a implantação e manutenção da Rede de Referência Cadastral Municipal. Esta se destina:

- apoiar e atualizar sua elaboração no que diz respeito as plantas cadastrais,;
- amarrar todo o serviço de topografia, visando às incorporações às plantas cadastrais do município;
- referenciar todos os serviços topográficos de demarcação, de projetos, anteprojetos, acompanhamento e implantação de obras de engenharia de modo geral, de urbanização, de levantamento de obras “como construídas” (“as built”) e de cadastro imobiliário para registros públicos e multifinalitários.

A norma aborda as definições, dentre outras: de ponto topográfico, marco geodésico, marco geodésico de apoio imediato, marco geodésico de precisão, coordenadas plano-retangulares (X,Y), Sistema de Projeção Topográfica (Sistema Topográfico Local), que constituem o Sistema

Topográfico (cf. capítulo 3). Na norma são definidos os procedimentos de apoio geodésico e topográfico, que proporcionam a normatização e sistematização de todos os levantamentos topográficos, executados em qualquer escala e para qualquer finalidade no âmbito Municipal.

Em Romão et al. (1996) são apresentados resultados de discussões do grupo de trabalho sobre Cadastro Municipal do DECart-UFPE, considerando os pré-requisitos do Sistema de Referência de Medição para o Cadastro Municipal (RRCM). Segundo os mesmos autores, existe uma hierarquia para a implantação de uma Rede de Referência Cadastral Municipal. Essa hierarquia começa pela Rede nacional GPS ou Rede de triangulação, onde a partir dessa é densificada as outras redes: Rede Estadual de Referência, Rede de Referência Cadastral Municipal, até chegar à Rede de Levantamento (Figura 1).

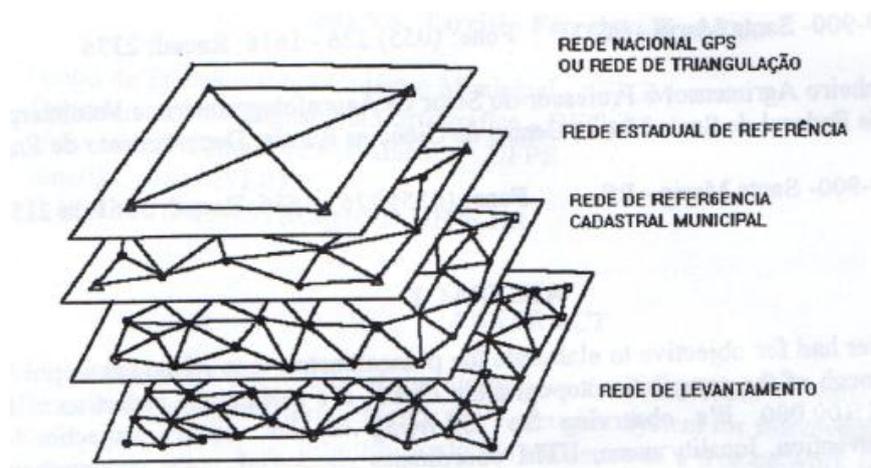


Figura 1- Ordem hierárquica das Redes. Fonte: (ROMÃO et al., 1996).

Romão et al. (1996) apresentam a definição de RRCM como “um conjunto de pontos devidamente distribuídos no campo, que materializam o Sistema de Referência de Medição (SRM), determinados com a precisão necessária aos levantamentos de limites de propriedades, contornos de edificações e feições municipais”.

A norma 14.166/1998 estabelece as condições necessárias para definir um Sistema Topográfico Local (STL). Segundo Souza (2012), foram realizados alguns trabalhos que abordam os pontos fracos e os pontos não

contempladas pela NBR 14.166/1998, tais como: (GARNÉS 1998, 2005), (DAL'FORNO et al., 2010) e (SILVA et al., 2003)

Dal'Forno et al. (2010) apresentam dois métodos de transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas no plano topográfico Local. O primeiro método estabelecido pela NBR 14.166/1998 e o segundo método tem a finalidade de transformar coordenadas geodésicas em coordenadas plano-retangulares por rotação e translações. Os resultados obtidos são comparados e analisados, onde se conclui que ambos os métodos estão de acordo com a precisão exigida pela norma 14.166/1998, mas que, no entanto o método de rotações e translações oferece resultados com maior exatidão, pois não depende do estabelecimento de limites quanto as altitude envolvidas, de acordo com a norma limitada a diferenças de nível de $\pm 150,00\text{m}$ entre o ponto origem e os demais pontos.

Em Garnés et al. (2005) são apresentadas, analisadas e discutidas algumas das equações da NBR 14.166/1998 que definem na prática o Sistema Topográfico Local. Segundo os autores algumas equações fornecidas na NBR 14.166/1998 não devem ser empregadas, como por exemplo, a que diz respeito ao fator de elevação. Recomendando-se a transformação de coordenadas cartesianas geocêntricas em topocêntricas,, ou seja, a transformação do Sistema Geodésico Local (cf. capítulo 3). Os autores utilizam as equações da Norma e a equações de transformação de coordenadas geodésicas elipsoidais em cartesianas geocêntricas nos dados obtidos em campo de um levantamento realizado na cidade de Campo Grande-MS. Os resultados são comparados e analisados, e é sugerida a substituição de algumas fórmulas. Salienta que há necessidade de alguns ajustes, tais como: desvio da vertical; a não junção dos Planos Topográficos Locais; e a transformação biunívoca entre as coordenadas (Garnés e Firkowski, 1999) nas fórmulas dos anexos A, B e C da NBR 14.166/1998 sobre plano topográfico local. Os autores buscam eliminar os inconvenientes da projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), tal como a junção dos planos e diminuir erros originados das reduções de distâncias ao elipsoide.

2.3 A Resolução PR nº 01 (2005) Altera a Caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro

O IBGE é responsável pela implantação, manutenção e definição do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e também estabelece as especificações e normas gerais para os levantamentos geodésicos de acordo com o Decreto-Lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967 (IBGE, 2005).

Conforme (IBGE, 2005) para que as atividades geodésicas sejam desenvolvidas é necessário estabelecer um Sistema Geodésico de Referência, que seja empregado em todos os trabalhos de posicionamento no território nacional, sendo materializado através de estações geodésicas distribuídas pelo país, e, desta forma, construindo-se uma infraestrutura de referência, onde novos pontos são definidos a partir desta. Com os avanços dos instrumentos de medição e a criação dos Sistemas Globais de Navegação por Satélites (GNSS), foi possibilitada a adoção de um novo Sistema de Referência Geodésico para Brasil denominado Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) que servirá tanto para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) quanto para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN).

2.5. Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS (2008)

Com o desenvolvimento do GPS e a concepção de novos sistemas de posicionamento por satélites houve a necessidade da revisão da resolução PR nº 5 (1993) - Especificações e Normas Gerais para Levantamentos GPS: versão preliminar.

A resolução PR nº5 (1993) apresenta as diferentes técnicas de posicionamento, tais como: Ponto preciso, posicionamento relativo estático, estático-rápido, semicinemático, e cinemático. Ainda nesta resolução traz um resumo das técnicas e as observáveis empregadas em cada uma, e o tempo necessário para obter as precisões desejadas do trabalho de acordo com o tamanho da linha de base. Na resolução traz a classificação dos

receptores como Navegação, Topográfico e Geodésico. Ressalta a necessidade do planejamento para os dados que vai desde a seleção do local para implantação dos marcos até observações de campo. A mesma resolução comenta sobre o processamento das observações e integração ao referencial geodésico, trazendo explicações sobre a Estação de Referência, Efemérides, Erros nas observáveis GPS, e Coordenadas Determinadas.

3. SISTEMAS DE REFERÊNCIA

Para a locação e o controle dimensional de pilares de edificação predial, faz-se necessário a abordagem de coordenadas cartesianas tridimensionais geocêntricas (X, Y, Z), coordenadas geodésicas elipsoidais (φ , λ , h), coordenadas cartesianas tridimensional topocêntricas (X, Y, H).

3.1. Sistemas Geodésicos de Referência

Segundo de Freitas (2005), o Sistema Geodésico de Referência (SGR) é constituído por um conjunto de parâmetros geodésicos fundamentais adquiridos nas observações realizadas na Terra, propondo um modelo da forma e dimensões do elipsóide de referência e um campo de gravidade externo da Terra. As grandezas que definem o SGR são:

- a : Semi-eixo maior;
- J_2 : Fator dinâmico de forma;
- GM : Constante Gravitacional Geocêntrica; e
- ω : Velocidade angular da Terra.

O estabelecimento do eixo de rotação do elipsóide de revolução, como coincidente com o eixo de rotação da Terra, e o centro do sistema, coincidente com o centro de massas da Terra para uma dada época, formam um Sistema de Referência Terrestre Convencional. O SIRGAS2000 é um exemplo deste tipo de sistema, o qual possui como elipsóide de referência o elipsóide *Geodetic Reference System 1980 (GRS80)*. Os parâmetros deste elipsóide podem ser vistos na Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros de transformação entre o SAD-69 e SIRGAS2000.

SAD-69 para SIRGAS2000	SIRGAS2000 para SAD-69
$a_1 = 6.378.160$ m	$a_1 = 6.378.137$ m
$f_1 = 1/298,25$	$f_1 = 1/298,257222101$
$a_2 = 6.378.137$ m	$a_2 = 6.378.160$ m
$f_2 = 1/298,257222101$	$f_2 = 1/298,25$
$\Delta X = - 67,35$ m	$\Delta X = + 67,35$ m
$\Delta Y = + 3,88$ m	$\Delta Y = - 3,88$ m
$\Delta Z = - 38,22$ m	$\Delta Z = + 38,22$ m

Fonte: IBGE, 2005.

Onde:

a_1, f_1 = Parâmetros geocêntricos do elipsoide do sistema de origem;

a_2, f_2 = Parâmetros geométricos do elipsoide do sistema de destino; e

$(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ = Parâmetros de transformação entre os sistemas.

3.2. Sistema Geodésico Brasileiro

No Brasil existe oficialmente um sistema geodésico de referência, o SIRGAS2000, que é geocêntrico, ou seja, possui a origem localizada no centro de massas da Terra (IBGE, 2006).

A definição, implantação e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) são de responsabilidade do IBGE, assim como o estabelecimento das especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos. Para o SGB, o SIRGAS2000 poderá ser utilizado em concomitância com o sistema SAD-69 e para o Sistema Cartográfico Nacional. O SIRGAS2000 também poderá ser empregado em concomitância com os sistemas SAD-69 e Córrego Alegre, de acordo com a PR nº1 de 25 de fevereiro de 2005 (IBGE, 2005). O SGB é constituído pelas redes planimétrica, altimétrica e gravimétrica.

As estações de Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) possuem as seguintes particularidades: foram implantadas através de pino com centragem forçadas; funcionam 24 horas por dia; receptores com capacidade de captura sinais GPS, GLONASS ou ambos (GPS+GLONASS); armazenam continuamente as observações do código e da fase das ondas portadoras; conexão de Internet; são totalmente automatizadas; possuem intervalo de rastreamento de 15 segundos e observações fornecidas são de grande qualidade e confiabilidade. As estações RBMC funcionam como pontos de coordenadas conhecidas que pertencem ao SGB, permitindo que o usuário utilize apenas um receptor em campo. As coordenadas fornecidas medem com uma precisão em torno de ± 5 mm. RBMC é considerada como uma das redes mais precisas do mundo (IBGE, 2013).

Os dados das estações RBMC podem se obtidos pelo site: www.ibge.gov.br na área geociências, onde é necessário o usuário se cadastrar para obter as informações da estação da RBMC desejada.

3.2.1. Sistema de coordenadas cartesianas tridimensionais geocêntricas (X, Y, Z) e coordenadas geodésicas elipsoidais (φ , λ , h)

As coordenadas (X, Y, Z) de um ponto localizado na superfície da Terra são expressas pelas seguintes equações (Resolução PR nº 23, 1983) (Figura 2):

$$X = (N + h)\cos\varphi\cos\lambda \quad (1)$$

$$Y = (N + h)\cos\varphi\text{sen}\lambda \quad (2)$$

$$Z = [N(1 - e^2) + h]\text{sen}\varphi \quad (3)$$

$$e^2 = \frac{a^2 + b^2}{a^2} \quad (4)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2\text{sen}^2\varphi}} \quad (5)$$

Onde:

X = coordenada no eixo X;

Y = coordenada no eixo Y;

Z = coordenada no eixo Z;

h = altitude elipsoidal;

φ = latitude geodésica;

λ = longitude geodésica;

e^2 = primeira excentricidade;

N = grande normal; e

$N(1 - e^2)$ = pequena normal.

$$\varphi = \arctan \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \left(1 - e^2 \frac{N}{N+h} \right)^{-1} \quad (7)$$

$$\lambda = \arctan \frac{Y}{X} \quad (8)$$

3.2.2 Sistema de coordenadas cartesianas tridimensionais topocêntricas e transformação de coordenadas geocêntricas em topocêntricas

“o interesse na transformação das coordenadas do Sistema Geodésico Elipsoidal nas coordenadas de um Sistema Geodésico Topocêntrico está no fato da proximidade entre o Sistema Geodésico Topocêntrico e o Topográfico Local. No geodésico topocêntrico a cota z é definida segundo a direção da normal do ponto origem do Sistema e no Sistema Topográfico Local a cota z é definida segundo a direção da vertical no ponto origem. Uma vez encontradas as fórmulas de transformação do Sistema geodésico para o Sistema Geodésico Topocêntrico, as fórmulas para a transformação no Sistema topográfico Local são facilmente derivadas” (GARNÉS, 1998) (Figura 3).

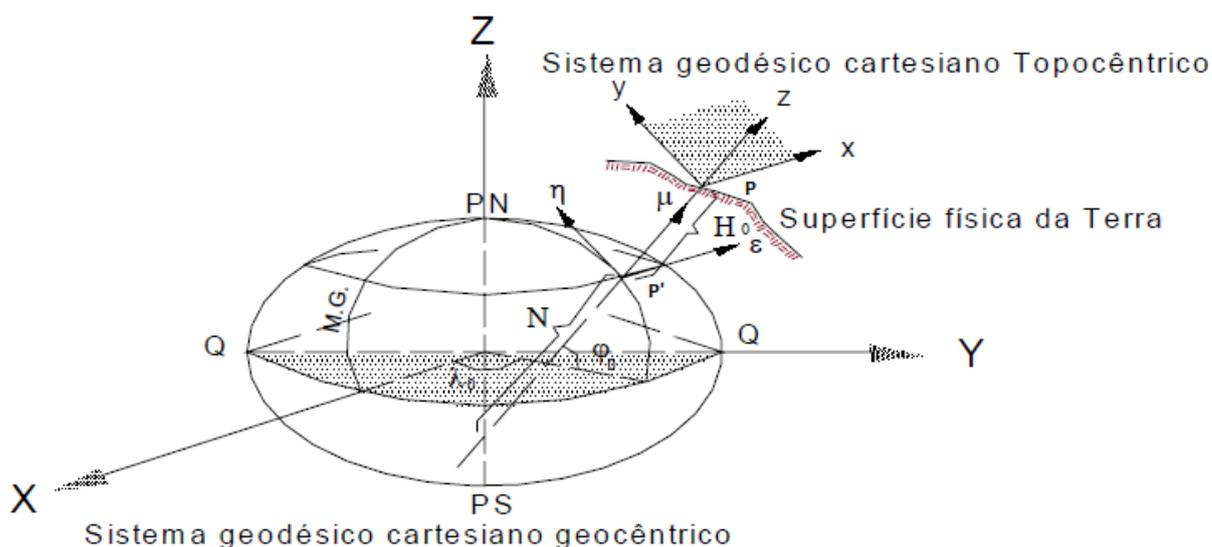


Figura 3 - Coordenadas Geodésicas. Fonte: (GÁRNES, 2005).

Em Garnés et al. (2005) e Dal'forno et al. (2010) empregam as fórmulas de transformação de coordenadas geodésicas elipsoidais em cartesianas

geocêntricas para determinar o Sistema Topográfico Local (STL). Essas fórmulas são:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\operatorname{sen}\lambda_0 & \cos\lambda_0 & 0 \\ -\operatorname{sen}\varphi_0 \cos\lambda_0 & -\operatorname{sen}\varphi_0 \operatorname{sen}\lambda_0 & \cos\varphi_0 \\ \cos\varphi_0 \cos\lambda_0 & \cos\varphi_0 \operatorname{sen}\lambda_0 & \operatorname{sen}\varphi_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Sendo:

X, Y e Z : Coordenadas Geocêntricas do Ponto; e

X_0, Y_0 e Z_0 : Coordenadas Geocêntricas do Ponto Origem.

3.3 Sistema Topográfico Local – STL

A NBR 14.166/1998 diz que o sistema topográfico local se trata de uma representação na planta das posições relativas de pontos de um levantamento topográfico com origem em um ponto de coordenadas geodésicas conhecidas, onde os ângulos e distâncias são representados em verdadeiras grandezas sobre um plano tangente à superfície de referência (elipsóide de referência) do sistema adotado. Partindo do princípio que na área de abrangência do sistema coincida com a do plano tangente, sem que os erros devido à curvatura terrestre não ultrapassem os erros inerentes da topografia. Os elementos que definem o Sistema Topográfico Local são ilustrados na Figura 5. A Figura 4 mostra o limite que, segundo a norma, deve ter um plano topográfico local.

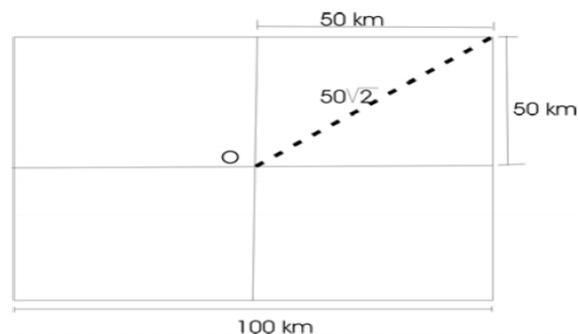


Figura 4 - Plano Topográfico Local e distância máxima a esta origem. Fonte: NBR 14.166/1998.

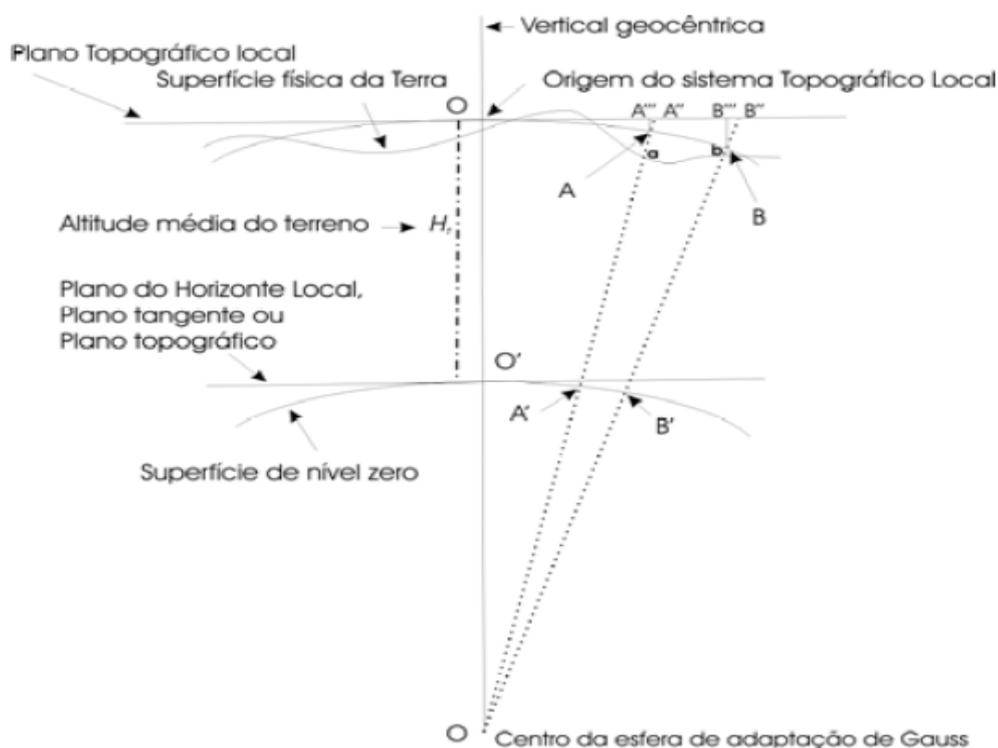


Figura 5 - Elementos do Sistema Topográfico Local. Fonte: NBR 14.166/1998.

Ressalta-se que quando no entorno da obra não existirem pelo menos dois vértices de coordenadas conhecidas no SGR, adota-se inicialmente um sistema de referência arbitrário com origem e eixos cartesianos ainda não correlacionadas a um SGR. Permanecendo o compromisso do georreferenciamento da obra para um futuro próximo.

Segundo Botelho et al. (2003), o Campo de Pontos de Referência ou Redes Topográficas e Micro Redes Geodésicas pode ser uni-, bi- ou tridimensional. A Rede tridimensional é de fundamental importância para o trabalho de levantamento, posicionamento ou locação de obra em relação ao controle geométrico em edificações prediais. De acordo com Botelho et al. (2003), nas etapas dos trabalhos de posicionamento de uma edificação, ou seja, na etapa de sua locação de obra, há a necessidade da utilização de um sistema primário, que é uma rede ou poligonal de pontos primários espalhados dentro e/ou no entorno da obra relacionada a um sistema geodésico oficial. O sistema primário deve ser medido, calculado e ajustado,

e deve sempre formar uma configuração em anel ou fechada. Os pontos de referência primários acrescentados podem ser realizados através dos métodos de interseção, irradiação polar ou qualquer outro método semelhante. Todos estes pontos formam o sistema primário ou rede de locação da obra. A escolha do campo de pontos primários deve garantir a estabilidade durante a fase de realização das observações, e, em caso contrário, ser amarrado a um sistema de referência estável.

3.3.1 Definição do STL a partir de ferramentas computacionais

Para a definição do STL foi criada a rotina no *software Excel2010*. Na rotina é aplicada a fórmula de transformação de coordenadas geodésicas elipsoidais (φ, λ, H) em geodésicas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z) empregando as fórmulas 1, 2 e 3 (Tabela 1). Com as coordenadas cartesianas (X, Y, Z) e as coordenadas geodésicas elipsoidais (φ, λ, H) emprega-se a fórmula 9 para achar as coordenadas (x, y, z) , depois soma-se a estes 150000,0000m no eixo X e 250000,0000m no eixo Y para achar as coordenadas no STL (Tabela 2).

Tabela 1 – Coordenadas Cartesianas Tridimensionais dos vértices EM2 e EM3.

Eixos	Coordenadas Cartesianas do vértice EM2 (m) (SIRGAS2000)	Eixos	Coordenadas Cartesianas do vértice EM3 (m) (SIRGAS2000)
X=	5179140,9711	X=	5179090,9358
Y=	-3614439,4846	Y=	-3614512,1788
Z=	-887480,4974	Z=	-887478,1030

Tabela 2 – Coordenadas dos vértices EM2 no STL.

Eixos	Coordenadas	STL
X	88,2477	150088,2477
Y	-2,4510	249997,5490
Z	-0,2316	10,4596

No *software AstGeoTop2013* como ilustra a Figura 6 as etapas necessárias para esta transformação são primeiro acessa o menu aplicação;

em seguida selecionar a opção geodesia; geométrica; e por fim transformações de coordenadas.

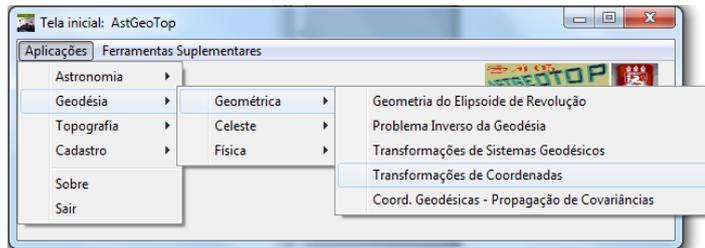


Figura 6 – Menu AstGeoTop2013. Fonte: AstGeoTop2013.

Na Figura 7 ilustra a apresentação da tela Transformações de Coordenadas do software AstGeoTop2013.

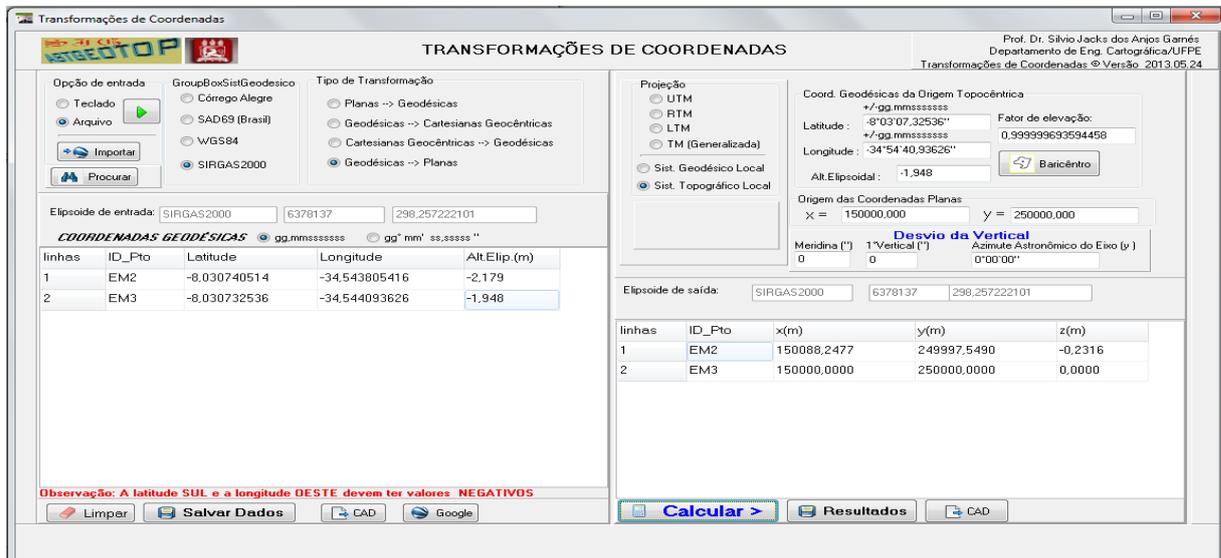


Figura 7- Transformações de Coordenadas. Fonte: AstGeoTop2013.

4. LOCAÇÃO DE ESTRUTURAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Neste capítulo, serão abordados os métodos de levantamento e locação utilizados nesta dissertação.

4.1. Estado da Arte

Uns dos primeiros passos para o processo da construção civil é o levantamento do terreno e limites da propriedade, com a produção da planta topográfica da área levantada. Após a realização do projeto as posições horizontais e verticais das estruturas civis são locadas, ou seja, a transferidas do projeto de locação para o terreno (MCCORMAC, 2007).

Segundo Borges (1992) a locação é chamada de marcação e é o processo inverso do levantamento. No levantamento chamado de medição pelo autor, o profissional vai a campo coletar as medidas de ângulos e distâncias, para poder calcular os dados no escritório e com isso gerar o desenho técnico. Na locação os dados são elaborados no escritório com a criação de um projeto, que deverá ser inserido no terreno.

A locação é importante do início ao fim da construção de um edifício. A mesma deve ser controlada constantemente para garantir que as coordenadas das estruturas civis projetadas sejam locadas corretamente no terreno nas posições definidas no projeto. O controle posicional e geométrico das estruturas civis foram abordados em (Barros, 2001) e (Botelho, 2003).

Para Barros (2001), o Controle Geométrico de Edificações está presente em todas as etapas da construção de um edifício. O autor apresenta uma proposta de metodologia para o controle geométrico da produção da estrutura de concreto combinada com o emprego de equipamentos.

Em Botelho (2003) é ressaltado a importância da racionalização construtiva (RC) no Controle Geométrico de Edificações (CGE). O autor comenta que nas décadas de 1970 e 80 era tolerável, no Brasil, erros maiores na geometria. O autor ressalta que o controle dimensional deve existir desde

a fase do levantamento do terreno, esse deve estar posicionado em um sistema geodésico e amarrado às redes de referências oficiais, as quais abrangem toda a fase de elaboração e compatibilização de projeto. No término da obra é necessário o projeto “as built” ou “projeto como construído”.

Segundo Botelho et al. (2003), o controle dimensional de edificação deve-se iniciar no levantamento topográfico do terreno no seu posicionamento geodésico, utilizando um sistema primário ou de referência amarrado em redes cadastrais oficiais. Este sistema primário deve continuar durante a etapa de elaboração e compatibilização de projeto arquitetônico, estrutural e nas etapas de locação do edifício e de suas partes, permitindo o nivelamento, prumo e esquadro dos elementos construtivos. Quando terminada a obra, deve-se elaborar o projeto “as built” georreferenciado. Segundo o mesmo autor, empregando-se este procedimento contribuirá para a confecção da planta de atualização do Cadastro Imobiliário do Município de acordo com a NBR 14.166/1998 e NBR 14.645-1/2000.

Os instrumentos empregados na locação sofreram grandes modificações. Essas modificações são na precisão e exatidão, estética, peso, tecnologias e aquisição dos dados. Não só na parte da instrumentação houve mudanças, mas também na parte dos acessórios empregados. O método polar, que tem por objetivo adquirir no campo medidas angulares e lineares (cf. item 4.4.1), através de instrumentos que podem ser: teodolito e trena; e no método ortogonal, que tem por objetivo adquirir no campo medidas ortogonais e lineares, através de prisma pentagonal e trena. Com o advento de novas tecnologias são fabricados equipamentos mais modernos advindos de teodolito como: a estação total e a estação robótica, além dos receptores GNSS.

Com respeito aos acessórios houve melhorias também com a fabricação de prisma com constante aditiva menor; bastão com regulagem de altura; tripés mais leves e resistentes; miras “falantes”; trenas, hoje é

possível, por exemplo, utilizar trena a LASER; dentre outros. Os equipamentos modernos, tais como: estação total, estação robótica e receptores GNSS vêm com programas embutidos e seus dados podem ser gravados na memória interna ou externa de acordo com o equipamento, facilitando o trabalho no campo.

Segundo Kahmen; Faig (1988), frequentemente, é necessário determinar novos pontos fixos na planimetria e/ou altimetria. Neste caso, a localização destes deve ser de tal forma, que eles possam ser facilmente utilizados para a locação. Todos devem ser apropriadamente monumentalizados e referenciados, por causa de possíveis danos durante as atividades de construção. Segundo os autores podem ser utilizados diferentes tipos de instrumentos:

- Teodolito: Para a locação de alinhamento;
- Teodolito e Trena: Para a locação de um projeto de pequena amplitude com o método polar;
- Prisma ortogonal e Trena: Para a locação de projetos de pequena amplitude com o método ortogonal; e
- Taqueômetro Eletrônico (Estação Total): Para a locação de projetos de grande amplitude.

Durante a locação uma diferença básica das operações usuais de levantamento encontra-se no fato de que as medições para os pontos, alinhamentos ou elevações, são frequentemente realizadas em uma posição. A escolha de um método de locação depende do trajeto, dos instrumentos disponíveis, do tamanho do projeto, objetivo do trabalho e outras condições externas (KAHMEN; FAIG, 1988).

Os métodos polar ou ortogonal são empregados de acordo com o projeto, instrumento e acessórios disponíveis na obra.

O método de locação é também empregado com os receptores GNSS em diversas áreas. Isso pode ser observado na construção civil onde é possível realizar a locação de pilar de ponte; na indústria, com a montagem

de peças; na cartografia, com a verificação da qualidade da base cartográfica e dentre outras áreas (WOLF; GHILANI, 2006).

4.2. Estruturas de Construção Civil

As estruturas são constituídas de uma ou mais peças, tornando um conjunto estável, apropriado a receber solicitações externas, podendo deformar-se dentro de certos limites fixados, absorvendo internamente e transmitindo ao(s) seu(s) próprio(s) apoio(s), constituindo um sistema estaticamente em equilíbrio (RODRIGUES, 2005).

A Figura 8 mostra os elementos estruturais, tais como: viga, pilar, sapatas, laje.

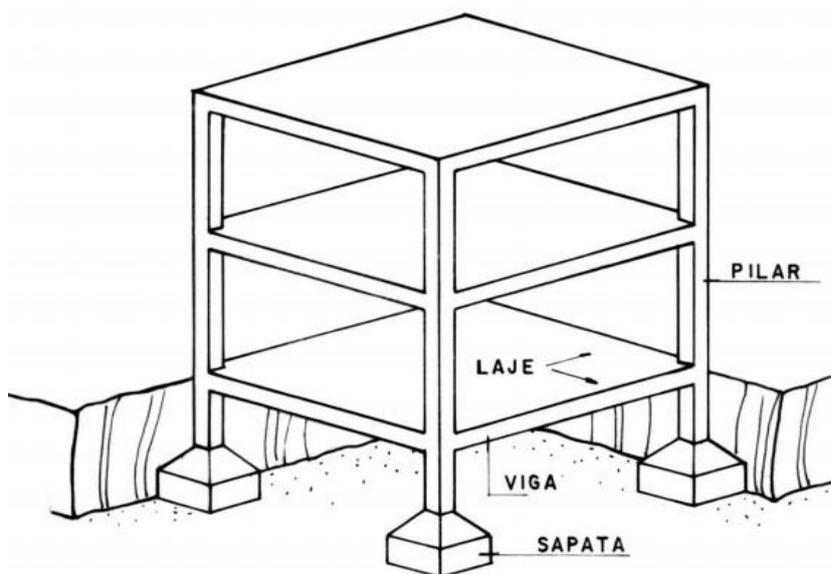


Figura 8 - Elementos Estruturais. Fonte: (RODRIGUES, 2005).

4.3. Métodos para a definição do sistema de referência para a Locação

A necessidade de definição de um sistema de referência é muito importante na hora de locação, pois através deste os pontos serão demarcados no terreno de acordo com sua posição dentro do sistema de referência (Capítulo 3).

4.3.1. Métodos de posicionamento com GNSS

Segundo IBGE (2008), Monico (2008), Seeber (2003) e Hofmann-Wellenhof et al. (2001), o posicionamento através do GNSS pode ser realizado a partir de diferentes métodos e observáveis. Ressalta-se que a observáveis (Pseudodistância e diferença da fase da portadora) utilizada no processo de estimação das coordenadas é um dos principais fatores que influenciam nos níveis de precisão alcançados. Os métodos de posicionamento (Quadro 2) podem ser classificados de absoluto ou relativo, estático e cinemático.

Quadro 2 – Classificação dos Métodos de posicionamento.

MÉTODOS DE POSICIONAMENTO		
ABSOLUTO	RELATIVO	DIFERENCIAL
Estático	Estático	DGPS (<i>Differential GPS</i>)
Cinemático	Estático Rápido	PDGPS
	Semicinemático	WADGPS
	Cinemático	

Fonte: (MONICO, 2008).

Segundo Monico (2008), como qualquer outra medida obtida em campo, as observáveis GNSS estão sujeitas a erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros. Para alcançar os resultados confiáveis é necessário que se estabeleça formulação matemática (funcional e/ou estocástico), que seja válido para a realidade física e capaz de descrever e detectar os problemas, conhecendo bem as fontes de erros envolvidas no processo de medição.

Existem diferentes tipos de *softwares* no mercado que processam as informações dos receptores GNSS, tais como: Trimble, *Topcon Tools*, JUSTIN, GPS TrackMaker, dentre outros. Esses fornecendo as coordenadas e com suas respectivas precisões.

Nesta pesquisa dar-se-á ênfase a dois métodos de posicionamento, tais como: Posicionamento Relativo Estático, e Posicionamento Relativo Cinemático em Tempo Real ou RTK (Real Time Kinematic), descritos a seguir,

pois eles serão usados nos procedimentos de Locação e Controle Dimensional.

4.3.1.1. Método de Posicionamento Relativo

O método de posicionamento relativo pode ser realizado de duas maneiras apresentadas a seguir.

a) Método de Posicionamento Relativo Estático

No Posicionamento Relativo Estático (Figura 9) são necessários dois ou mais receptores de rastreamento para determinar o ponto desejado, usados simultaneamente, com satélites visíveis em um intervalo de tempo, que pode variar no mínimo vinte (20) minutos até algumas horas. Nesse método, as observáveis utilizadas são as duplas diferenças (DD) da onda portadora, embora possa ser utilizado a DD da pseudodistância, ou ambas. Coloca-se, um receptor, como base na estação de referência, com coordenadas conhecidas, e instala-se o outro receptor, nas estações em que se deseja determinar suas coordenadas (MONICO, 2008).

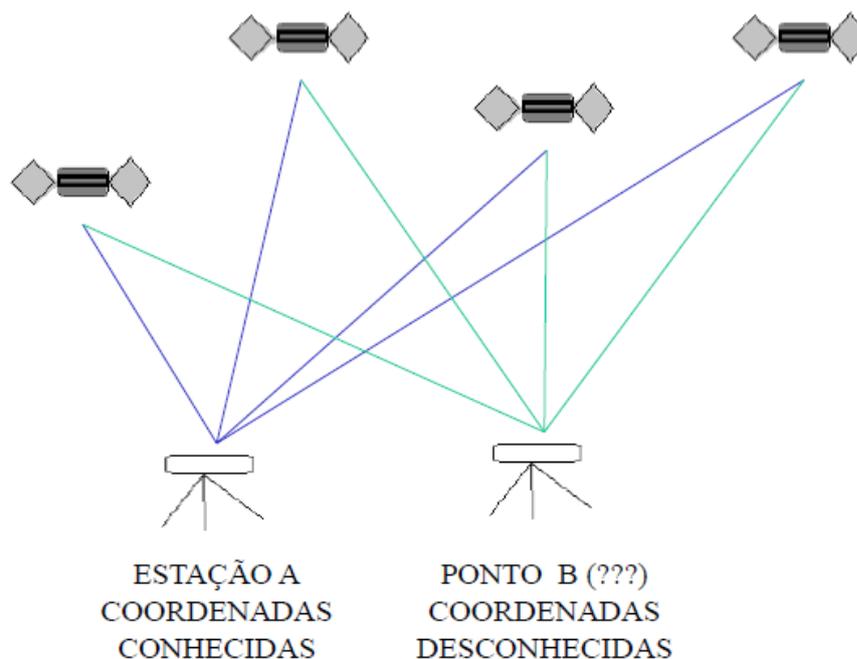


Figura 9 – Método de posicionamento relativo estático.

b) Método de posicionamento Relativo Estático Rápido

O Posicionamento Relativo Estático Rápido tem o mesmo princípio do posicionamento estático, sendo a única diferença o menor tempo de rastreamento do receptor. Este tempo de rastreamento não excede vinte (20) minutos (MONICO, 2008). Neste método a produtividade é alta, pois se consegue obter um maior número de pontos levantados em relação ao método estático, devido ao tempo de rastreamento ser menor.

4.3.1.2. Posicionamento Relativo Cinemático em Tempo Real ou RTK (Real Time Kinematic)

No Posicionamento Relativo Cinemático são necessários pelo menos dois receptores de rastreamento para se determinar o ponto desejado, mas devido ao advento do Sistema de Controle Ativos (SCA), isso mudou. Com apenas um receptor, pode-se utilizar o método de posicionamento relativo cinemático, desde que se acessem os dados de uma ou mais estações pertencentes ao SCA. No caso do Brasil, tem-se disponível a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) (MONICO, 2008).

O método utiliza a fase da onda portadora, embora a pseudodistância seja muito importante para a solução do vetor ambiguidades. Os dados coletados podem ser processados após a coleta (pós-processados) ou no momento da coleta (tempo real) (MONICO, 2008).

No Posicionamento Relativo Cinemático em tempo real é necessário que a estação móvel disponha de “link” de rádio ou outro tipo de sistema similar, e que o receptor da estação tenha o “software” adequado para o processamento dos dados coletados em tempo real. Assim, os dados que serão coletados na estação de referência irão para a estação móvel (MONICO, 2008).

No método RTK as informações do ponto com coordenadas desconhecidas A são corrigidas e fornecidas no momento do levantamento, sendo que o profissional já sai de campo com as coordenadas do ponto B (Figura 10).

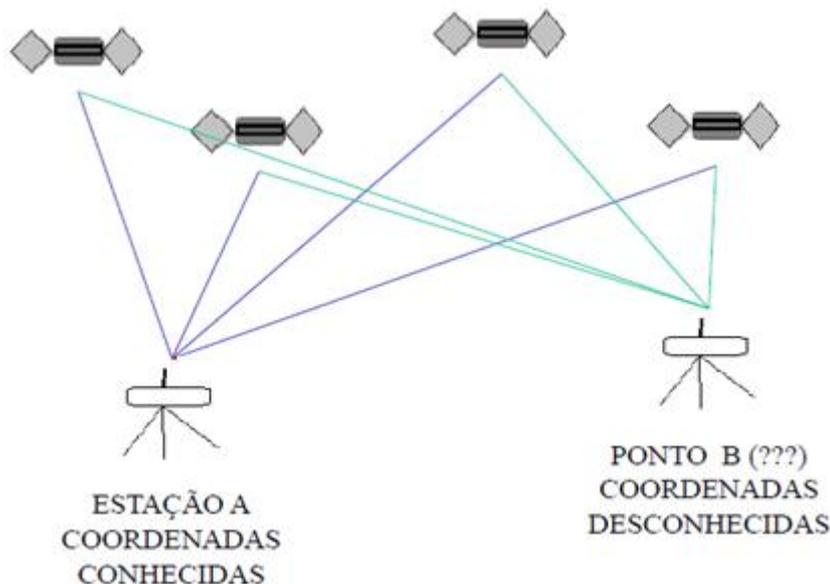


Figura 10 – Método RTK.

4.3.2. Métodos com Estação Total

As observáveis fornecidas pela estação total são medidas lineares e angulares, e através destas são possíveis determinar as coordenadas de pontos desejados. As medidas lineares são distâncias horizontais, inclinadas e verticais, normalmente utilizadas com a unidade de medida em metro e as medidas angulares são ângulos horizontais e/ou azimutais e ângulos verticais, normalmente utilizados com a unidade de medida o grau sexagesimal.

Os Métodos Terrestres de Medição executados com estação total estão divididos em: Irradiação, Bilateração, Interseção a Vante, Interseção a Ré (medições combinadas de ângulo e distância, medição de distâncias, medição de ângulos), poligonação, trilateração, triangulação e Nivelamento Trigonométrico (KAHMEN; FAIG, 1988).

Neste trabalho serão aplicados os métodos da poligonação com centragem forçada, irradiação simples e dupla, interseção a ré e a vante, e bilateração

4.3.2.1. Método de Poligonação com Centragem Forçada

A poligonal é uma série de alinhamentos consecutivos, onde são medidas no campo as extensões e as direções. Este método é bastante

utilizado para a criação de “arcabouço” de apoio nos levantamentos topográficos. Com os vértices da poligonização é possível determinar detalhes da área desejada (ERBA et al., 2005).

O método da centragem forçada garante a estabilidade da posição, mesmo que os instrumentos sejam trocados. O tripé, a base e o instrumento de medição formam o conjunto para realizar o procedimento de centragem forçada. Após a calagem do instrumento de medição, pode-se este ser retirado e substituído por outra instrumentação, tais como: prisma e bastão (KAHMEN; FAIG, 1998).

As equações empregadas para o cálculo da poligonal enquadrada são:

- Primeiramente descobre o erro de fechamento angular (Equações, 10), e com isso faz-se a correção angular (Equações 11); Após isso se realiza o cálculo das projeções parciais (Equações 12) para descobrir o erro de fechamento linear (Equações 13), e depois faz a distribuição do erro linear (Equações 14) e sua compensação (Equações 15); e com isso são calculadas as coordenadas dos vértices da poligonal (Equações 16) (Erba et al. 2005).

Erro de Fechamento Angular

$$\sum ai = (n - 2) * 180^\circ \quad (10)$$

Correção angular

$$A_c = \frac{\sum ai}{n} + A_i \quad (11)$$

Equações das projeções no eixo X e Y:

$$\Delta X_i = d_i * \text{sen}Az_i \text{ e } \Delta Y_i = d_i * \text{cos } Az_i \quad (12)$$

Erro de fechamento linear:

$$\varepsilon L = \sqrt{\varepsilon X^2 + \varepsilon Y^2} \quad (13)$$

Correções nas projeções proporcionais ao comprimento do lado:

$$C(X_i) = -\frac{(\varepsilon X)}{P} * l \text{ e } C(Y_i) = -\frac{(\varepsilon Y)}{P} * l \quad (14)$$

Projeções Corrigidas

$$\Delta X = C(X_i) + \Delta X_i \text{ e } \Delta Y = C(Y_i) + \Delta Y_i$$

Coordenadas finais

$$X_i = X_{i-1} + \Delta X_i \text{ e } Y_i = Y_{i-1} + \Delta Y_i \quad (16)$$

Onde:

Σai : A soma dos ângulos internos de uma poligonal fechada;

n : Número de vértices da poligonal;

A_c : Ângulo interno corrigido;

A_i : Ângulo interno

ΔX_i e ΔY_i : Projeções das coordenadas no eixo X e Y;

ΔX e ΔY : Projeções corrigidas das coordenadas no eixo X e Y;

d_i : Distância horizontal;

Az_i : Azimute;

εL : Erro de fechamento linear;

εX e εY : Erros das projeções no eixo X e Y;

$C(X_i)$ e $C(Y_i)$ Correções das projeções no eixo X e Y;

P : Perímetro da poligonal;

l : Comprimento do lado da poligonal;

ΔX_c e ΔY_c : Projeções corrigidas no eixo X e Y;

X_{i-1} e Y_{i-1} : Coordenadas do vértice; e

X_i e Y_i : Coordenadas finais no eixo X e Y.

O apêndice 1 apresenta um exemplo do modelo paramétrico do método da poligonação fechada.

A Figura 11 ilustra o desenho topográfico dos vértices da poligonal na área de estudo 1 – Madalena obtida no AstGeoTop2013 (cf. item 5.3.1.3).

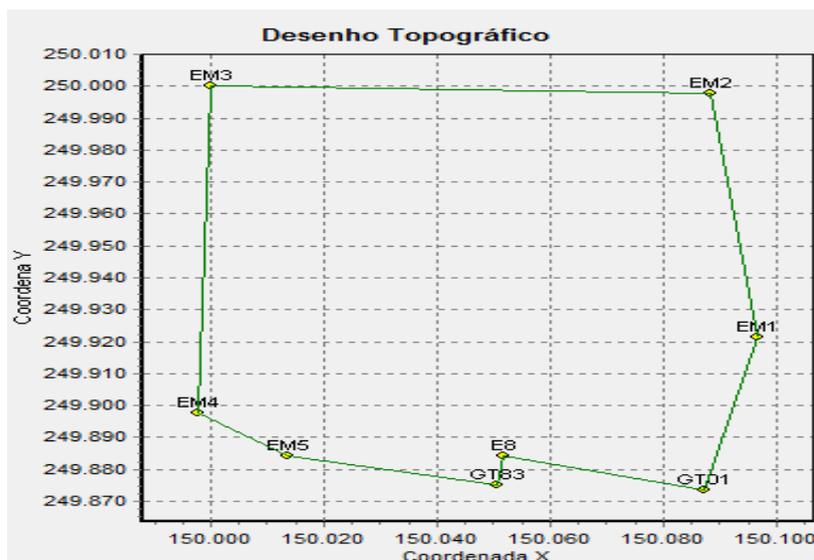


Figura 11 – Desenho Topográfico da poligonal implantada na área externa à obra. Fonte: AstGeoTop2013.

4.3.2.2. Método de Interseção a Ré

O método de Interseção a Ré pode ser realizada por três maneiras diferentes: Por meio de medições de direção; Por meio de medições de distâncias; e Por meio de medições Combinadas de direção e distância.

a) Por meio de medições de direção

Segundo Peña (2002) o método de interseção a ré é conhecido pelos seguintes nomes: Pothenot ou Três Pontos. Este método visa em determinar as coordenadas X e Y do ponto de posição planimétrica através de observações angulares feitas nestes pontos visando pelo menos três (3) pontos de coordenadas (vértices geodésicos).

Segundo Kahmen & Faig (1998), na determinação do ponto desejado, o método da interseção a ré pode ser aplicado desde que tenha a medição de dois ângulos entre pelo menos três (3) pontos conhecidos (Figura 12).

Na aplicação do método de interseção a ré, estaciona-se a estação total no ponto de coordenadas desconhecidas e visam-se os outros pontos de coordenadas conhecidas, no mínimo três (3).

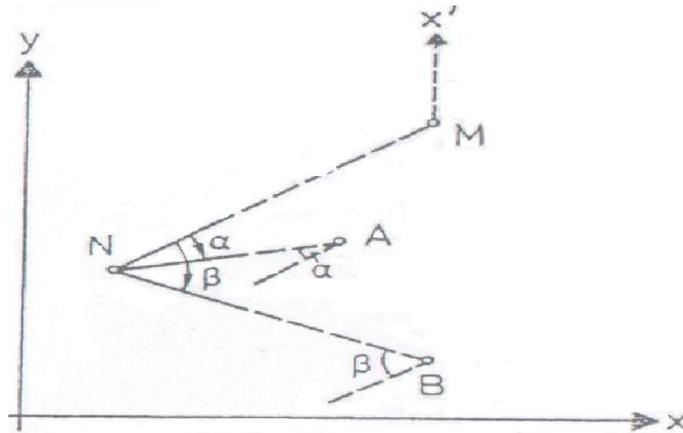


Figura 12 - Método de interseção a ré. Fonte: (KAHMEN; FAIG, 1988).

Utilizando a formulação matemática de interseção a ré (recessão) com dois ângulos (KAHMEN; FAIG, 1988), pode-se determinar as coordenadas para encontrar o ponto N.

$$Tg(MN) = \frac{y_B' - x_B' \times Cotg\beta - y_A' + x_A' \times Cotg\alpha}{y_A' \times Cotg\alpha + x_A' - y_B' \times Cotg\beta - x_B'} \quad (17)$$

$$y_n = \frac{Tg(MN) \times (y_A' \times Cotg\alpha + x_A') + y_A' - x_A' \times Cotg\alpha}{1 + (Tg(MN))^2} \quad (18)$$

$$x_n' = y_n \times Tg(MN) \quad (19)$$

Controle em relação ao eixo y:

$$y_n' = \frac{Tg(MN) \times (y_B' \times Cotg\beta + x_B') + y_B' - x_B' \times Cotg\beta}{1 + (Tg(MN))^2} \quad (20)$$

E para obter as coordenadas do ponto N.

$$x_n = x_n' + x_m \quad (21)$$

$$y_n = y_n' + y_m \quad (22)$$

Sendo:

x_A' e y_A' = as diferenças do eixo X e Y em relação ao Ponto A;

(x_A, y_A) , (x_M, y_M) , e (x_B, y_B) = as coordenadas do Ponto A, M e B, respectivamente;

x_B' e y_B' = as diferenças do eixo X e Y eixo em relação ao Ponto B;

x'_n e y'_n = as coordenadas de controle; e

$r_A' = \alpha$ e $r_B' = \beta$ = os ângulos internos.

b) Por meio de medições de distância

O método de interseção de medições de distâncias só é observado medidas lineares (s_1, s_2) como ilustra a Figura 13.

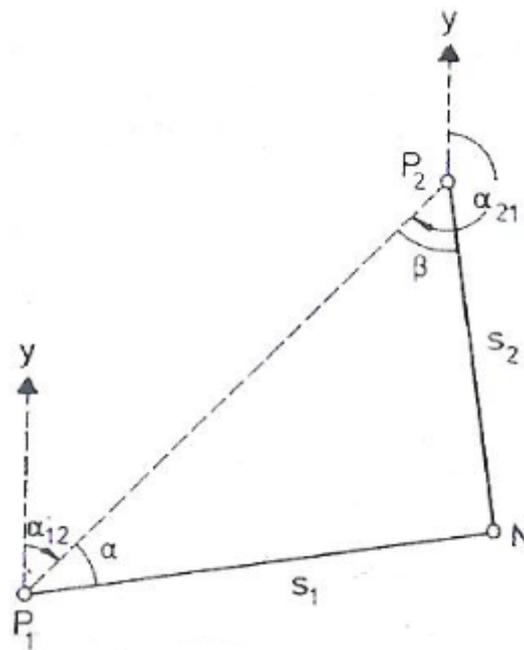


Figura 13 – Interseção a ré por meio de medições de distância. Fonte: (KAHMEN; FAIG, 1988).

Para obter as coordenadas desejadas emprega as seguintes equações:

$$s_{1,2}^* = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \tag{23}$$

$$\alpha = \frac{\arccos(s_1^2 + s_{1,2}^{*2} - s_2^2)}{2s_1 s_{1,2}} \tag{24}$$

$$\beta = \frac{\arccos(s_2^2 + s_{1,2}^{*2} - s_1^2)}{2s_2 s_{1,2}} \tag{25}$$

$$q = \frac{s_{1,2}^*}{s_{1,2}} \quad (26)$$

Sendo:

$s_{1,2}^*$ = distância obtida pela as coordenadas;

(x_1, y_1) e (x_2, y_2) = coordenadas dos pontos P_1 e P_2 , respectivamente;

s_1 = distância entre o ponto N e P_1 ;

s_2 = distância entre o ponto N e P_2 ;

q = fator de escala; e

α e β = ângulos internos.

c) Por meio de medições combinadas de direção e distância

O método de interseção de medições combinadas de direção e distância é conhecido pelo o método de estação livre. Segunda Erbas et al. (2005) o método da estação livre é utilizado quando é impossível instalar o instrumento em um ponto de coordenada conhecida (Figura 14). Portanto instalar o instrumento no ponto que se deseja determinar e visa dois outros pontos com coordenadas conhecidas.

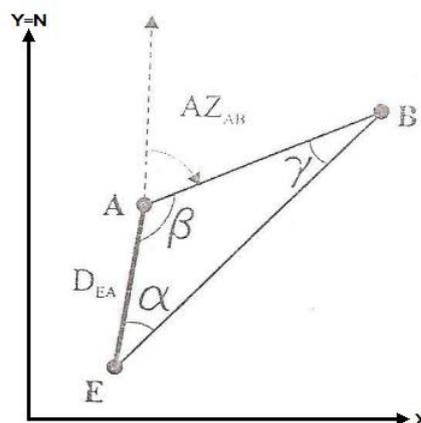


Figura 14 – Estação Livre. Fonte: (ERBA et al., 2005).

Para obter as coordenadas do ponto desejado as Equações são:

$$\gamma = \arcsen\left(\frac{D_{EA} \text{sen}\alpha}{D_{AB}}\right) \quad (27)$$

$$\beta = 180^\circ - (\alpha + \gamma) \quad (28)$$

$$AZ_{AE} = AZ_{AB} + \beta \quad (29)$$

$$X_E = X_A + D_{AE} \text{sen}(AZ_{AE}) \quad (30)$$

$$Y_E = Y_A + D_{AE} \cos(AZ_{AE}) \quad (31)$$

Sendo:

β , α e γ : ângulos internos do triângulo;

AZ_{AE} e AZ_{AB} : Azimute do ponto A e E, e do ponto A e B, respectivamente; e

(X_E, Y_E) ; (X_A, Y_A) ; e (X_B, Y_B) : são coordenadas dos pontos E, A e B, respectivamente.

4.4. Métodos de Locação

Na locação de um objeto da construção civil, o primeiro passo é posicionar o edifício corretamente dentro do lote, realizando medições dos limites da propriedade. Existem normas que estabelecem os limites para a construção de obras civis, por exemplo, recuo da construção em relação à rua e às casas, assim melhorando a aparência e provendo a proteção contra incêndio. As estacas (Figura 15) podem ser postas nos cantos da construção e se tornam um controle visual para o posicionamento da estrutura civil, porém quando é iniciada a construção essas são perdidas. Para evitar isso são erguidos de cavaletes fora do caminho da construção (WOLF; GHILANI, 2006).

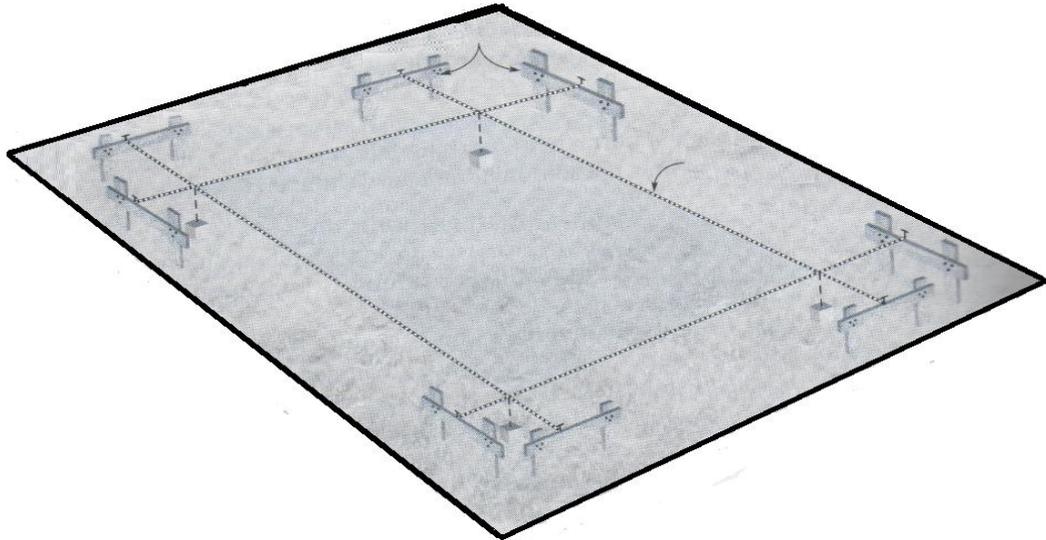


Figura 15 - Cavaletes para a construção de um "layout". Fonte: (WOLF; GHILANI, 2006).

Já na Figura 16 é mostrada a localização de um lote, delimitado de um edifício e as coordenadas em uma linha Norte e Sul em relação as linhas do lote (WOLF & GHILANI, 2006).

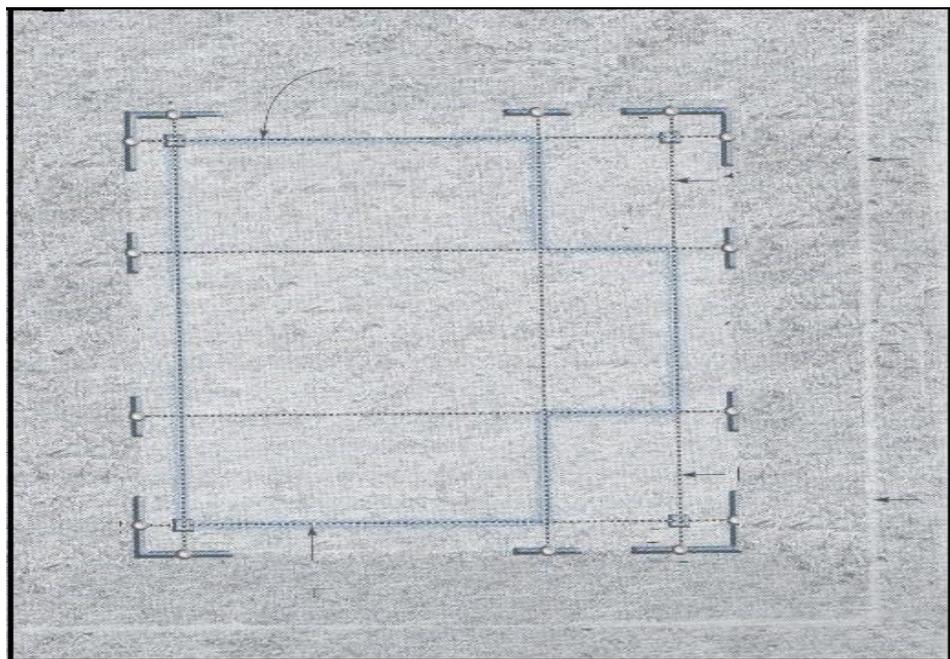


Figura 16 - Projeção dos cavaletes e edifício na área. Fonte: (WOLF; GHILANI 2006).

A Figura 17 é um exemplo de uma planta de locação de pilar que é empregada em campo.

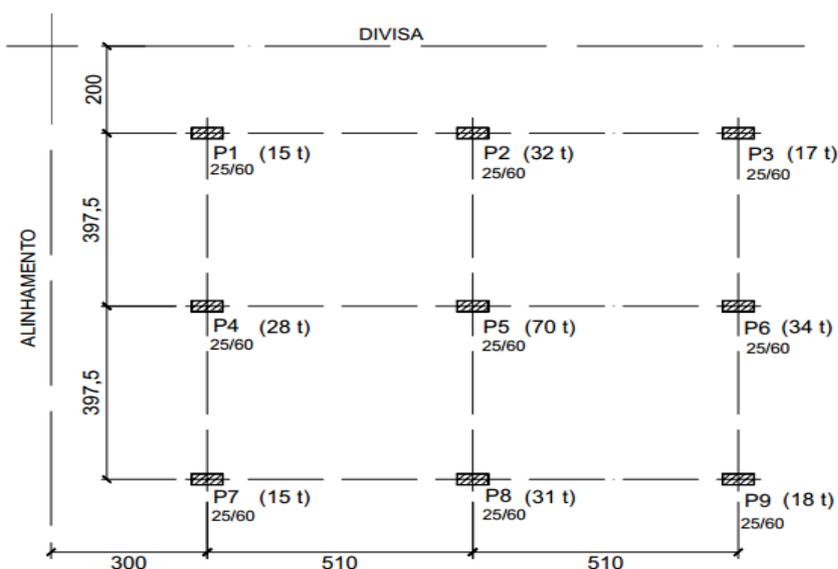


Figura 17 - Exemplo de planta de cargas e localização de pilares. Fonte: (Alva, G, M, S, 2007).

O método de locação está dividido em dois tipos: o polar e o ortogonal (KAHMEN; FAIG, 1998). Portanto, para a locação das estruturas fornecidas pela planta pode-se empregar estes dois métodos citados. E outros métodos como: interseção a vante e bilateração.

4.4.1. Método Polar

Método Polar é um método clássico de posicionamento, “é *aquele baseado nas medições de direções a partir de uma direção fixada mais a distância da estação até o ponto-objeto*” (KAHMEN; FAIG, 1988). Este é baseado em medir ângulo e distância a partir de um ponto conhecido para determinar outro. A Figura 18 ilustra uma situação bastante comum para a aplicação deste método, onde a estação (E1) encontra-se no ponto estratégico de forma a visualizar todos os pontos desejados. Nesta figura são apresentados os pontos de detalhes (D1, D2, D3, D4, D5 e D6), onde a distância é representada pela letra ‘ S_i ’ e os ângulos por ‘ α_i ’.

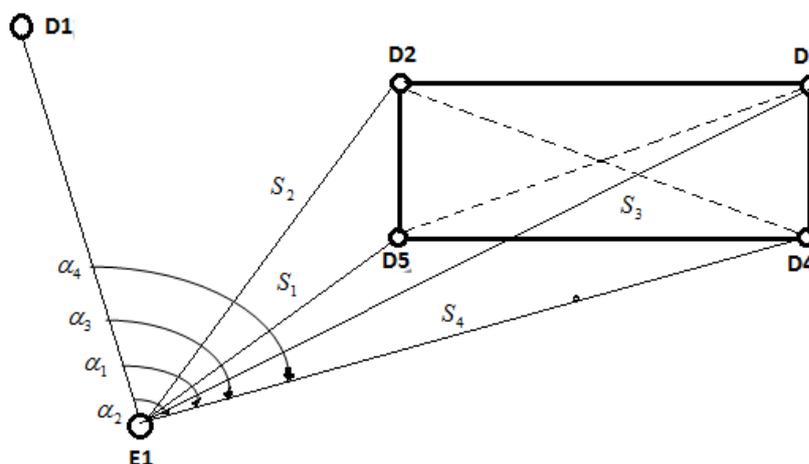


Figura 18 – Método Polar. Fonte: MOESER et al. (2000).

4.4.1.1. Método de Irradiação Simples

O Método de Irradiação ou Método Polar é mais utilizado para levantamento de detalhes, sendo empregado para um ou vários pontos, onde se deseja determinar as coordenadas. As medições necessárias para a aplicação deste método são ângulos e distâncias (KAHMEN; FAIG, 1988).

Neste método ilustrado na Figura 19, o instrumento fica estacionado sobre o vértice A e em seguida inicia-se o processo de “varredura” dos elementos contidos na área de interesse próximo ao ponto ocupado, medindo-se, de cada elemento representado, as direções e as distâncias (KAHMEN; FAIG, 1988).

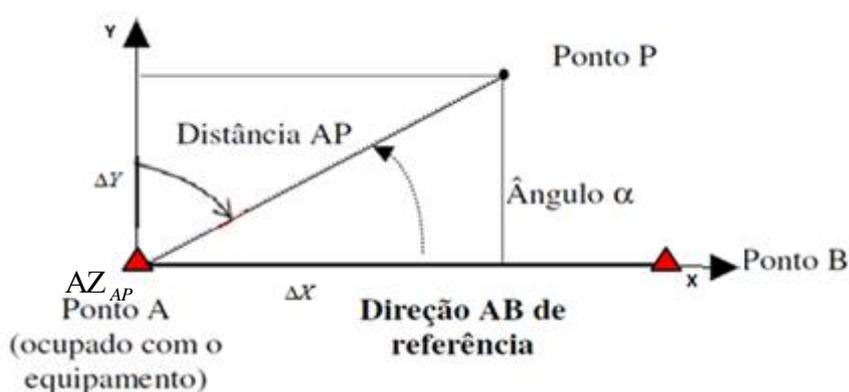


Figura 19 - Esquema do Método de Irradiação. Fonte: (KAHMEN; FAIG, 1988)

A partir da Figura 19 se deduz as seguintes expressões:

$$\Delta X = X_P - X_A \tag{23}$$

$$\Delta Y = Y_P - Y_A \quad (24)$$

$$\Delta X = D_{AP} \text{ sen}(AZ_{AP}) \quad (25)$$

$$\Delta Y = D_{AP} \text{ cos}(AZ_{AP}) \quad (26)$$

Onde:

ΔX = Projeção no eixo X ;

ΔY = Projeção no eixo Y ;

AZ_{AP} : Azimute do ponto AP; e

D_{AP} = Distância do ponto AP.

No processo de locação estaciona-se o equipamento no ponto de coordenadas conhecidas A e com o auxílio das medidas angular AZ_{AP} e linear D_{AP} disponíveis na caderneta de locação, encontra-se o ponto P desejado.

4.4.1.2. Método de Irradiação Dupla

É o mesmo procedimento realizado na irradiação simples só que são realizadas duas vezes, primeiro em relação ao ponto A e depois em relação ao ponto B. A partir disto é calculada a média destas duas medidas. A Figura 20 ilustra os elementos necessários para a realização deste método.

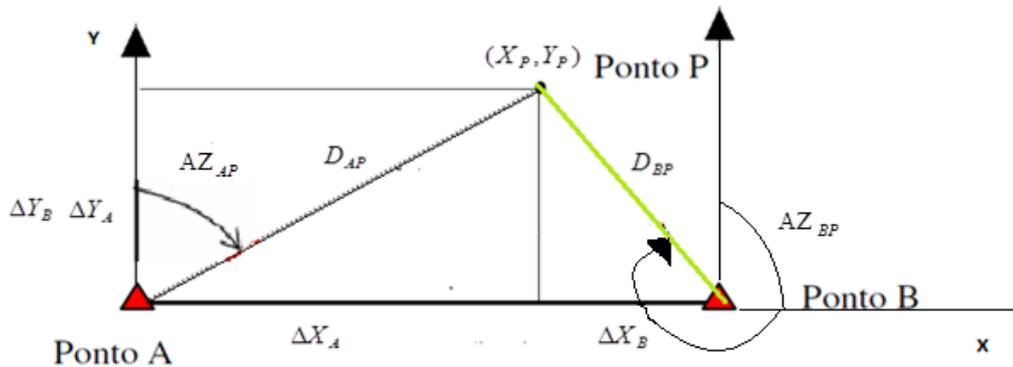


Figura 20 - Esquema do Método de irradiação dupla.

No processo de locação estaciona-se o equipamento primeiro em um ponto de coordenadas conhecidas A e com o auxílio das medidas angular AZ_{AP} e linear D_{AP} disponíveis na caderneta de locação, encontra-se o ponto P desejado, depois estaciona-se o equipamento em outro ponto com

coordenadas conhecidas B e com o auxílio das medidas angular Az_{BP} e linear D_{BP} disponíveis na caderneta de locação encontra-se o mesmo ponto P desejado.

4.4.2. Método Ortogonal

No Método Ortogonal de locação utiliza-se uma linha ortogonal no levantamento, por exemplo, o eixo x, o deslocamento segue a linha ortogonal até o último ponto, para a construção de curvas e de outras características de interesse utiliza-se o eixo y (MOESER et. al., 2000). Na Figura 21, observa-se o eixo ortogonal (x) que vai do ponto A até ponto B, e o eixo perpendicular (y) a este eixo.

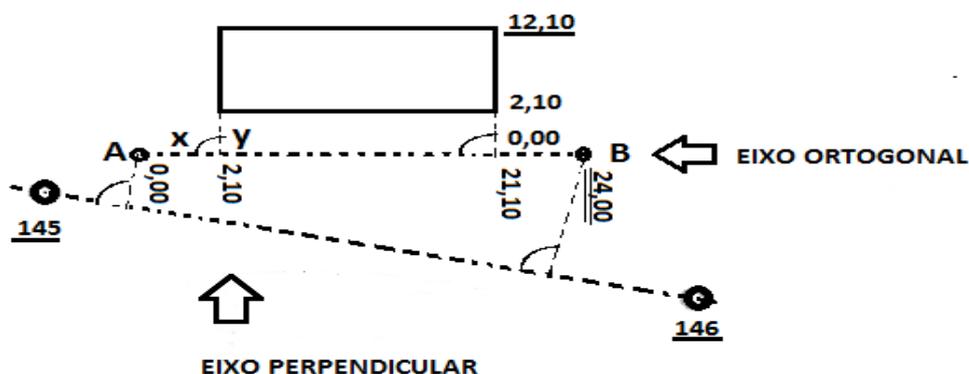


Figura 21 – Método Ortogonal. Fonte: MOESER et al. (2000).

4.4.3. Método da Interseção a Vante

O Método de interseção a vante é empregado quando se quer determinar as coordenada do ponto N a partir de duas ou mais coordenadas conhecidas (KAHMEN; FAIG, 1988). A Figura 22 ilustra o caso em que são utilizadas as coordenadas conhecidas A (X_A, Y_A) e B (X_B, Y_B) e seus respectivos ângulos internos α e β , para determinar o ponto N (X_N, Y_N).

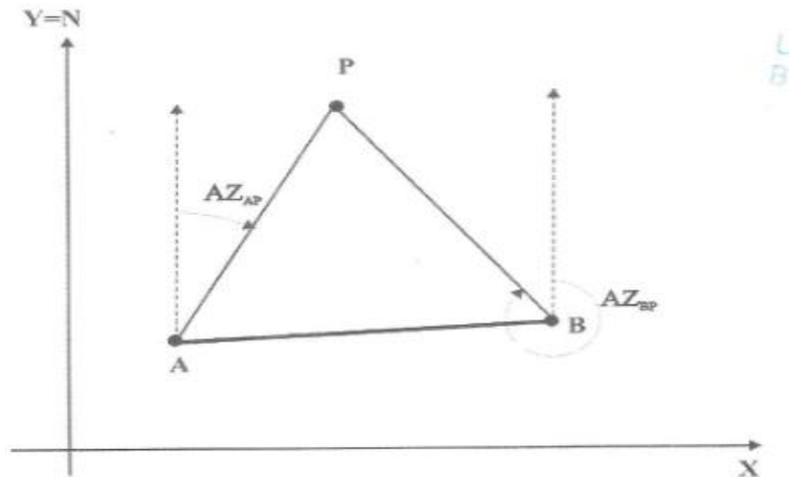


Figura 22 - Método de interseção a vante. Fonte: (KAHMEN; FAIG, 1988).

Utilizando as equações matemáticas discutidas em (ERBAS et. al, 2005), são encontradas as coordenadas do ponto N:

$$X_N = \frac{X_B \tan \beta + X_A \tan \alpha - \Delta X \tan \alpha \tan \beta}{\tan(\alpha) + \tan(\beta)} \quad (27)$$

$$Y_N = \frac{Y_B \tan \beta + Y_A \tan \alpha - \Delta Y \tan \alpha \tan \beta}{\tan(\alpha) + \tan(\beta)} \quad (28)$$

Onde:

ΔX e ΔY = Diferenças entre as coordenadas conhecidas; e

α e β = São os ângulos medidos.

No processo de locação estaciona-se o equipamento primeiro em um ponto de coordenadas conhecidas A e com o auxílio das medidas angulares disponíveis na caderneta de locação, encontra-se o ponto N desejado, depois se estaciona o equipamento em outro ponto com coordenadas conhecidas B e com o auxílio das medidas angulares disponíveis na caderneta de locação, encontra-se o ponto desejado N.

4.4.4. Método da Bilateração

Tem de base a medição de duas distâncias que vai desde o ponto de coordenadas desconhecidas até dois pontos de coordenadas conhecidas

(X_A, Y_A, X_B, Y_B) , assim determina a coordenada do primeiro ponto (X_P, Y_P) (ERBAS et. al, 2005) (Figura 23).

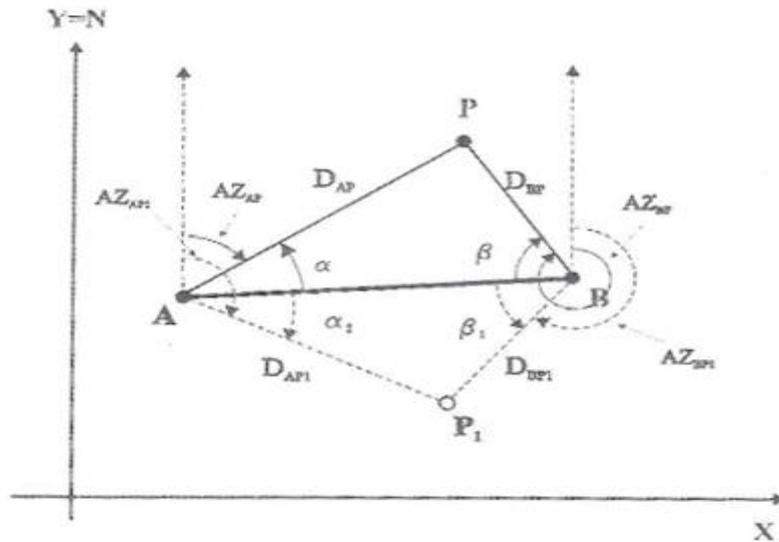


Figura 23 - Bilateção. Fonte: (ERBAS et. al, 2005)

$$\cos \alpha = \frac{D_{AB}^2 + D_{AP}^2 - D_{BP}^2}{2 * D_{AB} * D_{AP}} \quad (29)$$

$$\cos \beta = \frac{D_{AB}^2 + D_{BP}^2 - D_{AP}^2}{2 * D_{AB} * D_{BP}} \quad (30)$$

$$Az_{AP} = Az_{AB} - \alpha \quad (31)$$

$$Az_{BP} = Az_{BA} - \beta \quad (32)$$

Onde:

D_{AB} : Distância do ponto A até o ponto B;

D_{AP} : Distância do ponto A até o ponto P;

D_{BP} : Distância do ponto B até o ponto P;

Az_{AB} : Azimute do ponto A até o ponto B;

Az_{AP} : Azimute do ponto A até o ponto P;

Az_{BP} : Azimute do ponto B até o ponto P; e

Az_{BA} : Contra Azimute do ponto A até o ponto B;

No processo de locação estaciona-se o equipamento primeiro em um ponto de coordenadas conhecidas A e com o auxílio das medidas lineares disponíveis na caderneta de locação, encontra-se o ponto desejado P, depois estaciona-se o equipamento em outro ponto com coordenadas conhecidas B e com o auxílio das medidas lineares disponíveis na caderneta de locação, encontra-se o ponto desejado P.

4.6. Ajustamento das observações

Segundo Gemael (1994), ao se realizar as observações se abdica da pretensão de se ter um verdadeiro valor em uma grandeza medida, pois é inevitável a presença de erros de medidas. Os erros não são apenas humanos, mas também da imperfeição dos equipamentos e condições ambientais. O mesmo autor classifica os erros em grosseiros, causados por desatenção do operador, como a inversão do dígito, dentre outros; sistemáticos, são de causas conhecidas sendo evitados com técnicas especiais ou eliminados através de expressões fornecidas pela teoria; e aleatórios que não têm causas conhecidas que permanecem nas observações. Os erros aleatórios apresentam distribuição normal.

Para realizar os métodos de ajustamento nas observáveis é necessário que se tenha um número maior de observações que de incógnitas envolvidas no processo de ajustamento (GEMAE, 1994).

Existem diversos tipos de modelos de ajustamento das observações, tais como paramétrico, combinado, combinado com injunção, dentre outros. Nesta dissertação, foi utilizado o método paramétrico para analisar os dados coletados em campo e determinar as coordenadas dos pontos de referência e pontos-objeto locados.

No método paramétrico ou de observações indiretas, segundo Gemael (1994), as medidas não se processam sobre a grandeza procurada, elas se vinculam matematicamente a outra, essa pode ser medida diretamente e define a função como $L_{\alpha}=F(X_{\alpha})$. As equações de observações,

equações normais e a matriz variância-covariância dos parâmetros destes métodos são fornecidas pelas equações a seguir:

Equações de Observações

$$L_a = L_b + V \quad (33)$$

$$X_a = X_0 + X \quad (34)$$

Equações Normais

$$X = -(A^T P A)^{-1} (A^T P L_a) \quad \text{ou} \quad (35)$$

$$X = -N^{-1} U \quad (36)$$

Matriz Variância-covariância

- Para os parâmetros:

$$\Sigma_{X_a} = \Sigma_X = \sigma_0^2 N^{-1} \quad (37)$$

- Para os valores observados ajustados:

$$\Sigma_{L_a} = \sigma_0^2 A N^{-1} A^T \quad (38)$$

Variância da unidade de peso a posteriori

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{g_l} \quad (39)$$

Sendo:

L_a : Vetor (nx1) dos valores observados ajustados;

L_b : Vetor (nx1) dos valores observados;

V : Vetor resíduo (nx1);

A : Matriz das derivadas parciais da função (nxn);

P : Peso (nxn)

X_0 : Vetor (nx1) cujas componentes são os valores aproximados dos parâmetros;

X_a : Vetor (nx1) dos parâmetros ajustados;

σ_0^2 : Variância da unidade de peso a priori; e

g_l : Grau de Liberdade igual a $n-u$, onde n é o número de observações e u é o número de incógnitas.

U : $A^T P A$; e

N : $A^T P A$;

Foram criadas rotinas do modelo paramétrico no *software Excel2010* para cada método de levantamento empregado: poligonação; estação livre (interseção a ré por meio de medições combinadas de direção e distância); interseção a vante; irradiação dupla; interseção a ré por meio de medições de direção; e interseção a ré por meio de medições de distância, que estão no apêndice I.

4.7. Teste de Hipótese

Gemael (1994) define que existem as seguintes condições: A hipótese nula (básica) (H_0) e a hipótese alternativa (H_1).

Primeiro, são aplicados as hipóteses com as seguintes afirmações:

$$H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$$

$$H_1: \sigma^2 \neq \hat{\sigma}^2_0$$

Segundo, utiliza-se a estatística do teste (X^{*2}) dada por:

$$X^{*2} = \hat{\sigma}^2_0 S \tag{40}$$

Sendo:

$\hat{\sigma}^2_0$: Variância da unidade de peso a posteriori; e

gl : grau de liberdade.

Terceiro considerando o grau de liberdade e o nível de significância, encontra-se para encontrar o intervalo de confiança na tabela da distribuição Qui-quadrado.

O Teste de Hipótese verifica se houver problema no ajustamento, é um indicador da qualidade do ajustamento, avaliando a unidade de peso a posteriori encontrada em um determinado intervalo da distribuição normal. Caso o resultado do Teste de Hipótese seja rejeitado é necessário analisar os valores observados, podendo ser erro nos valores observados, erros grosseiros ou sistemáticos, o modelo matemático utilizado pode não ser consistente com as observações (GEMAEL, 1994).

5. EXPERIMENTOS E ANÁLISES METODOLÓGICAS

Neste capítulo será apresentada a metodologia aplicada nas áreas experimentais. Os pontos de referência foram determinados através do método de posicionamento relativo estático GNSS (cf. item 4.3.1) e Métodos Terrestres de Medição com emprego de estação total: poligonação com centragem forçada, interseção a ré por meio de medições combinadas de direção e distância, interseção a ré por meio de medições de distância, interseção a ré por meio de medições de direção, bilateração, interseção a vante, e irradiação dupla (cf. item 4.4.4). Os pontos-objeto foram determinados através dos métodos de posicionamento cinemático RTK (cf. item 4.3.1.2) e Métodos Terrestres de Medição com emprego de estação total (irradiação simples e/ou dupla, bilateração e interseção a vante). Finalizando-se com o emprego de fio a "nylon" e fio a prumo, para a determinação da interseção de eixos de pilares, e emprego dos comandos embutidos da estação total: "estação desconhecida", "locação" e "pontos polar/detalhes". O nível de confiança de 95% foi adotado como indicador da qualidade dos levantamentos com GNSS e estação total.

A seguir serão abordadas a metodologia, a descrição das medições realizadas, assim como os resultados e análises dos experimentos realizados.

5.1 Metodologia e Materiais

Os procedimentos metodológicos são apresentados em fluxogramas para o melhor entendimento dos mesmos, seguidos dos materiais utilizados para a realização desta dissertação.

5.1.1. Metodologia

Os experimentos foram realizados em duas áreas de estudo. A primeira apresenta características mais próximas da realidade urbana. Esta área contempla uma edificação predial, atualmente em construção. Está localizada no Bairro da Madalena da Região Metropolitana do Recife (RMR); e a segunda área ainda, não edificada, está localizada no *Campus Recife*

da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), no canteiro central da Av. dos Reitores.

O fluxograma apresentado na Figura 24 descreve as etapas realizadas nesta dissertação. A primeira contempla o levantamento bibliográfico. Foram realizadas pesquisas em livros, “internet”, artigos publicados em anais de congressos e periódicos, dissertações, entre outros. Na segunda etapa foram identificadas as normas referentes à execução dos levantamentos topográficos/geodésicos (cf. itens 2.2.1, 2.2.2, 2.3.1, 2.3.2 E 2.3.3) e a elaboração do “como construído” (capítulo 2). Na etapa 3 foram escolhidas as áreas. Para a escolha destas, levou-se em consideração o objeto de estudo. Em seguida, na etapa 4, procedeu-se ao reconhecimento das áreas através de imagens georreferenciadas cedidas pela Prefeitura do Recife, imagens “Google Earth”, cartas topográficas, fotos e reconhecimento em campo. A etapa 5 contempla a definição de estruturas geodésicas, cujos Sistemas de Referência e métodos de medição foram abordados nos capítulos 3 e 4, respectivamente, desta dissertação. Esta etapa consiste na definição dos pontos de referência e pontos-objeto, no problema de intervisibilidade entre os mesmos, assim como no emprego dos Métodos Terrestre de Medição, Métodos de Posicionamento por Satélites, Sistemas de Referência, além de cálculos de ajustamento das observações. Na etapa 6 foram definidas as coordenadas dos pontos de locação, finalizando-se, na etapa 7, com o controle da locação (capítulo 4).

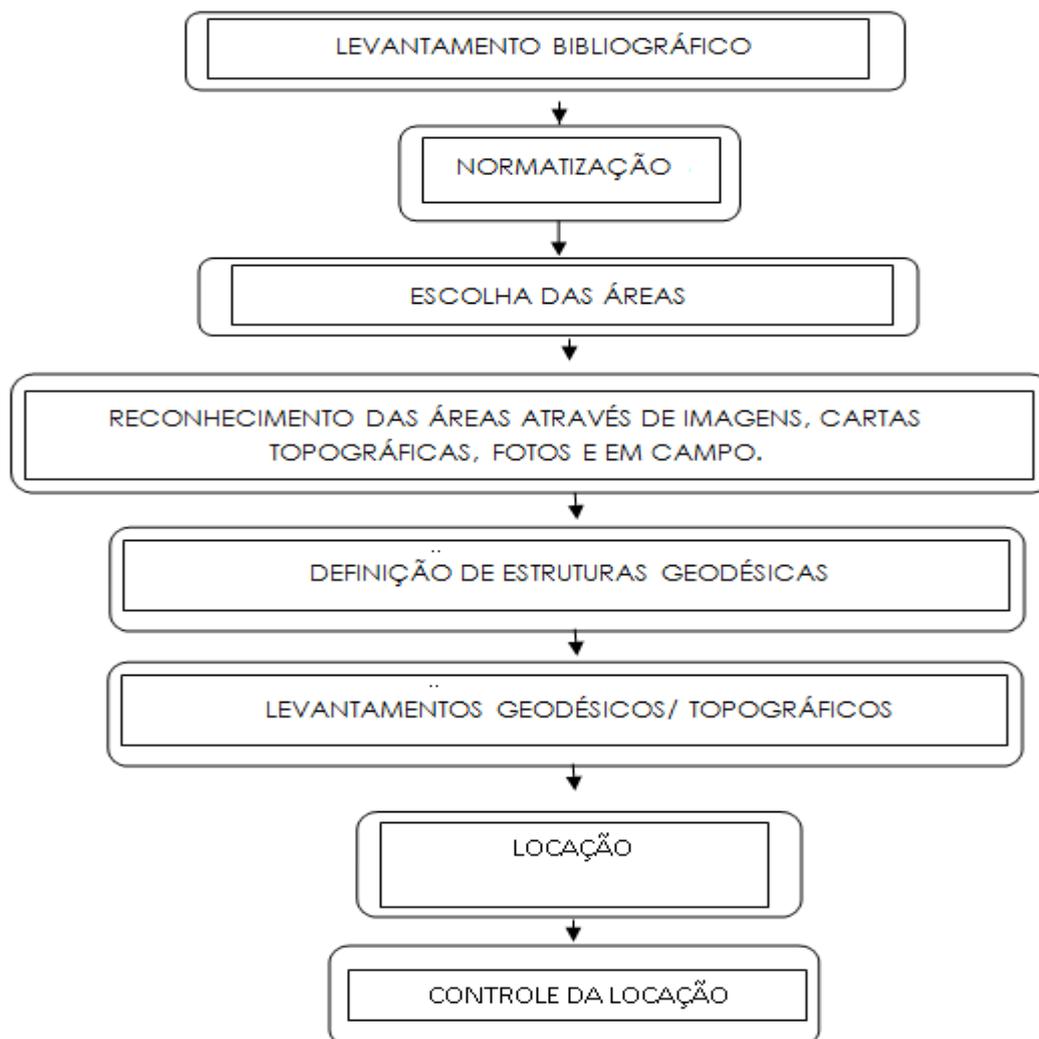


Figura 24 – Fluxograma da Metodologia Aplicada.

5.1.2. Materiais

- Ortofotocartas 2007 - Prefeitura da Cidade do Recife. Projeção UTM – Fuso 25. Sistema de Referência: SIRGAS2000.
- “*Shapefile*” dos limites de Bairros da Madalena e Recife, logradouro. Prefeitura da Cidade do Recife. Projeção UTM – Fuso 25. Sistema de Referência: SIRGAS2000.
- 1 par de receptores GNSS HIPER LITE+: dupla frequência (L1 e L2), Rádio com alcance de até 2km em RTK, Precisão horizontal de 3mm + 0,5 ppm e vertical de 5mm + 0,5 ppm para levantamentos estáticos e rápido-estáticos e horizontal de 10mm + 1 ppm e vertical

de 15mm + 1 ppm para levantamentos cinemáticos e RTK (TOPCON, 2003);

- 1 par de receptores GNSS HIPER V: dupla frequência (L1+L2), precisão horizontal de 3mm+ 0,5ppm em levantamentos L1/L2 estático e estático-rápido e de 10mm + 1ppm em levantamentos cinemáticos e RTK;
- Estação Total (Trimble 3305 DR), precisão angular (5") e linear (5mm + 5ppm). De acordo com a NBR 13.133/1994 (cf. 2.2.1.1), a precisão angular e linear deste instrumento é classificada como precisão média;
- Apoio logístico para o levantamento de campo, tais como: prismas, guarda-sol, base nivelante, trena, tripés, dentre outros;
- Fios a "nylon", fio a prumo e cavaletes e estacas;
- Softwares: *AutoCad2013* (versão estudantil), *ArcGis 10*, *TOPCOM TOOLS v.8.2* (com Hardlock do LabGeo/DECART), *Excel 2010*, *AstGeoTop 2013*; e
- Kit de locação (mini prisma, suporte e hastes metálicas)

5.2. Áreas de estudo

As áreas descritas nos subitens a seguir, contêm as delimitações dos limites do Bairro da Madalena e da área de estudo, assim como a área no *campus* Recife, da UFPE. Para melhorar as ilustrações das áreas de estudo foram confeccionados alguns mapas temáticos com o emprego do *software* ArcGis10.

5.2.1. Área de estudo 1 – Bairro da Madalena

No Bairro da Madalena, segundo o IBGE (2010) a população é de 1.537.704 hab. numa área de 218 km². Observa-se o mapa elaborado (Figura 25) mostrando o limite do Bairro da Madalena e sua localização dentro da Cidade do Recife (Figura 26), de acordo com dados da Prefeitura do Recife, disponibilizadas no SIRGAS2000. A área de estudo 1 está ilustrada com um polígono hachurado em cor laranja.

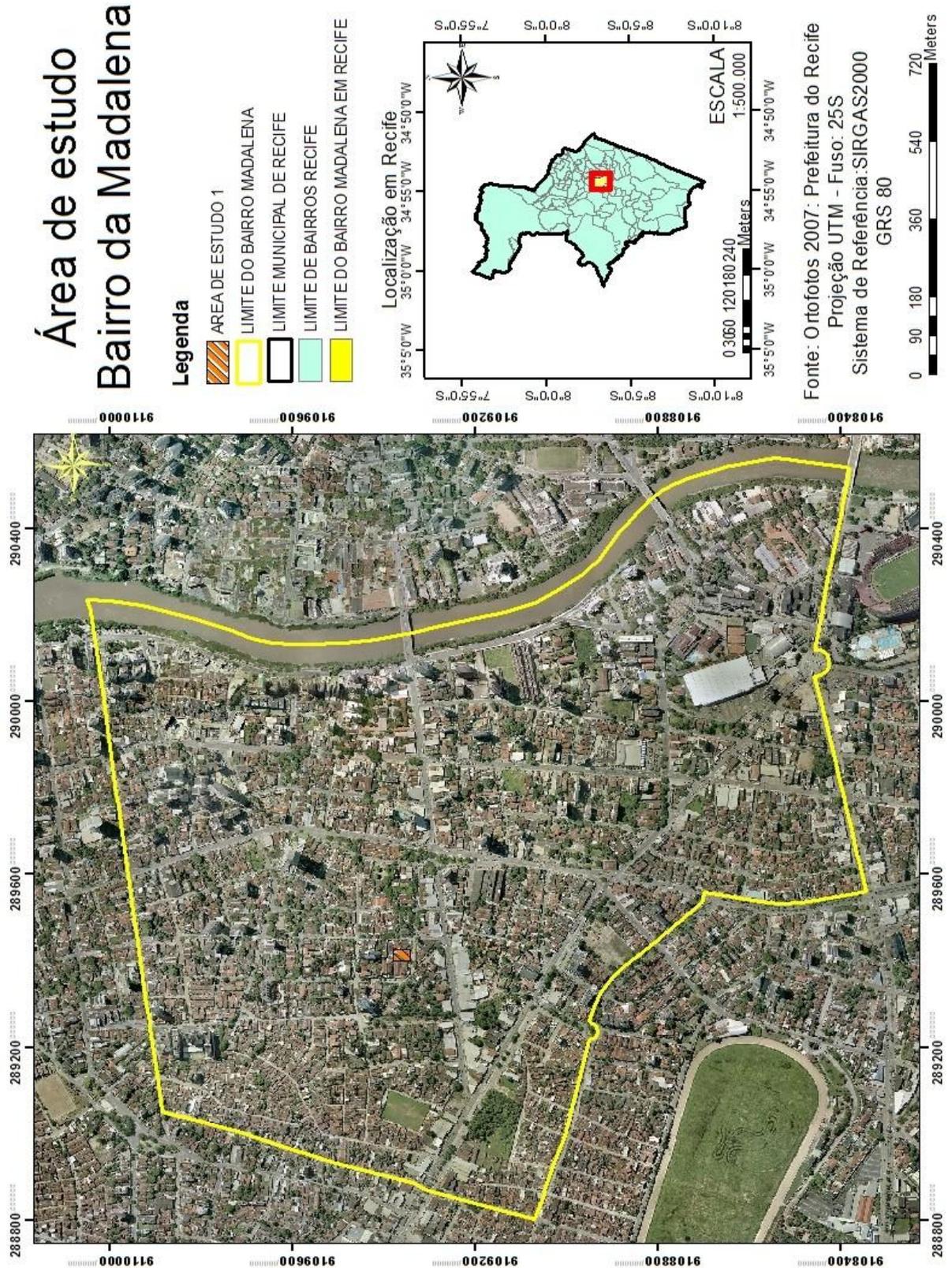


Figura 25 – Mapa da área de estudo 1 – Delimitação do Bairro da Madalena e identificação da Área de Estudo 1, coordenadas em metros.

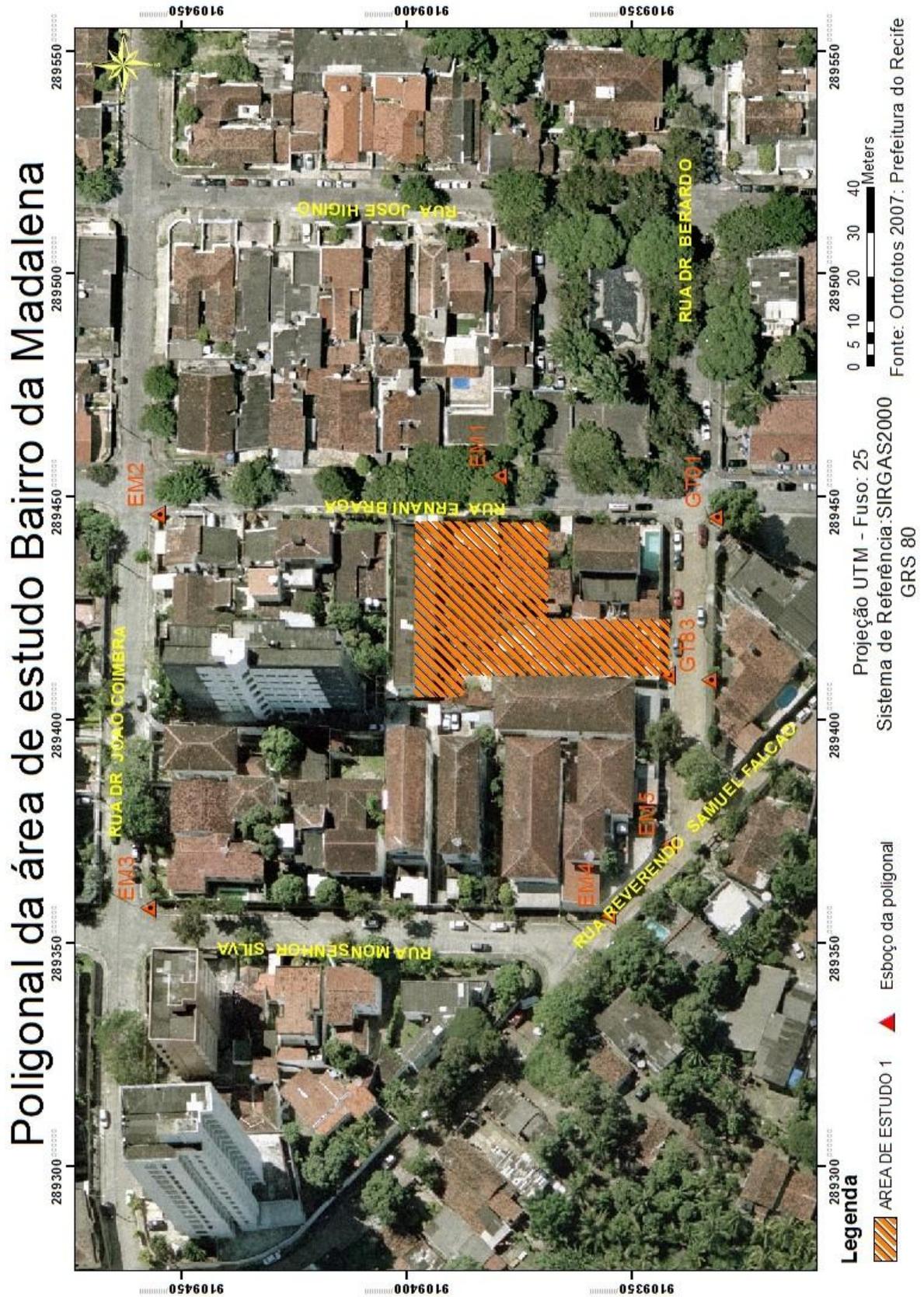


Figura 26 – Mapa da Área de Estudo I com os vértices (EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT83 e GT01) da Poligonal implantada.

A Área de Estudo 1 foi composta por dois lotes urbanos, que foram rebembrados e constituem uma área para a execução de uma edificação predial, cuja locação executada em janeiro 2012 e materializada no gabarito da obra é também objeto de estudo, nesta dissertação. O edifício está sendo construído dentro da quadra urbana, delimitada pelas ruas: Dr. Bernardo, Ernani Braga, Dr. João Coimbra, Mns. Silva (Figura 26). As coordenadas geográficas aproximadas, no SIRGAS2000, registradas em um ponto localizado dentro da área de estudo e obtidas com a ferramenta do *software ArcGis v.10*, são: latitude $8^{\circ} 03' 11.0448''$ S e longitude $34^{\circ} 54' 39,1068''$ W Gr (Figura 25). A Figura 26 ilustra um esboço da localização dos vértices da poligonal implantada no entorno da quadra cadastral, utilizadas para a definição do sistema de referência externa à obra.

A área foi contemplada com a implantação de pontos de referência e pontos-objeto:

- Os vértices EM2 e EM3 tiveram suas coordenadas geodésicas determinados por GNSS, aplicando o método de posicionamento relativo estático;
- Os vértices GT01, GT83, EM1, EM2, EM3, EM4, EM5 e E8 tiveram suas coordenadas determinadas com estação total, aplicando o método da poligonação com centragem forçada. Esses vértices materializam a referência externa para a área de estudo;
- Os vértices E8, E7, E5, E1, E2, E3 e E4 tiveram suas coordenadas determinadas com estação total, aplicando-se diversos métodos, dentre eles, a poligonação com centragem forçada, interseção a ré por meio de medições combinadas de direção e distância, interseção a ré por meio de medições de distância, interseção a ré por meio de medições de direção, bilateração e interseção a vante. Esses vértices materializam a referência interna à obra; e
- Os pontos-objeto Q1, Q2, Q3, A4, Q5, Q7, Q8, Q9 e Q10 (quinas internas da propriedade), assim como os pregos materializados no

gabarito da obra tiveram suas coordenadas determinadas com estação total, aplicando o método da interseção a vante.

As monografias dos vértices EM2, EM3 e V12 estão apresentados no Apêndice 1.

5.2.2. Área de Estudo 2 – Campus Recife - UFPE

A localização do *Campus Recife*, da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), conhecido como *Campus Joaquim Amazonas* (em homenagem ao primeiro Reitor Professor Joaquim Ignácio de Almeida Amazonas) tem coordenadas geográficas aproximadas de 8° 03' 20'' S latitude e 34° 57' 04'' W Gr longitude, no Sistema Geodésico de Referência - SIRGAS2000, obtidas com a ferramenta do software *ArcGis10* e registradas dentro da Área de Estudo 2 (Figura 27). A Figura 27 ilustra a Área de Estudo 2, delimitada pelas seguintes avenidas: Av. Prof. Moraes do Rego, Av. visco de São Leopoldo, Av. Prof. Luiz Freire, R. Ar. Académico Hélio Ramos e Av. Prof. Artur de Sá. A Área de Estudo 2 fica localizada dentro do *Campus Recife*, da Universidade Federal de Pernambuco, próximo ao prédio da Biblioteca Central e do Centro de Convenções, dentro do canteiro central na área verde que contêm a sigla edificada da UFPE (Figura 28).

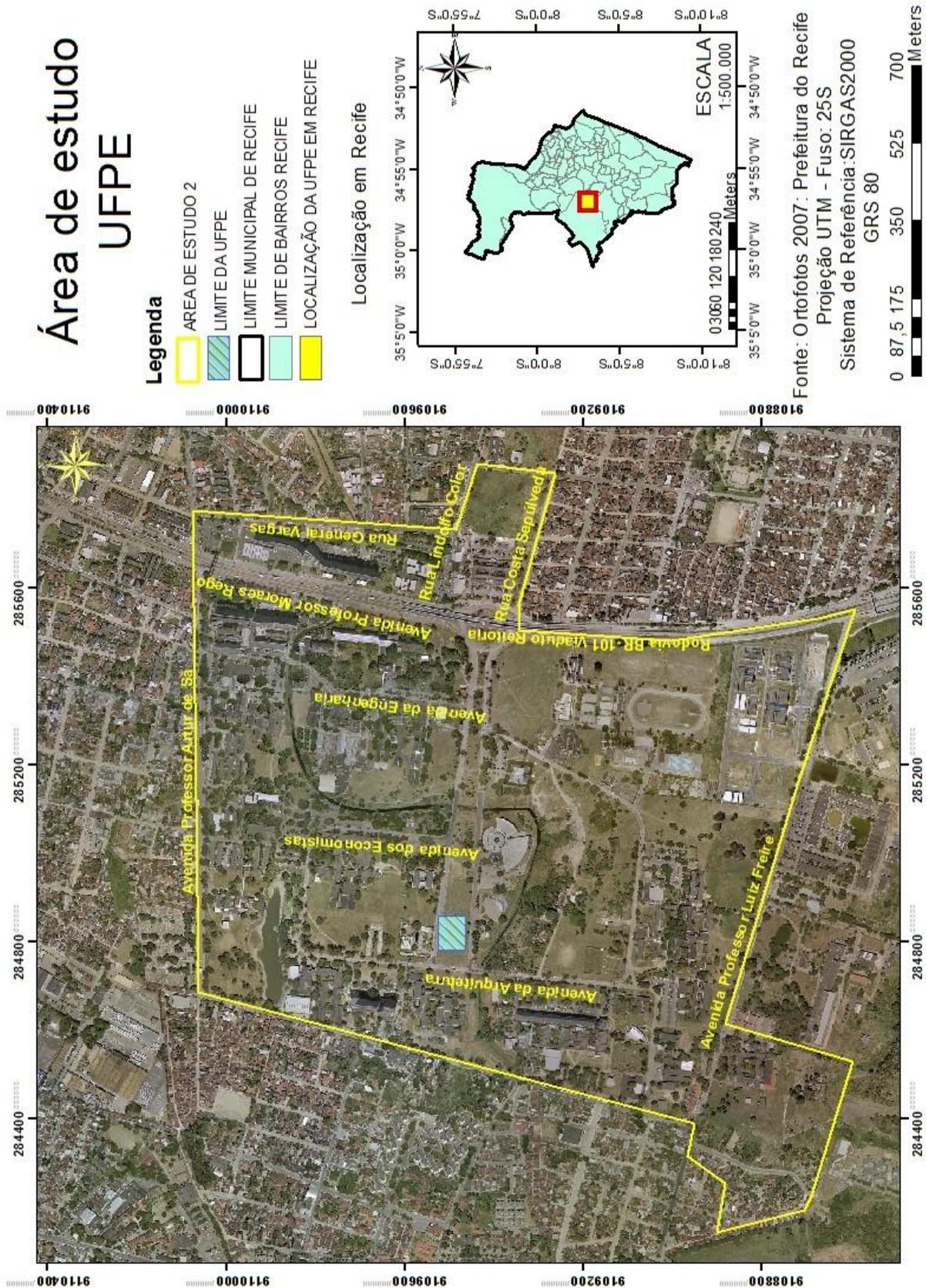


Figura 27 – Mapa da Área de Estudo 2 – Delimitação do Campus Recife – UFPE e identificação da Área de Estudo 2, coordenadas em metros.

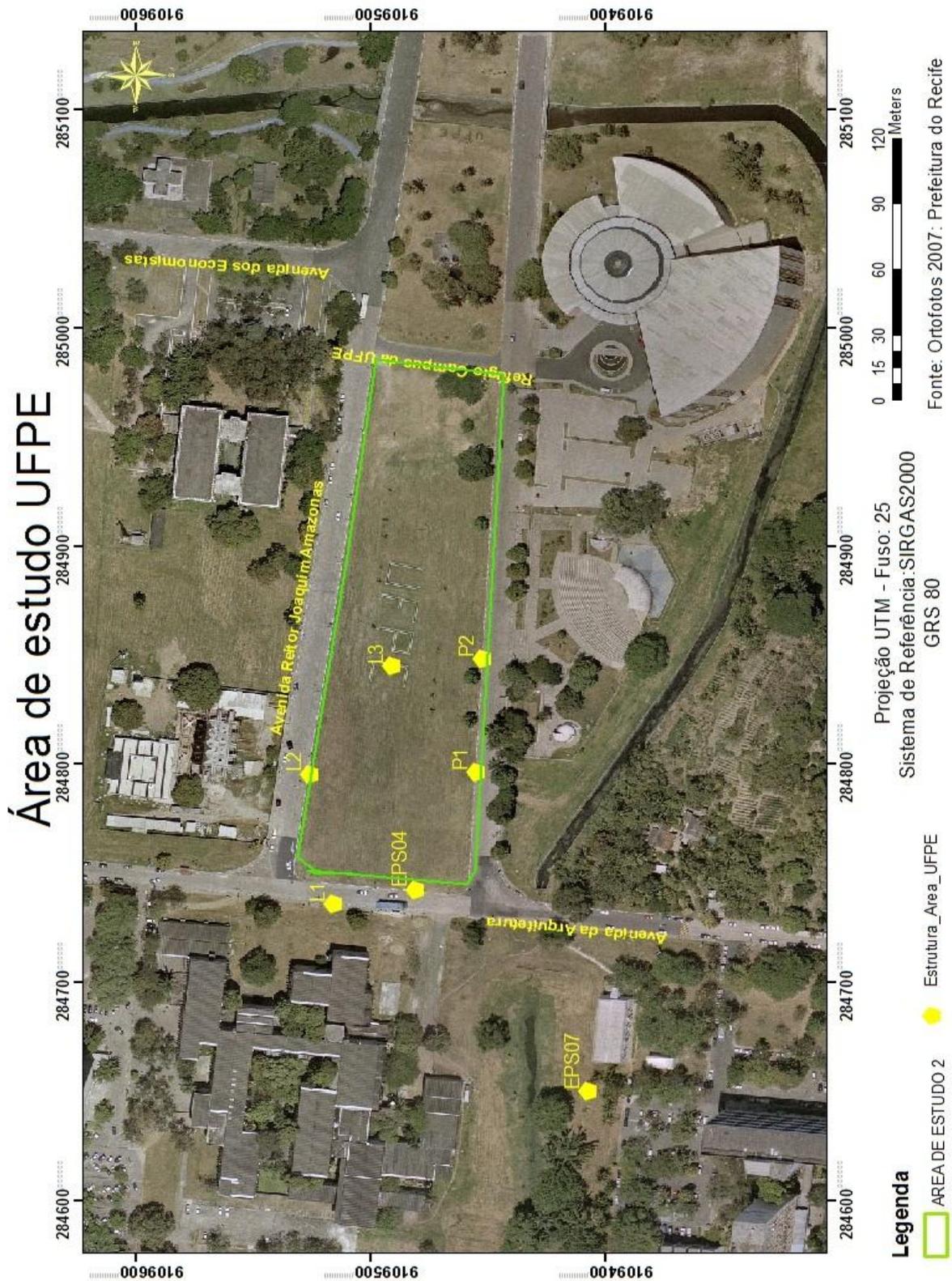


Figura 28 – Mapa da Área de Estudo 2 - Campus Recife UFPE e vértices da poligonal implantada (EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1) e pontos de referência EPS04 e EPS07.

A área foi contemplada com a implantação de pontos de referência e pontos-objeto:

- Os vértices EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1 tiveram suas coordenadas determinadas com estação total, aplicando o método de poligonação com centragem forçada;
- Os vértices EPS04 e EPS07 são vértices pré-existentes e tiveram suas coordenadas geodésicas (φ , λ) determinados por GNSS, aplicando o método de posicionamento relativo estático (VILA FLOR, 2010);
- O vértice EPS04 foi determinado também com estação total, aplicando o método de interseção a ré por meio de medições combinadas de direção e distância, interseção a ré por meio de medições de distância; interseção a ré por meio de medições de direção com a utilização de centragem forçada e centragem mecânica com a utilização de bastão fixado em um tripé. Esta última realizada durante os experimentos com os comandos embutidos da estação total;
- Os pontos-objeto A, B, C e D tiveram suas coordenadas locadas com estação total, aplicando o método da irradiação simples; com receptores GNSS, aplicando o método de posicionamento cinemático RTK. Os mesmos foram redeterminados com emprego de estação total, aplicando o método da irradiação simples;
- Os pontos A_{A1} , A_{L1} , B_{L1} , B_{F1} , C_{F1} , C_{L1} , D_{L1} e D_{A1} tiveram suas coordenadas locadas com estação total, aplicando o método da irradiação simples. Os mesmos foram redeterminados com a estação total, aplicando o método da interseção a vante; e
- Os pontos-objeto A, B, C e D tiveram suas coordenadas locadas com fio a "nylon" e fio a prumo a partir dos pontos (A_{A1} , A_{L1} , B_{L1} , B_{F1} , C_{F1} , C_{L1} , D_{L1} e D_{A1}). Os mesmos foram em seguida redeterminados com o emprego de estação total, aplicando o método da bilateração e irradiação dupla;

- Os pontos-objeto A, B, C e D tiveram suas coordenadas locadas com estação total, utilizando-se dos comandos embutidos, sendo em seguida redeterminadas com estação total pelo método polar/detalhes.

As monografias dos vértices A, B, C e D estão apresentadas no Apêndice 1.

5.3. Implantação e definição dos Sistemas de Referência de Medição

Para a implantação das Redes de Referência Cadastral Municipal (RRCM) e a definição dos sistemas de referência de Medição (SRM) foi utilizada a estação total (TRIMBLE - 3305 DR). Para o georreferenciamento das estruturas geodésicas da RRCM empregaram-se os receptores GNSS (HIPER LITE+ e HIPER V).

O fluxograma (Figura 29) ilustra as etapas executadas. Na primeira etapa foram definidos a localização das estruturas geodésicas das Áreas de Estudo 1 e 2. Na Área de Estudo 1 – Bairro da Madalena foram definidos os pontos de referência através dos métodos de levantamento com estação total e posicionalmente relativo estático (GNSS). Nesta área o método com estação total serviu para definição de um Sistema Topográfico Local e o posicionamento relativo estático (GNSS) serviu para o georreferenciamento da Área de Estudo 1. Os dados adquiridos foram ajustados, processados e comparados (cf. item 5.3.1.1). Na Área de Estudo 1 determinaram-se os pontos de referência por diferentes métodos (poligonação fechada, interseção a vante e a ré, bilateração, estação livre e irradiação dupla). A interseção a vante foi empregada para se determinar as coordenadas das quinas das faces internas do muro da propriedade e os pregos fixados no gabarito da obra. Em relação à área de estudo 2 – *Campus Recife*, foi definido onde ficariam os pontos de referência empregando os métodos de interseção a ré e poligonação fechada com centragem forçada, esses dados foram processados, ajustados, analisados e comparados. Finalizando-

se com a locação dos pontos-objeto definidos dentro da área da poligonal implantada.

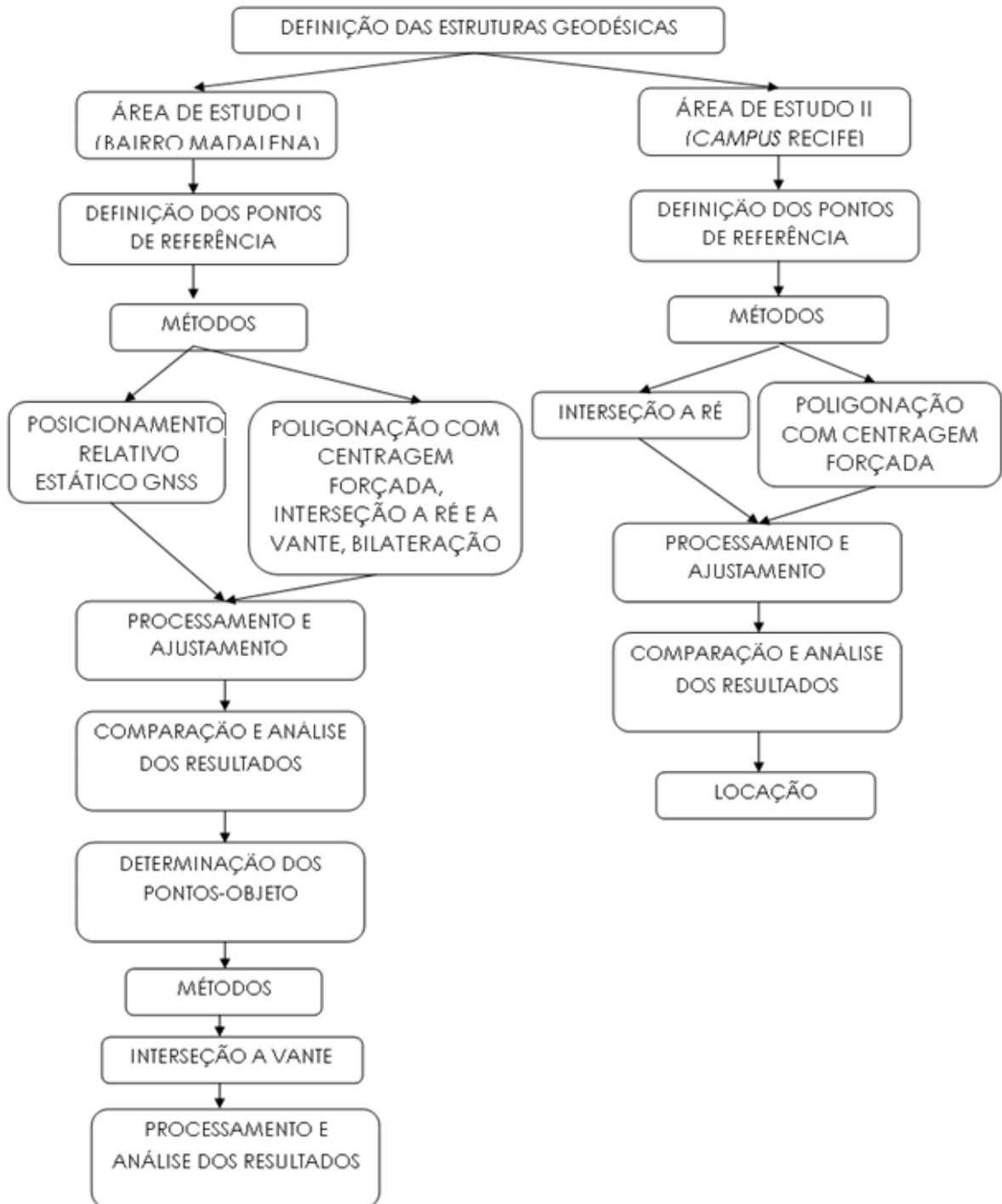


Figura 29 – Fluxograma da Implantação, definição dos Sistemas de Referência de Medição, determinação dos pontos de referência e determinação dos pontos-objeto.

5.3.1. Área de Estudo 1 – Bairro da Madalena

5.3.1.1. Medição, Processamento e Análise dos Resultados dos pontos de referência com GNSS

Nesta etapa foi realizado o georreferenciamento da Área de Estudo 1. Os dados foram coletados com os receptores GNSS L1/L2 nos vértices EM2 e EM3, que estão materializadas na área externa à obra.

a) Medições

A campanha GNSS para o georreferenciamento do campo de pontos de referência foi realizada no dia 12 de novembro de 2013. Na medição foram utilizados três (3) receptores geodésicos L1/L2 (cf. 5.1.2), com rastreamento de aproximadamente 01h30min para cada ponto. A taxa de gravação dos dados foi de 1 segundo, com máscara de elevação de 15°. Os receptores foram instalados com tripés e bases nivelantes, e em seguida foram medidas as alturas das respectivas antenas. A campanha visou rastrear simultaneamente as estações RECF, V12, EM2 e EM3, sendo os dados da estação RBMC-RECF disponibilizados pelo IBGE. As estações RBMC-RECF e V12 foram usadas como estações de referência. A estação V12 é um vértice de apoio básico da Prefeitura do Recife (Anexo 1). A Figura 30 ilustra a configuração geométrica em uma vista área dos vértices EM2 e EM3 utilizadas para o georreferenciamento da área do Bairro da Madalena e as estações RBMC-RECF e V12



Figura 30 – Vista área dos vértices RBMC-RECF, V12, EM2 e EM3. Fonte: Imagem Google Earth (2014).

A Figura 31 apresenta a ocupação dos vértices de referência implantados no Bairro da Madalena e no vértice V12 em Boa Viagem, próximo ao Aeroporto – Vértice do E-SIG - Recife.



Figura 31 – Ocupação GNSS dos pontos de referência: a)EM2, b)EM3 e c)V12. Fotos: Novembro 2013.

A Figura 32 o edifício em construção e o receptor GNSS instalado no vértice EM2.



Figura 32 – Edifício em construção e ocupação GNSS do vértice EM2. Foto: Novembro 2013.

b) Processamento

O processamento e ajustamento dos vértices de referência foram realizados com o software *TOPCON TOOLS V.8.2* (demo) com o nível de confiança 95%.

O processamento ocorreu da seguinte maneira:

- No processamento utilizou-se a estação RBMC-RECF e V12 como referências e determinou-se EM2 e EM3, as coordenadas geodésicas e planas retangulares UTM (SIRGAS2000) (Tabela 4). Nesta dissertação empregaram-se as coordenadas das estações RBMC-RECF (IBGE, 2013) e V12 (Anexo 1), são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3– Coordenadas das estações RBMC-RECF e V12.

Esta- ções	Coordenadas Geodésicas		Coordenadas UTM (SIRGAS2000)		
	ϕ	Λ	N (m)	E (m)	h (m)
RECF	8°03'03,46970''S	34°57'05,45910''W	9109554,895	284931,043	20,18
V12	8°06'30,16493''S	34°53'17,32463''W	9103236,979	291946,790	-1,433

Fonte: TopCon Tools V.8.2.

Após o ajustamento e análise da rede através dos vértices RECF-RBMC, V12, EM2 e EM3. Obtiveram-se as coordenadas dos vértices EM2 e EM3 que estão representadas na Tabela 4.

Tabela 4– Coordenadas das estações EM2 e EM3 (Ajustadas) determinadas por RECF e V12.

Processamento	Base	Estações	Coordenadas Geodésicas		Coordenadas Geodésicas					
			ϕ	λ	N (m)	σ_E	E (m)	σ_N	h	σ_H
1	RECF	EM2	8°03'07,40514''S	34°54'38,05416''W	9109455,293	0,002	289445,721	0,002	-2,179	0,003
		EM3	8°03'07,32536''S	34°54'40,93626''W	9109457,331	0,002	289357,450	0,002	-1,948	0,003

Fonte: TopCon Tools V.8.2.

c) Análise

A campanha realizada no dia 12 de novembro de 2013 resultou nas coordenadas geodésicas e UTM (SIRGAS2000) dos vértices EM2 e EM3 para o georreferenciamento da Rede de Referência Cadastral Municipal na Área de Estudo 1 – Bairro da Madalena.

As Figuras 33 ilustram as linhas de base criadas em cada processamento.

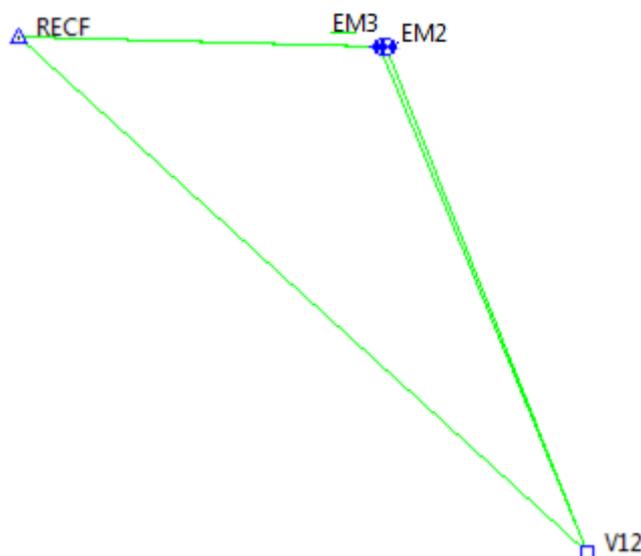


Figura 33 – Linhas de Bases do processamento. Fonte: TopCon Tools V.8.2.

Foi realizada a “Loop Closures” para a verificação do erro de fechamento da Rede. Este quadro 3 mostra que as linhas de base são

consistentes, com a discrepância máxima na horizontal de 9mm no fechamento dos triângulos. Na vertical a discrepância máxima de 1,2cm.

Quadro 3 - Fechamento das poligonais na ferramenta Loop Closures.

Loop	dHz (m)	dU (m)	Horz Tolerance (m)	Vert Tolerance (m)	dHz (ppm)	dU (ppm)	Length (m)
EM2-EM3(12/11/2013 14:30:14) EM2-RECF(12/11/2013 14:30:14) EM3-RECF(12/11/2013 14:16:00)	0,0066	0,0038	0,0752	0,1052	0,73	0,42	9030,225
EM2-V12(12/11/2013 14:30:14) EM2-RECF(12/11/2013 14:30:14) RECF-V12(12/11/2013 14:13:49)	0,0094	0,0123	0,1333	0,1633	0,46	0,59	20656,3359
EM3-V12(12/11/2013 14:16:00) EM3-RECF(12/11/2013 14:16:00) RECF-V12(12/11/2013 14:13:49)	0,0048	0,0103	0,133	0,163	0,23	0,5	20603,3584
EM3-V12(12/11/2013 14:16:00) EM2-EM3(12/11/2013 14:30:14) EM2-V12(12/11/2013 14:30:14)	0,0065	0,0057	0,0976	0,1276	0,48	0,42	13526,4955

Fonte: TopCon Tools V.8.2.

Após a verificação do fechamento da rede foi realizado o ajustamento na rede para verificação da qualidade dos vértices RECF-RBMC, V12, EM2 e EM3 (Figura 34).

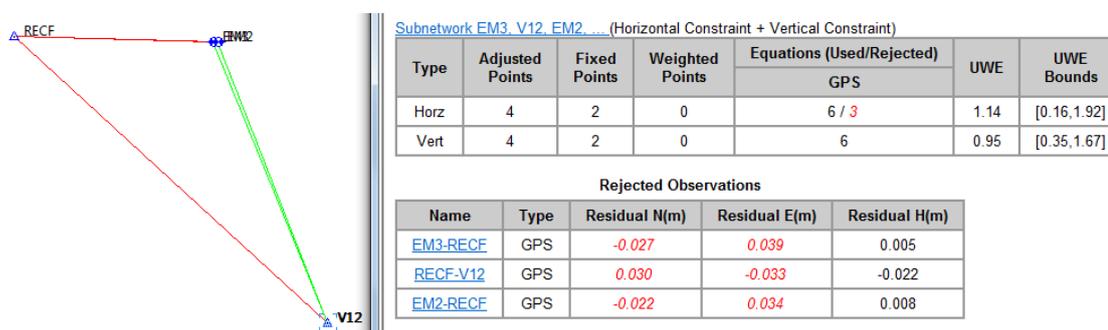


Figura 34– Análise da rede GNSS pontos com os pontos EM3 e EM2 .Fonte: Ferramenta de ajustamento de rede do *TopCon Tools V.8.2*.

A Figura 34 mostra que no ajustamento da rede considerando como pontos de controle os vértices RECF e V12, implica na rejeição das linhas de base que partem da estação RECF, os residuais resultantes estão na ordem de 4cm. Isto mostra que existe um problema na posição de V12, que pode ser nas coordenadas fornecidas pela monografia do marco disponibilizada no ESIG/RECIFE, ou na centragem da antena no vértice no instante do

levantamento. A solução final do ajuste da rede será dada pela não fixação da posição horizontal do vértice V12, conforme mostra a Figura 35 a seguir.

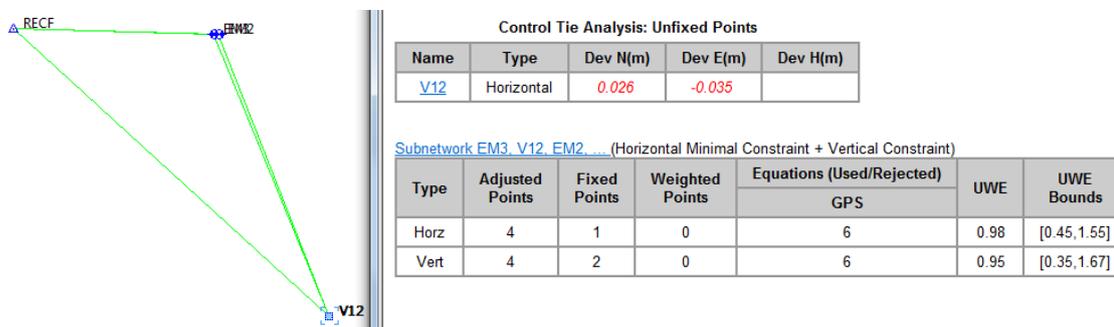


Figura 35 – Análise da rede GNSS pontos com os pontos EM3 e EM2 . Fonte: Ferramenta de ajustamento de rede do Topcon Tools v8.2

Usando apenas a altitude elipsoidal do vértice V12 como controle, o resultado do ajustamento torna-se consistente, as coordenadas finais com seus respectivos desvios padrão e precisão horizontal são mostradas na Figura 35. Portanto, serão adotadas, nesta dissertação, as coordenadas geodésicas e UTM (SIRGAS2000) dos vértices EM2 e EM3 apresentadas na Figura 36.

I...	Name	Latitude	Longitude	Ell.He...	Control	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev u (...)	Std Dev Hz (m)
□	V12	8°06'30,16407"S	34°53'17,32579"W	-1,433	Vertical	0,003	0,002	0,000	0,004
+	EM3	8°03'07,32536"S	34°54'40,93626"W	-1,948	None	0,002	0,002	0,005	0,003
+	EM2	8°03'07,40514"S	34°54'38,05416"W	-2,179	None	0,002	0,002	0,004	0,003
△	RECF	8°03'03,46970"S	34°57'05,45910"W	20,180	Both	0,000	0,000	0,000	0,000

Figura 36 – As coordenadas ajustadas da rede com os pontos EM3 e EM2.

Fonte: Topcon Tools v8.2

5.3.1.2. Definição do Sistema Topográfico Local

Um sistema Topográfico Local (Sistema Geodésico Local) para a Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM) do Bairro da Madalena fica definido com a origem no vértice EM3: 8°03'07,32536''S e 34°54'40,93626''W.

A transformação das coordenadas geodésicas (SIRGAS2000) no STL foi realizada utilizando o software *Excel2010*. Para calcular os parâmetros de transformação entre as coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z) (SIRGAS2000) e as coordenadas no STL foram empregados os vértices EM2 e EM3 (Tabela 4) identificados e materializados nos dois sistemas de referência.

As coordenadas geodésicas (SIRGAS2000) dos vértices EM2 e EM3 e respectivas coordenadas X e Y do Sistema Topográfico Local (STL) estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – As coordenadas Geodésicas e Cartesianas no STL (SIRGAS2000).

Estação	Coordenadas Geodésicas		Coordenadas Cartesianas	
	Φ	λ	X (m)	Y (m)
EM2	8°03'07,40514''S	34°54'38,05416''W	150088,2477	249997,5490
EM3	8°03'07,32536''S	34°54'40,93626''W	150000,0000	250000,0000

Ressalta-se que neste experimento as coordenadas geodésicas dos vértices EM2 e EM3 serviram para definir a origem e a orientação do STL do experimento. O apêndice 1 mostra um exemplo dos cálculos das conversões realizadas.

Para comparar as coordenadas X e Y (STL) calculadas no *Excel2010* (Tabela 5) utilizou-se o software *AstGeoTop2013* modulo de Transformação de coordenadas @versão2013 (Figura 7).

Tabela 6 – As coordenadas Geodésicas e Cartesianas no STL (SIRGAS2000).

Estação	Coordenadas Cartesianas		Coordenadas Cartesianas (AstGeoTop2013)		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
EM2	150088,2477	249997,5490	150088,2477	249997,5490	0,0000	0,0000
EM3	150000,0000	250000,0000	150000,0000	250000,0000	0,0000	0,0000

Fonte: AstGeoTop2013.

5.3.1.3. Medição, Processo e Análise dos Resultados dos Pontos de Referência com Estação Total

O levantamento no Sistema Topográfico Local dos pontos de referência, aplicando os Métodos de Medição Terrestres com o emprego da estação total, foi realizado em 6 (seis) dias distintos 20, 24 e 25/01/2012, 21 e 28/03/2012 e 27/09/2013.

a) Medição

- Dia 20/01/2012

Neste primeiro dia foi realizada uma visita técnica de campo com uma duração de 3 (três) horas e uma equipe de 3 (três) pessoas. Neste dia foi realizado o reconhecimento da área, com a identificação das quinas das faces internas dos muros da propriedade, dos possíveis lugares para a implantação dos vértices das estruturas geodésicas internas e externas à obra e dos pregos fixados no gabarito da obra.

- Dia 24/01/2012

As medições neste dia tiveram uma duração de 8 horas com uma equipe formada por 3 (três) pessoas. Foram materializados os vértices E1, E2, E3, E4, E5, E7 e E8. Na área externa à obra e próximo à entrada da propriedade haviam sido identificados os pontos materializados na calçada e denominados de GT83 e GT01.

O vértice E8 foi implantado externo à obra e próximo ao portão de entrada, sendo Intervisível aos vértices E7, E5, E1, GT83 e GT01. Os vértices E7, E1, E2, E3, E4 e E5 (internos à obra) foram escolhidos de modo a permitirem visadas às quinas (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9 e Q10) das faces internas dos muros.

Os dados angulares e lineares das estruturas geodésicas foram coletados duas vezes com a estação total com visadas conjugadas diretas e inversas com o dispositivo de centragem forçada. As visadas angulares para as quinas e pregos fixados no gabarito da obra foram realizadas uma vez em duas posições da luneta (direta e inversa).

Neste dia foram realizadas 62 irradiações a partir do vértice E2 incluindo para os vértices E7 e E1, e 31 irradiações a partir do vértice E1 incluindo para os vértices E2 e E7. Fornecendo um total de 22 pares de irradiações para a realização do método da interseção a vante.

A Figura 37 apresenta um esboço da localização dos vértices da área interna à obra com exceção dos vértices GT01 e GT83.

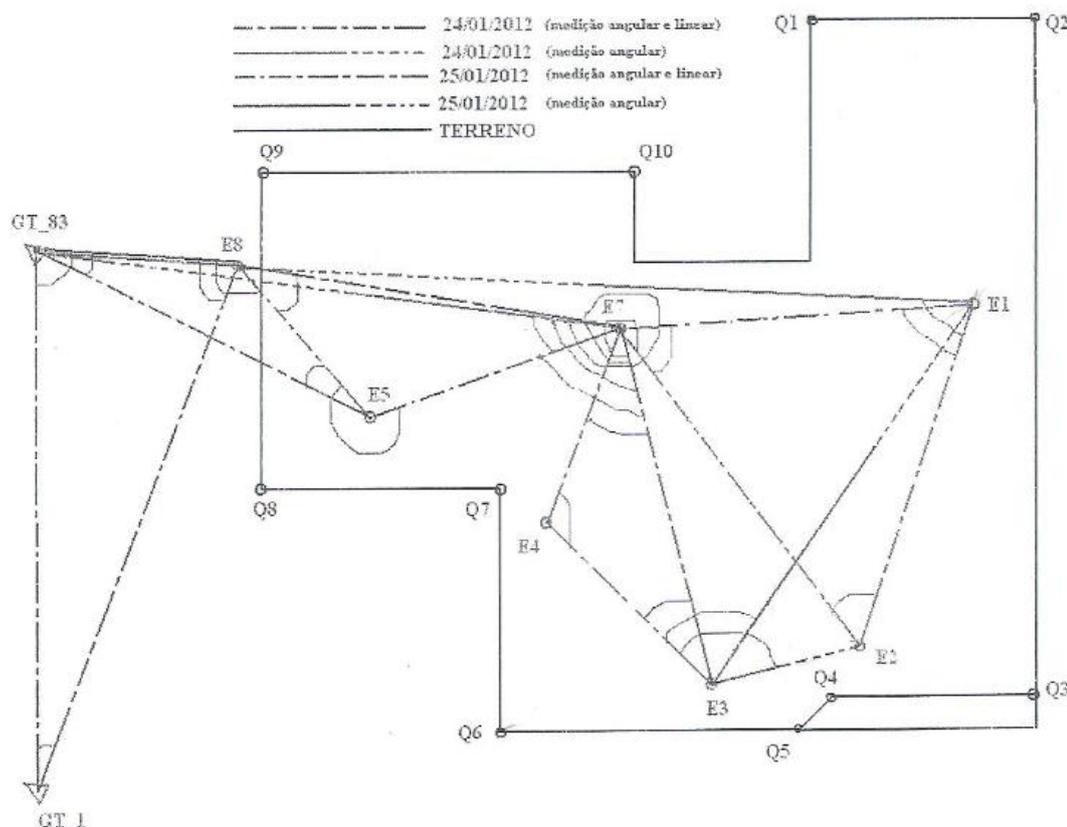


Figura 37 – Croqui da área de estudo e esboço da localização da estruturas geodésicas internas e externas à obra.

- Dia 25/01/2012

As medições neste segundo dia tiveram uma duração de oito (8) horas com uma equipe formada por três (3) pessoas. O procedimento de medição foi o mesmo descrito anteriormente. Neste dia foram realizadas 14 irradiações a partir do vértice E7 incluindo para os vértices E1 e E2; 30 irradiações a partir do vértice E3 incluindo para os vértices E7, E1 (apenas angular), E2 (apenas angular) e E4 (apenas angular); 14 irradiações a partir

do vértice E4 incluindo para os vértices E7 e E3; 58 irradiações a partir do vértice E7 (novamente reocupado) incluindo para os vértices E3, E4, e E1 (apenas angular), E2 (apenas angular), GT83 (apenas angular), E5 (apenas angular) e E8 (apenas angular); 46 irradiações a partir do vértice E5 incluindo para E7 e E8 (apenas angular). As medições realizadas de um vértice para o outro e denominadas de "apenas angular" foram realizadas da estação total para a ponta de uma caneta apoiada no pino ou piquete materializado no terreno. Também nesta área foi medida uma poligonal externa à obra constituída de três vértices GT83, GT01 e E8. A Figura 48 ajuda a visualizar o procedimento realizado neste dia em campo.

A forma como foram medidas as estruturas geodésicas internas e externas à obra possibilitou a realização do procedimento e ajustamento das observações por diferentes Métodos Terrestres de Medição: poligonização com centragem forçada, interseção a ré nos diferentes casos, interseção a vante, irradiação dupla e bilateração discutidos no item 5.3.1.3.b).

- Dia 21/03/2012

Neste dia foi materializada e implantada uma parte da poligonal externa à obra, definida pelos vértices GT01, EM1, EM2 e EM3 (Figura 49). A poligonal foi materializada com pinos cravados entre os meios fios. Os dados angulares e lineares foram coletados duas vezes com a estação total com visadas conjugadas diretas e inversas, com dispositivo de centragem forçada.

- Dia 28/03/2012

Neste dia as medições da poligonal externa foram concluídas com as medições dos vértices EM4, EM5 e GT83 (Figura 38). O procedimento de medição foi o mesmo descrito no dia 21/03/2012.

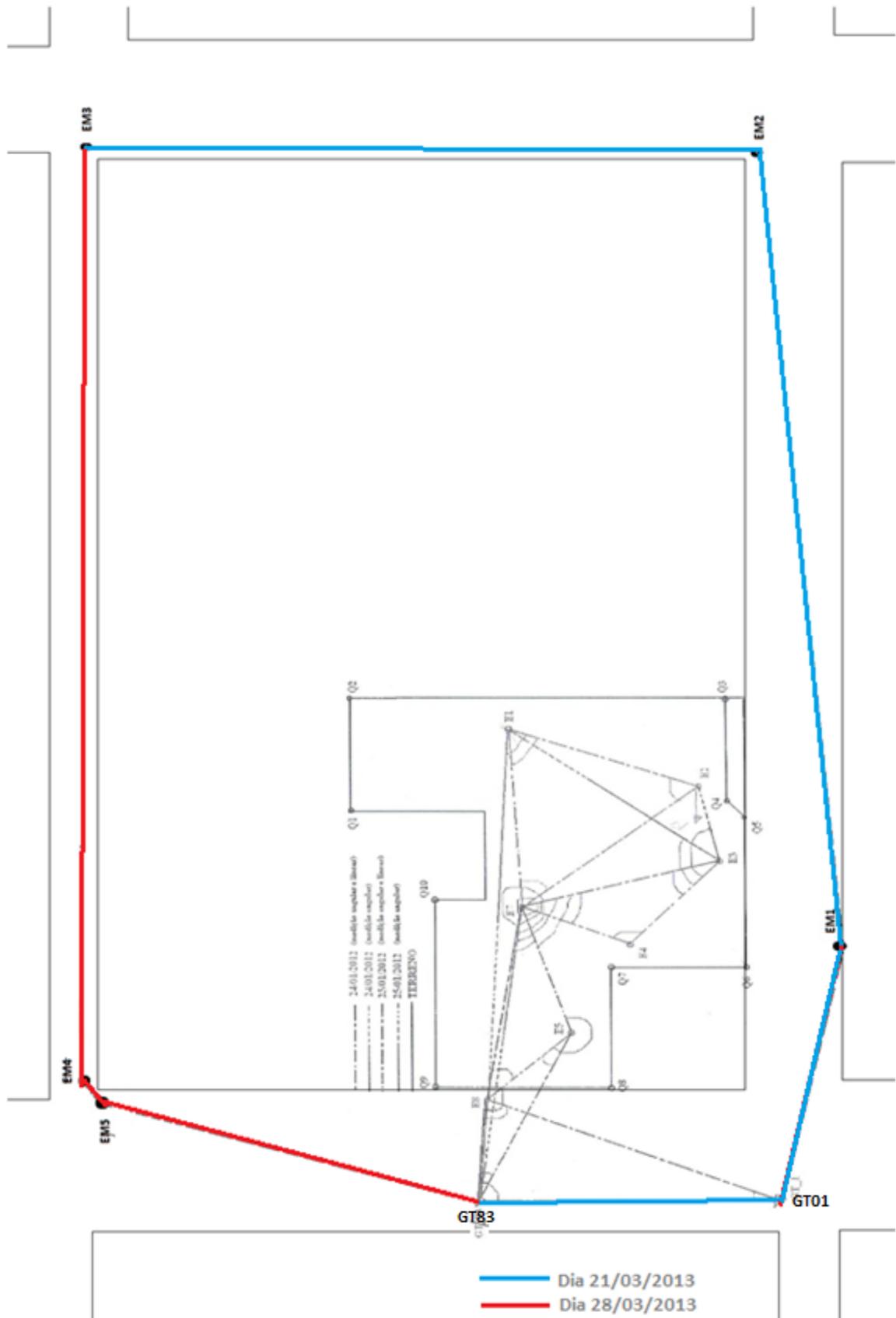


Figura 38 – Esboço da poligonal externa implantada no entorno da quadra cadastral.

- Dia 27/09/2013

Neste dia foi realizada a verificação do estado físico dos vértices implantados em março de 2012. Constatando-se que o vértice GT01 havia sido obstruído.

b) Processamento e Análise

Para o processamento dos dados do levantamento com estação total e determinação dos vértices das estruturas geodésicas implantadas foram elaboradas rotinas no *software Excel2010* para os métodos de poligonização fechada, interseção a vante e a ré (medições combinadas de direção e distância – estação livre, e medições de direção), bilateração e irradiação dupla. Para melhorar a qualidade dos dados foram também elaboradas rotinas dos Métodos dos Mínimos Quadrados (MMQ) – Modelo Paramétrico para a poligonização fechada, irradiação dupla e estação livre.

A seguir serão apresentados os resultados do processamento, nos diferentes casos de determinação de coordenadas.

- **Método de Poligonização fechada**

O método da poligonização fechada foi realizado na área externa e interna à obra.

- a) Poligonal fechada e externa à obra**

Os vértices que pertencem à estrutura externa à obra são EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT83, E8 e GT01.

Caso 1: Processamento da Poligonal Fechada pelo o método Tradicional no Sistema Topográfico Local Arbitrário (STLA) (cf. item 3.3.2)

O STLA foi definido da seguinte maneira: atribuiu-se as coordenadas $X=100,0000m$ e $Y= 100,0000m$ para o vértice EM2 e fixou-se o eixo Y do sistema dextrógiro no vértice EM2 para o vértice EM1.

A Tabela 7 apresenta as coordenadas dos vértices da poligonal calculada pelo método tradicional.

Tabela 7 – As coordenadas no STLA (SIRGAS2000).

Vértice	COORDENADAS	
	X (m)	Y (m)
EM2	100,0000	100,0000
EM3	187,5333	88,0036
EM4	200,5139	189,4417
EM5	186,3396	204,5701
GT_83	150,6924	217,6623
E8	148,5234	208,5304
GT_1	114,4607	223,0136
EM1	100,0050	176,4408

O erro de fechamento angular foi de $-4''$, o erro de fechamento linear foi de 0,03020m, com um perímetro de 420,9286m, obteve-se uma precisão relativa de 1/13938,23042. Sendo necessária a tolerância angular de $\pm 16,9701''$ e a linear de $\pm 0,0649$ m para a classificação da poligonal do tipo I. A poligonal implantada de acordo com os dados obtidos é classificada do tipo IP de acordo com NBR 13.133/1994.

As coordenadas da Tabela 7 foram ajustadas pelo MMQ modelo paramétrico a partir de um aplicativo elaborado no Excel2010. Na Tabela 8 são apresentados os desvios-padrão das coordenadas ajustadas e as diferenças entre as coordenadas ajustadas e as obtidas pelo o método tradicional (Tabela 7).

Tabelas 8 – Coordenadas dos vértices EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT83, E8 e GT01 ajustadas no STLA e seus respectivos desvios-padrão e diferenças entre as coordenadas X e Y determinadas pelos dois processamentos.

Vértice	Coordenadas ajustadas		Desvio-padrão		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	(X) (m)	(Y) (m)	X (m)	Y (m)
EM3	187,5320	88,0016	0,0071	0,0010	-0,0012	-0,0020
EM4	200,51805	189,4375	0,0075	0,0075	0,0042	-0,0042
EM5	186,3409	204,5694	0,0082	0,0084	0,0013	-0,0007
GT_83	150,6896	217,6627	0,0079	0,0084	-0,0028	0,0003
E8	148,5212	208,5308	0,0077	0,0090	-0,0022	0,0003
GT_1	114,4547	223,0158	0,0051	0,0086	-0,0060	0,0022
EM1	100,0013	176,4415	0,0028	0,0074	-0,0038	0,0006

Analisando os resultados pelo Teste da Hipótese (cf. item 4.7), sendo a variância da unidade de peso a posteriori $\hat{\sigma}^2_0 = 2,77$ e atribuindo as hipóteses básicas como $H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$, obteve-se $X^2 = 8,31$. Com o nível de significância de 5% e o grau de liberdade três, alcançou um intervalo entre 0,216 e 9,348. Portanto, com o nível de significância de 5% não se tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}^2_0$.

Caso 2: Processamento da Poligonal fechada pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) – Modelo Paramétrico.

Com as coordenadas dos vértices EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT83, E8 e GT01 (Tabela 9), que foi obtida ao vértice EM2 as coordenadas 150088,3175 no eixo X e 249997,5492 no eixo Y, e um azimute (Az_{EM2_EM3}) de $271^\circ 35' 27,30''$; foram empregados o MMQ – Modelo Paramétrico. As coordenadas ajustadas dos vértices da poligonal e seus respectivos desvios-padrão são apresentados na Tabela 10.

Tabela 9 – Coordenadas no STL

Vértice	Coordenadas ajustadas no STL	
	X (m)	Y (m)
EM2	150088,3175	249997,5492
EM3	150000,0000	250000,0000
EM4	149998,0759	249897,7528
EM5	150013,8044	249884,2476
GT83	150050,6594	249875,0910
E8	150051,8272	249884,4041
GT01	150087,2574	249873,6931
EM1	150096,5869	249921,5570

Tabelas 10 – Coordenadas ajustadas dos vértices EM3, EM4, EM5, GT83, E8, GT01 e EM1 no STL e os seus respectivos desvios-padrão.

Vértice	Coordenadas Ajustadas		Desvio-padrão	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
EM3	150000,0010	250000,0040	0,0072	0,0002
EM4	149998,0692	249897,7585	0,0076	0,0074
EM5	150013,8007	249884,2497	0,0084	0,0082
GT83	150050,6597	249875,0917	0,0080	0,0082
E8	150051,8271	249884,4047	0,0078	0,0088
GT01	150087,2612	249873,6916	0,0050	0,0087
EM1	150096,5891	249921,5566	0,0029	0,0074

A Tabela 11 apresenta os valores observados ajustados da poligonal implantada, e seus respectivos desvios-padrão extraídos da matriz variância-covariância das observações.

Tabela 11 - valores observados ajustados da poligonal (EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT83, GT01 e E8) e seus respectivos desvios-padrão.

Valores Observados	Valores mais prováveis		
D _{EM2_EM3}	88,3506m	±	0,0072
D _{EM3_EM4}	102,2638m	±	0,0074
D _{EM4_EM5}	20,7356m	±	0,0074
D _{EM5_GT_83}	37,9796m	±	0,0073
D _{EGT_83_E8}	9,3858m	±	0,0073
D _{E8_GT01}	37,0181m	±	0,0073
D _{GT_01_EM1}	48,7655m	±	0,0073
D _{EM1_EM2}	76,4415m	±	0,0074
$\alpha_1 = AZ_{EM2_EM3} - AZ_{EM2_EM1}$	97°48'15,09''	±	0,0021
$\alpha_2 = AZ_{EM3_EM4} - AZ_{EM3_EM2}$	89°29'25,01''	±	0,0021
$\alpha_3 = AZ_{EM4_EM5} - AZ_{EM4_EM3}$	129°34'13,90''	±	0,0021
$\alpha_4 = AZ_{EM5_GT_83} - AZ_{EM5_EM4}$	153°18'00,78''	±	0,0021
$\alpha_5 = AZ_{GT_83_E8} - AZ_{GT_83_EM5}$	83°11'30,12''	±	0,0021
$\alpha_6 = AZ_{E8_GT_01} - AZ_{E8_GT83}$	279°40'38,30''	±	0,0022
$\alpha_7 = AZ_{GT_01_EM1} - AZ_{GT_01_E8}$	84°12'19,71''	±	0,0021
$\alpha_8 = AZ_{EM1_EM2} - AZ_{EM1_GT_01}$	162°45'37,00''	±	0,0021
AZ _{EM2_EM3}	97°48'18,50''	±	0,0000

Analisando os resultados pelo o Teste de Hipótese sendo a variância da unidade de peso a posteriori $\hat{\sigma}^2_0 = 2,7676$ e atribuindo as hipóteses básicas como $H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$, obteve-se $X^2 = 8,3028$. Com o nível de significância 5% e o grau de liberdade três, alcançou um intervalo entre 0,216 e 9,348. Portanto, com o nível de significância de 5% não se tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}^2_0$.

As diferenças entre as coordenadas obtidas pela poligonal ajustada pelo o método tradicional e o pelo MMQ - modelo paramétrico estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Diferenças entre as coordenadas dos vértices EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT83, GT01 e E8 determinada pelo do método tradicional e o pelo MMQ-modelo paramétrico e seus respectivos desvios-padrão.

Vértice	Diferenças	
	X (m)	X (m)
EM3	0,0010	0,0040
EM4	-0,0067	0,0056
EM5	-0,0037	0,0021
GT_83	0,0003	0,0007
E8	-0,0001	0,0006
GT_1	0,0037	-0,0015
EM1	0,0023	-0,0004

Caso 3: Processamento da Poligonal fechada pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) – Modelo Paramétrico. Fonte: AstGeoTop Modelo Levantamento Planimétrico @ versão 2012.

Para o controle das coordenadas dos vértices EM3, EM4, EM5, GT83, E8, GT01 e EM1 foi empregado o *software* AstGeoTop2013. O AstGeoTop2013 forneceu as coordenadas ajustadas apresentadas na Tabela 13. Ainda na Tabela 13 encontram-se as diferenças entre as coordenadas fornecidas pelos *softwares* Excel2010 (Tabela 10) e AstGeoTop2013 ambas ajustadas pelo Método MMQ - Modelo Paramétrico.

Tabela 13 – Coordenadas ajustadas EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT83, GT01 e E8 no STL no AstGeoTop2013, desvios-padrão e suas respectivas diferenças.

Vértices	Coordenadas Ajustadas (AstGeoTopo2013)		Desvios-padrão		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EM2	150088,3160	249997,5471	0,0000	0,0000	0,0010	0,0040
EM3	150000,0000	250000,0000	0,0077	0,0002	-0,0003	0,0040
EM4	149998,0695	249897,7545	0,0078	0,0080	-0,0012	0,0043
EM5	150013,8019	249884,2454	0,0087	0,0089	-0,0016	0,0036
GT_83	150050,6613	249875,0881	0,0080	0,0088	-0,0014	0,0034
E8	150051,8285	249884,4013	0,0079	0,0096	-0,0022	0,0026
GT_1	150087,2634	249873,689	0,0035	0,0094	-0,0008	0,0021
EM1	150096,5899	249921,5545	0,0019	0,0080	0,0010	0,0040

Fonte: AstGeoTop2013.

A Figura 39 ilustra os mesmos vértices da poligonal em vista aérea utilizando-se da ferramenta disponibilizada no software AstGeoTop2013.



Figura 39 – Vértices da Poligonal implantada externa à obra no Bairro da Madalena. Fonte: Google Earth2013.

b) Poligonais Fechadas e Internas à obra

Com as coordenadas ajustadas do vértice E8 (Tabela 14) e azimute de alinhamento de E8-GT83 ($A_{ZE8_GT83}=187^{\circ}49'13,30''$) calculado a partir das coordenadas ajustadas dos vértices E8 e GT83 (Tabela 14) foram processadas as poligonais implantadas na área interna à obra.

- Processamento das Poligonais fechadas (E8, E5 e E7), (E7, E4 e E3) e (E7, E2 e E1) pelo Método Tradicional e Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) – Modelo Paramétrico.

A primeira poligonal envolveu os vértices E8, E5 e E7; a segunda os vértices E7, E4 e E3; e a terceira os vértices E7, E2 e E1. Foram realizados os processamentos das poligonais fechadas pelo método tradicional e depois pelo MMQ - Modelo Paramétrico. Na Tabela 14 estão apresentadas coordenadas dos vértices E5 e E7; E4 e E3; E2 e E1, e suas respectivas diferenças.

Tabela 14 – As coordenadas dos vértices (E5, E7, E4, E3, E2 e E1) e respectivas diferenças.

Vértice Inicial	Vértices	Coordenadas Ajustadas (MMQ - Modelo Paramétrico)		Coordenadas (Método Tradicional)		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E8	E5	150057,0612	249891,0376	150057,0573	249891,0320	0,0039	0,0056
	E7	150055,0788	249915,0190	150055,0764	249915,0176	0,0024	0,0014
E7	E4	150066,9013	249906,5881	150066,9020	249906,5879	-0,0007	0,0002
	E3	150083,2761	249914,8728	150083,2761	249914,8724	0,0000	0,0004
E7	E2	150078,8425	249930,2311	150078,8426	249930,2310	-0,0001	0,0001
	E1	150056,7299	249932,3148	150056,7300	249932,3145	-0,0001	0,0003

Nesta primeira poligonal (E8, E5 e E7) o ajustamento forneceu a variância da unidade de peso a posteriori de $\hat{\sigma}^2_0 = 1,3961$; na segunda poligonal (E7, E4 e E3) o ajustamento forneceu a variância da unidade de peso a posteriori de $\hat{\sigma}^2_0 = 0,2724$; e na terceira poligonal (E7, E2 e E1) o

ajustamento forneceu uma variância da unidade de peso a posteriori de $\hat{\sigma}^2_0 = 0,7267$. Através destas informações chegaram-se aos seguintes desvios-padrão para cada vértice calculada da poligonal. Os mesmo estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Desvios-padrão dos vértices E5 e E7; E4 e E3; E2 e E1.

Vértice	Desvios-padrão	
	X (m)	Y (m)
E5	0,0010	0,0012
E7	0,0009	0,0045
E4	0,0009	0,0006
E3	0,0020	0,0003
E2	0,0025	0,0016
E1	0,0004	0,0019

A Tabela 16 apresenta os valores observados ajustados das poligonais implantadas, e seus respectivos desvios-padrão e na Tabela 17 os valores mais prováveis para o Azimute.

Tabela 16 – Valores observados ajustados da poligonal e seus valores mais prováveis das distâncias e ângulos observados e seus respectivos desvios-padrão.

Valores Observados	Valores mais prováveis			Valores Observados	Valores mais prováveis		
		±				±	
D _{E8_E5}	8,4493m	±	0,0016	$\alpha_1 = AZ_{E8_E5} - AZ_{E8_E7}$	32°12'52,95''	±	0,0011
D _{E5_E7}	24,0632m	±	0,0036	$\alpha_2 = AZ_{E5_E7} - AZ_{E5_E8}$	136°59'48,10''	±	0,0013
D _{E7_E8}	30,7865m	±	0,0046	$\alpha_3 = AZ_{E7_E8} - AZ_{E7_E5}$	10°47'18,90''	±	0,0020
D _{E7_E4}	14,5207m	±	0,0011	$\alpha_1 = AZ_{E7_E4} - AZ_{E7_E3}$	35°11'47,64''	±	0,0006
D _{E4_E3}	18,3514m	±	0,0013	$\alpha_2 = AZ_{E4_E3} - AZ_{E4_E7}$	117°40'10,70''	±	0,0006
D _{E3_E7}	28,1977m	±	0,0020	$\alpha_3 = AZ_{E3_E7} - AZ_{E3_E4}$	27°08'01,61''	±	0,0006
D _{E7_E2}	28,2157m	±	0,0030	$\alpha_1 = AZ_{E7_E2} - AZ_{E7_E1}$	51°55'19,01''	±	0,0010
D _{E2_E1}	22,2106m	±	0,0024	$\alpha_2 = AZ_{E2_E1} - AZ_{E2_E7}$	38°00'29,22''	±	0,0010
D _{E1_E7}	17,3745m	±	0,0019	$\alpha_3 = AZ_{E1_E7} - AZ_{E1_E2}$	90°04'11,77''	±	0,0010

Tabela 17 – Valores observados dos azimutes e seus respectivos desvios-padrão.

Valores Observados	Valores mais prováveis		
AZE7_E4	125°29'36,90''	±	0,0000
AZE8_E5	38°16'39,47''	±	0,0000
AZE7_E2	57°22'30,47''	±	0,0000

Análise da poligonal pelo Teste de Hipótese (cf. 4.7) e suas classificações pela NBR 13.133/1994.

Foi realizado o Teste de Hipótese nos casos das poligonais fechadas, considerando o nível de significância de 5%, atribuindo as hipóteses básicas como $H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$ e o grau de liberdade três. Obteve-se o intervalo de confiança entre 0,216 e 9,348. Em cada caso obteve-se os seguintes resultados: para a primeira poligonal $X^2=4,198$; para a segunda poligonal $X^2=0,817$; e para a terceira poligonal $X^2=2,180$. Portanto, com o nível de significância de 5% não se tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}^2_0$ em todos os casos apresentados.

As classificações das poligonais, os erros de fechamento angular e linear, as precisões relativas podem ser vistos na Tabela 18.

Tabela 18- Classificações das poligonais internas à obra, Erros de Fechamento Angular e Linear, precisões relativas e perímetro.

Poligonal	E8_E5_E7	E7_E4_E3	E7_E2_E1
Classificação	IP (NBR 13.133/1994)	IP (NBR 13.133/1994)	IIP (NBR 13.133/1994)
Erro de fechamento angular	0°00'09,75"	-0°00'07,5"	0°00'12,75"
Erro de fechamento linear	0,0050m	0,0012m	0,0007m
Precisão Relativa	7,91312E-05	1,88353E-05	1,07938E-05
Perímetro	63,2945m	61,0697m	67,8005m

Para cada poligonal foi calculada a tolerância de fechamento angular e linear. Para a poligonal do tipo IP a tolerância angular foi $\pm 10,3923''$, na Tabela 18 as poligonais que passaram foi E8_E5_E7 e E7_E4_E3. A poligonal E7_E2_E1 ficou classificada como poligonal do tipo IIP. Na tolerância linear foi $T'_p = \pm 0,02516m$ para a poligonal E8_E5_E7; $T''_p = \pm 0,0247m$ para a poligonal E7_E4_E3; $T'''_p = \pm 0,0260m$ para a poligonal E7_E2_E1, com esses resultados da tolerância linear todas as poligonais passaram neste teste.

- **Método de Interseção a vante**

O método de Interseção a vante foi realizado para os vértices E8, E5, E7 e E2. Para o ajustamento pelo MMQ - modelo paramétrico foi considerado dois ângulos e uma distância medida. O apêndice 1 apresenta um exemplo do ajustamento com o modelo paramétrico utilizado.

Na Tabela 19 estão apresentadas as coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E2 e respectivos valores ajustados, assim com suas respectivas diferenças.

Tabela 19 – As coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E2 no STL e respectivas diferenças – caso interseção a vante.

Vértice	A partir de	Coordenadas a priori		Coordenadas ajustadas		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E8	GT83/GT01 (Tabela 10)	150051,8271	249884,4046	150051,8271	249884,4047	0,0000	0,0001
E5	GT83(Tabela 10)/E5(Tabela 14)	150057,0606	249891,0368	150057,0612	249891,0376	0,0006	0,0008
E7	E8(Tabela 10)/E5 (Tabela 14)	150055,0787	249915,0238	150055,0788	249915,0190	0,0001	-0,0048
E2	E1/E7(Tabela 14)	150078,8426	249930,2311	150078,8425	249930,2311	-0,0001	0,0000

O ajustamento forneceu uma variância de unidade de peso a posteriori de $\hat{\sigma}^2_0 = 0,1063$ para o vértice E8; $\hat{\sigma}^2_0 = 1,1454$ para E5; $\hat{\sigma}^2_0 = 1,7921$ para E7; e $\hat{\sigma}^2_0 = 0,0635$ para E2. Através destas informações chegaram-se aos seguintes desvios-padrão, que estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20– Desvios-padrão das coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E2.

Vértice	Desvios-padrão	
	X (m)	Y (m)
E8	0,0001	0,0003
E5	0,0009	0,0012
E7	0,0006	0,0041
E2	0,0003	0,0001

Análise da interseção a vante pelo Teste de Hipótese (cf. 4.7).

Realizando-se o teste de hipótese, considerando o nível de significância de 5% e atribuindo-se as hipóteses básicas como $H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$ e o grau de liberdade igual a um, obteve-se o intervalo de confiança entre 0,00 e 5,02. A Tabela 21 apresenta os resultados obtidos para a estatística do teste (χ^2).

Tabela 21– Estatística do Teste para os vértices E8, E5, E7 e E2.

Vértice	χ^2
E8	0,1063
E5	1,1454
E7	1,7921
E2	0,0635

Portanto, com o nível de significância de 5% não se tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}^2_0$ para todas as interseções a vante realizadas.

Na Tabela 22 são apresentadas as coordenadas ajustadas dos vértices E8, E5, E7 e E2 determinadas pelo método de poligonação (MMQ - Modelo

Paramétrico) (Tabela 14) e pelo método da interseção a vante (Tabela 19) e suas respectivas diferenças.

Tabela 22 – Coordenadas ajustadas obtidas pelo método de poligonação fechada e pelo método de interseção a vante e suas respectivas diferenças.

Vértice	Coordenadas a priori (Poligonação MMQ – Modelo Paramétrico)		Coordenadas ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E8	150051,8281	249884,4066	150051,8271	249884,4047	-0,0011	-0,0019
E5	150057,0752	249891,0377	150057,0612	249891,0376	0,0012	-0,0001
E7	150055,0788	249915,0134	150055,0788	249915,0190	0,0000	0,0056
E2	150078,8416	249930,2307	150078,8425	249930,2311	0,0009	0,0004

As diferenças entre as coordenadas estão na casa do milímetro (mm). Sendo a maior diferença em modulo no eixo X de 0,0012 para o vértice E5 e no eixo Y de 0,0056m para o vértice E7.

- **Método da Irradiação Dupla**

O método de irradiação dupla foi realizado para os vértices E8, E5, E7 e E2. Para o ajustamento pelo MMQ - modelo paramétrico foi considerado dois ângulos e duas distâncias medidas. O apêndice 1 apresenta um exemplo do ajustamento com o modelo paramétrico utilizado.

Na Tabela 23 estão apresentadas as coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E7 e respectivos valores ajustados, assim com suas respectivas diferenças.

Tabela 23 – As coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E2 no STL e suas respectivas diferenças – caso irradiação dupla.

Vértice	A partir de	Coordenadas a priori		Coordenadas ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E8	GT83/GT01 (Tabela 10)	150051,8310	249884,4049	150051,8310	249884,4049	0,0000	0,0000
E5	GT83 (Tabela 10)/E5 (Tabela 14)	150057,0594	249891,0369	150057,0574	249891,0325	-0,0020	-0,0044
E7	E8(Tabela 10)/E5 (Tabela 14)	150055,0788	249915,0165	150055,0787	249915,0182	-0,0001	0,0017
E2	E1/E7 (Tabela 14)	150078,8417	249930,2307	150078,8425	249930,2310	0,0008	0,0003

O ajustamento forneceu uma variância de unidade de peso a posteriori de $\hat{\sigma}^2_0=0,1668$ para o vértice E8; $\hat{\sigma}^2_0= 1,1454$ para o vértice E5; $\hat{\sigma}^2_0 = 0,8990$ para o vértice E7; e $\hat{\sigma}^2_0= 0,0392$ para o vértice E2. Através destas informações chegaram-se aos seguintes desvios-padrão, que estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24– Desvios-padrão dos Vértices E8, E5, E7 e E7 – caso irradiação dupla.

Vértices	Desvios-padrão	
	X (m)	Y (m)
E8	0,0001	0,0004
E5	0,0009	0,0013
E7	0,0004	0,0028
E2	0,0002	0,0001

Análise da irradiação dupla pelo Teste de Hipótese (cf. 4.7)

Realizando-se o teste de hipótese, considerando o nível de significância de 5% e atribuindo-se as hipóteses básicas como $H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$ e o grau de liberdade igual a dois, obteve-se o intervalo de confiança entre 0,05 e 7,38. A Tabela 25 apresenta os resultados obtidos para a estatística do teste (X^2).

Tabela 25– Estatística do teste dos Vértices E8, E5, E7 e E7 – caso irradiação dupla.

Vértices	X^2
E8	0,3336
E5	2,2908
E7	1,7980
E2	0,0784

Portanto, com o nível de significância de 5% não se tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}^2_0$ para todas as irradiações duplas realizadas.

Na Tabela 26 são apresentadas as coordenadas ajustadas dos vértices E8, E5, E7 e E2 determinadas pelo método de poligonização (MMQ – Modelo Paramétrico) (Tabela 14) e pelo método da irradiação dupla e suas respectivas diferenças.

Tabela 26 – Coordenadas ajustadas obtidas pelo método de poligonização fechada e pelo método da irradiação dupla e suas respectivas diferenças.

Vértice	Coordenadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Coordenadas ajustadas (Poligonização MMQ – Modelo Paramétrico)		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E8	150051,8310	249884,4049	150051,8271	249884,4047	-0,0039	-0,0002
E5	150057,0574	249891,0325	150057,0612	249891,0376	0,0038	0,0051
E7	150055,0787	249915,0182	150055,0788	249915,0190	0,0001	-0,0008
E2	150078,8425	249930,2310	150078,8425	249930,2311	0,0000	0,0001

Nota-se que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no eixo X de 0,0039m para o vértice E8 e no eixo Y de 0,0051m para o vértice E5.

- **Método da Bilateração**

O método da bilateração foi empregado para determinar as coordenadas dos vértices E2 e E5.

Na tabela 27 estão apresentadas as coordenadas dos vértices E2 e E5 determinados pelo método de bilateração sem ajustamento e a comparação destas com as coordenadas dos vértices E2 e E5 obtidos pelo método de poligonização com ajustamento (Tabela 27).

Tabela 27 – Coordenadas dos vértices E2 e E5 obtidos pelo método da bilateração sem ajustamento e pelo método de poligonização com ajustamento e respectivas diferenças.

A partir de	Vértice	Coordenadas a priori		Coordenadas ajustadas (Poligonal MMQ – Modelo Paramétrico)		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E1/E7 (Tabela 14)	E2	150078,8425	249930,2311	150078,8425	249930,2311	0,0000	0,0006
GT83 (Tabela 10)/E5 (Tabela 14)	E5	150057,0612	249891,0376	150057,0612	249891,0376	-0,0094	-0,0019

Nota-se que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no eixo X de 0,0094m e no eixo Y de 0,0019m para o vértice E5.

- **Método da Estação Livre**

O método da estação livre foi empregado para determinar as coordenadas dos vértices E8, E7, E2, E3 e E4. Para o ajustamento pelo MMQ - Modelo Paramétrico foi considerado dois ângulos e duas distâncias medidos. O Apêndice I apresenta um exemplo do ajustamento com o modelo paramétrico utilizado.

Na Tabela 28 estão apresentadas as coordenadas dos vértices E8, E7, E2 e E4 e respectivos valores ajustados, assim como suas respectivas diferenças.

Tabela 28 – Coordenadas dos vértices E8, E7, E2 e E4 no STL e suas respectivas diferenças.

Vértice	A partir de	Coordenadas a priori		Coordenadas ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E8	GT83/GT01(Tabela 10)	150051,8273	249884,4063	150051,8275	249884,4057	0,0002	0,0006
E7	E8(Tabela 10)/E5(Tabela 14)	150055,0939	249915,0268	150055,0962	249915,0234	0,0023	-0,0034
E2	E1/E7(Tabela 14)	150078,8426	249930,2324	150078,8426	249930,2324	0,0000	0,0000
E4	E7/E3(Tabela 14)	150066,9004	249906,5883	150066,9011	249906,5882	0,0006	-0,0001

O ajustamento forneceu uma variância de unidade de peso a posteriori de $\hat{\sigma}^2_0=1,8257$ para o vértice E8; $\hat{\sigma}^2_0= 1,1906$ para o vértice E7; $\hat{\sigma}^2_0 = 0,0009$ para o vértice E2; e $\hat{\sigma}^2_0= 0,0294$ para o vértice. Através destas informações chegaram-se aos seguintes desvios-padrão, que estão apresentados na Tabela 29.

Tabela 29– Desvios-padrão dos Vértices E8, E7, E2 e E4 - caso estação livre.

Vértices	Desvios-padrão	
	X (m)	Y (m)
E8	0,0026	0,0065
E7	0,0041	0,0039
E2	0,0001	0,0002
E4	0,0007	0,0001

Análise da estação livre pelo Teste de Hipótese (cf. 4.7)

Realizando-se o teste de hipótese, considerando o nível de significância de 5% e atribuindo-se as hipóteses básicas como $H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$ e o grau de liberdade igual a dois, obteve-se o intervalo de confiança entre 0,05 e 7,38. A Tabela 31 apresenta os resultados obtidos para a estatística do teste (X^2).

Tabela 31– Estatística do teste dos Vértices E8, E5, E7 e E7 – caso estação livre.

Vértice	X^2
E8	1,8257
E5	0,0294
E7	1,1906
E2	0,0009

Portanto, com o nível de significância de 5% não se tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}^2_0$ para todas as estações livres realizadas.

Na Tabela 32 são apresentadas as coordenadas ajustadas dos vértices E8, E7, E2, E3 e E4 pelo método de poligonal (MMQ – Modelo Paramétrico) (Tabela 14) e pelo método da estação livre e suas respectivas diferenças.

Tabela 32 – Coordenadas ajustadas obtidas pela poligonação fechada e pelo método estação livre e suas respectivas diferenças.

Vértice	Coordenadas ajustadas (Poligonal MMQ – Modelo Paramétrico)		Coordenadas ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E8	150051,8271	249884,4047	150051,8275	249884,4057	-0,0004	-0,0009
E7	150055,0788	249915,0190	150055,0962	249915,0234	-0,0174	-0,0044
E2	150078,8425	249930,2311	150078,8426	249930,2324	-0,0001	-0,0013
E4	150066,9013	249906,5881	150066,9011	249906,5882	0,0002	-0,0001

Nota-se que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no eixo X de 0,0174m e no eixo Y de 0,0044m para o vértice E7.

Em alguns casos o método da estação livre não foi possível realizar o ajustamento. A Tabela 33 apresenta as coordenadas dos vértices E7 e E3 obtidas sem o ajustamento.

Tabela 33 – Coordenadas dos vértices E3 e E7 no STL e suas respectivas diferenças

Vértice	A partir de	Coordenadas Ajustadas (Poligonação MMQ – Modelo Paramétrico)		Coordenadas a priori		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
E7	E5(Tabela 14/GT83(Tabela 10)	150055,0788	249915,0190	150055,0875	249915,0227	-0,0087	-0,0037
E3	E1/E7(Tabela 14)	150083,2761	249914,8728	150083,2764	249914,8646	-0,0003	0,0082
E3	E7/E2(Tabela 14)	150083,2761	249914,8728	150083,2765	249914,8721	-0,0003	0,0007

- **Interseção a Ré por meio de medições angulares (cf. item 4.3.2.2)**

Na Tabela 34 estão apresentadas as coordenadas dos vértices E7 e E3 pelo método de interseção a ré e suas respectivas diferenças quando comparadas com as coordenadas obtidas pelo método da poligonação. Neste caso não houve ajustamento pelo MMQ - modelo Paramétrico, pois foram observados apenas os elementos mínimos necessários para a realização do método.

Tabela 34 – Coordenadas dos vértices E7 e E3 no STL e suas respectivas diferenças.

Vértice	Coordenadas Ajustadas (Poligonação MMQ – Modelo Paramétrico)		Coordenadas a priori (interseção a ré)		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E7	150055,0788	249915,0190	150055,0976	249914,9953	-0,0188	0,0237
E3	150083,2761	249914,8728	150083,2713	249914,8550	0,0049	0,0178

Nota-se que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no eixo X de 0,0188m para o vértice E7 e no eixo Y de 0,0237m para o vértice E7.

5.3.2. Área de estudo 2 - Campus Recife – UFPE

Nesta área foram realizados experimentos envolvendo tanto levantamento quanto locação. Para a densificação da RRCM da UFPE foram coletados dados com estação total e aplicados os métodos da poligonação fechada com centragem forçada e interseção a ré. Para a locação foram definidos centros de pilares fictícios representados por vértices de um polígono (A, B, C e D) em forma de um retângulo inseridos dentro da área da poligonal levantada com a utilização do *software autoCAD2013*. Estes vértices foram locados com o emprego de uma estação total, receptores GNSS (L1 e L2), fio a “nylon” e fio a prumo e controlados com estação total.

5.3.2.1. Aplicação do Sistema Topográfico Local da Rede de Referência Cadastral – UFPE

O sistema Topográfico Local foi definido em (MENDONÇA et al., 2010, VILAR FLOR, 2010) pelos vértices EPS01, EPS02, EPS03, EPS04, EPS05, EPS06 e EPS07. A Tabela 35 apresenta as coordenadas geodésicas (ϕ, λ) e UTM (E, N) (SIRGAS2000) e as coordenadas plano-retangulares no STL dos vértices EPS04 e EPS07. Segundo Mendonça et al. (2010), o STL da RRCM da UFPE tem sua origem na posição horizontal da estação RBMC-RECF e a posição vertical do plano topocêntrico com as médias das altitudes dos vértices EPS01, EPS02, EPS03, EPS04, EPS05, EPS06 e EPS07. Os mesmos autores descrevem que o Sistema Topocêntrico tem como origem as coordenadas geodésicas à estação RBMC-RECF apresentadas na Tabela 36.

Tabela 35 – Coordenadas dos Vértices ESP04 e EPS07.

Vértices	Coordenadas Geodésicas		Altitude Elipsoidal M	Projeção UTM (F=25 MC=33° Wgr.)		Coord.Topocêntricas	
	ϕ (Sul)	λ (Oeste)		E (m)	N (m)	X (m)	Y (m)
EPS04	8°03'05,84148"	34°57'11,62465"	4,892	284742,576	9109481,118	149811,215	249927,136
EPS07	8°03'08,21201"	34°57'14,65599"	4,637	284650,091	9109407,837	149718,398	249854,310

Fonte: VILA FLOR (2008).

Tabela 36 – Coordenadas do Vértice RBMC-RECF.

Vértices	Coordenadas Geodésicas		Altitude Elipsoidal m
	ϕ (Sul)	λ (Oeste)	
RECF	8 03'03,46970''	34 57'05,45910"	4,217

Fonte: MENDONÇA et al. 2010.

A Figura 40 ilustra os vértices EPS07 e EPS04 localizados próximos da Área de dos experimentos realizados.

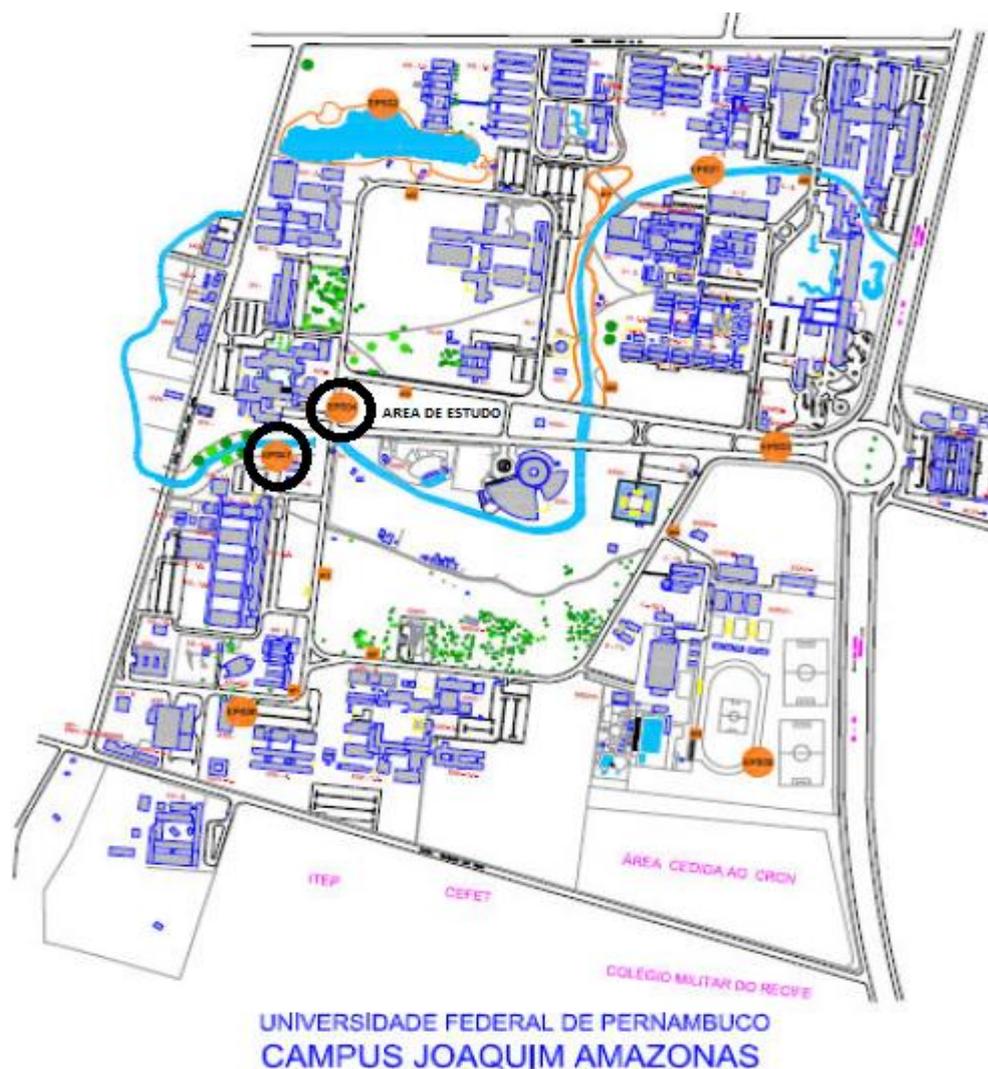


Figura 40 – Rede de Referência Cadastral UFPE Campus Recife. Fonte: MENDONÇA et al. (2010).

5.3.2.2. Medição, Processamento e Análise dos Resultados dos pontos de Referência com Estação Total

As medições na Área de Estudo 2 foram realizadas nos dias 26/12/2013 e 09/01/2014.

a) Medição

- Dia 26/12/2013

No dia 26 de dezembro de 2013 as medições foram realizadas com uma equipe de três (3) pessoas e uma duração de quatro (4) horas. Nesta área foi implantada uma poligonal fechada com centragem forçada. Foram

realizadas medidas angulares e lineares nos vértices EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1 na posição direta e inversa da luneta, com duas repetições. O azimute inicial foi determinado a partir de observações realizadas no vértice EPS04 para o vértice EPS07. A poligonal implantada iniciou-se no vértice EPS04, e em seguida realizou-se um caminhamento no sentido horário envolvendo os vértices L1, L2, L3, P2 e P1. Para determinar o azimute inicial foram utilizadas as coordenadas no STL dos vértices EPS04 e EPS07 (Tabela 35).

A Figura 41 ilustra a centragem realizada no vértice EPS07, o nivelamento da base com uma estação total e a fixação do prisma neste vértice para medição do alinhamento EPS04 para EPS07 e a orientação da poligonal. A Figura 41 mostra o prisma instalado no vértice L1.



Figura 41– Vértice EPS07 e instalação do prisma no vértice L1. Foto: Dezembro de 2013.

A Figura 42 ilustra um esboço da configuração geométrica dos vértices da poligonal implantada.

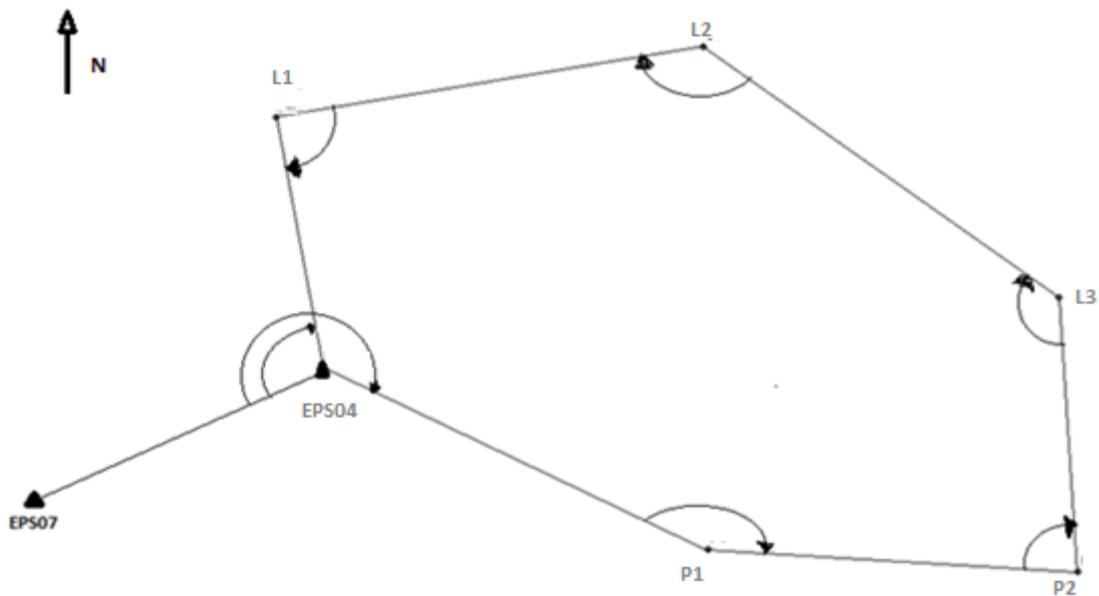


Figura 42 – Vértices EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1.

- Dia 09/01/2014

No dia 09 de janeiro de 2014, instalou-se a estação total no vértice EPS04 e o prisma foi colocado em todos os outros vértices (L1, L2, L3, P2 e P1) utilizando centragem forçada, com o objetivo de determinar o vértice EPS04 por diferentes métodos de interseção a ré: por meio de medições combinadas da direção e distância, por meio de medições de distância e por meio de medições de direção. As medições (Hz, V, D) foram realizadas nas duas posições da luneta (Direta e Inversa) duas vezes.

A Figura 43 ilustra um esboço da configuração geométrica dos vértices da poligonal implantada e as observações realizadas no vértice EPS04 para os demais vértices (L1, L2, L3, P2 e P1) para a realização dos métodos de interseção a ré.

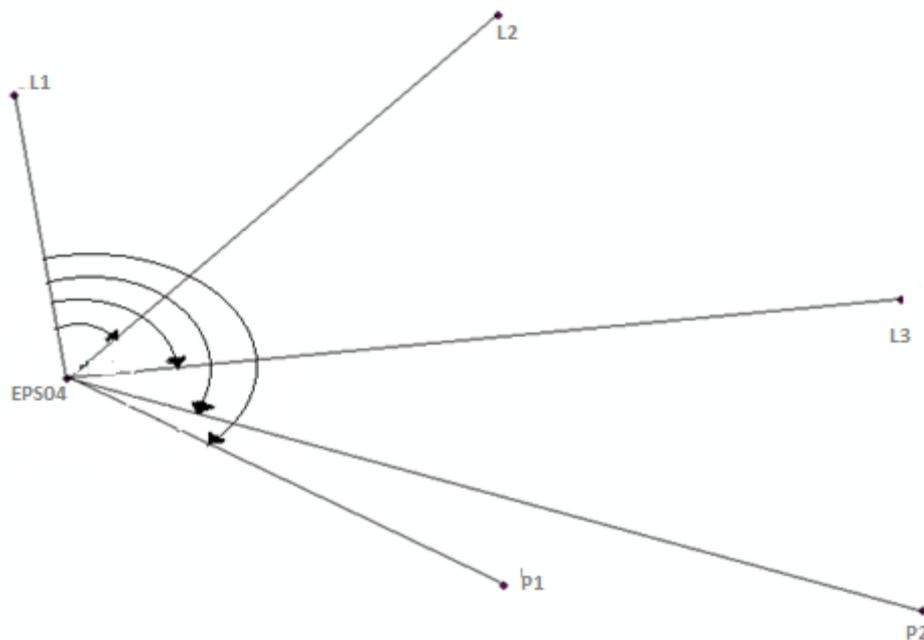


Figura 43 – Método de interseção a ré no vértice EPS04 e visualização dos vértices L1, L2, L3, P2 e P1.

b) Processamento e análise

As coordenadas dos vértices L1, L2, L3, P2 e P1 no STL foram determinadas a partir dos vértices EPS04 e EPS07 (Tabela 35).

- **Poligonação com centragem forçada**

As coordenadas dos vértices L1, L2, L3, P2 e P1 foram processadas pelo método tradicional (cf. item 4.3.2.1) e pelo MMQ - modelo Paramétrico.

Caso 1: Processamento da Poligonal Fechada no STL pelo método tradicional (cf. item 4.3.2.1)

A Tabela 37 apresenta as coordenadas dos vértices da poligonal calculada pelo método tradicional considerando o vértice EPS04 como inicial e azimute do vértice EPS04 para o vértice EPS07.

Tabelas 37 – Coordenadas dos vértices EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1 no STL (SIRGAS2000).

Vértice	Coordenadas Ajustadas (Método Tradicional)	
	X (m)	Y (m)
EPS04	149811,215	249927,136
L1	149804,716	249962,384
L2	149864,392	249972,294
L3	149913,920	249936,822
P2	149916,644	249898,125
P1	149865,036	249901,265

O erro de fechamento angular foi de $-8,25''$, o erro de fechamento linear foi de $0,0051\text{m}$, com um perímetro de $307,4670\text{m}$, obtendo-se uma precisão relativa de $1/61642,3337$. Sendo necessária a tolerância angular de $\pm 14,96041''$ e a linear de $\pm 0,0554\text{m}$ para a classificação a poligonal do tipo I. A poligonal implantada de acordo com os dados obtidos é classificada como do tipo IP de acordo com NBR 13.133/1994.

Caso 2: Processamento da Poligonal Fechada pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) – Modelo Paramétrico.

Com as coordenadas dos vértices EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1 (Tabela 37) foi empregado MMQ - modelo paramétrico. As coordenadas ajustadas dos vértices da poligonal são apresentadas na Tabela 38.

Tabelas 38 – Coordenadas ajustadas dos vértices L1, L2, L3, P2 e P1 no STL e seus respectivos desvios-padrão.

Vértice	Coordenadas Ajustadas (MMQ - Paramétrico)		Desvios-padrão	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
L1	149804,717	249962,383	0,000	0,002
L2	149864,392	249972,293	0,002	0,002
L3	149913,920	249936,822	0,002	0,002
P2	149916,645	249898,124	0,002	0,001
P1	149865,036	249901,265	0,002	0,001

A Tabela 39 apresenta os valores observados ajustados da poligonal implantada, e seus respectivos desvios-padrão.

Tabela 39 - Valores observados ajustados da poligonal (EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1) e seus respectivos desvios-padrão.

Valores Observados	Valores mais prováveis		
DEPS04_L1	35,841m	±	0,002
D _{L1_L2}	60,492m	±	0,002
D _{L2_L3}	60,920m	±	0,002
D _{L3_P2}	38,793m	±	0,002
D _{P2_P1}	51,704m	±	0,002
D _{P1_EPS04}	59,716m	±	0,002
AZ _{EPS04_L1}	349°33'14,90''	±	0,000
$\alpha_1 = AZ_{EPS04_L1} - AZ_{EPS04_P1}$	233°52'52,20''	±	0,001
$\alpha_2 = AZ_{L1L2} - AZ_{L1_EPS04}$	271°01'01,26''	±	0,001
$\alpha_3 = AZ_{L2_L3} - AZ_{L2_L1}$	225°02'18,92''	±	0,001
$\alpha_4 = AZ_{L3_P2} - AZ_{L3_L2}$	230°21'44,20''	±	0,001
$\alpha_5 = AZ_{P2_P1} - AZ_{P2_L3}$	277°30'37,70''	±	0,001
$\alpha_6 = AZ_{P1_EPS04} - AZ_{P1_P2}$	202°11'25,60''	±	0,001

Analisando os resultados pelo o Teste de Hipótese da unidade de peso a posterior $\hat{\sigma}^2_0 = 0,2571$ e atribuindo as hipóteses básicas como $H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$, obteve-se $X^2 = 0,7713$, com o nível de significância 5% e grau de

liberdade igual a três. Obteve-se um intervalo de confiança compreendido entre 0,216 e 9,348. Portanto, com o nível de significância de 5% não se tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}^2_0$.

As diferenças entre as coordenadas dos vértices L1, L2, L3, P2 e P1 obtidas pelo método tradicional e pelo MMQ - modelo paramétrico estão apresentadas na Tabela 40.

Tabela 40 – Diferenças entre as coordenadas dos vértices (EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1) pelo método tradicional e pelo método MMQ - modelo paramétrico.

Vértice	Diferenças	
	X (m)	X (m)
L1	0,0006	-0,0006
L2	0,0000	-0,0010
L3	0,0002	-0,0004
P2	0,0007	-0,0004
P1	0,0001	-0,0001

Na Figura 44 está ilustrada em vista aérea a geometria da estrutura geodésica implantada na Área de Estudo 2.

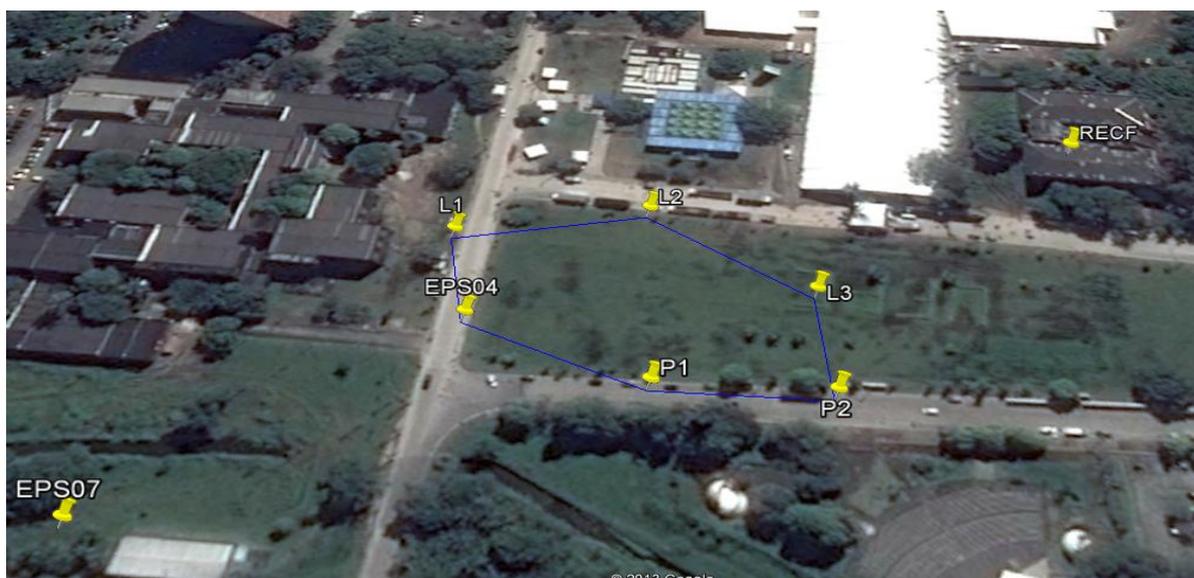


Figura 44 – Vértices (L1, L2, L3, P2 e P1) da poligonal implantada. Fonte: AstGeoTop2013 & Google Earth2013.

Com as coordenadas (L1, L2, L3, P2 e P1) ajustadas no Sistema Topográfico Local foi realizada a transformação para o sistema geodésico Brasileiro e Sistema UTM SIRGAS2000 (Tabela 41) através do *software* AstGeoTop2013.

Tabela 41 – Coordenadas Geodésicas (ϕ, λ) e Plano-retangulares UTM (SIRGAS2000) dos vértices L1, L2, L3, P2 e P1.

Vértice	ϕ	λ	E (m)	N (m)
L1	- 8°03'04,69415"	-34°57'11,83679"	284735,911	9109516,340
L2	- 8°03'04,37170"	-34°57'09,88780"	284795,550	9109526,532
L3	- 8°03'05,52641"	-34°57'08,27036"	284845,252	9109491,289
P2	- 8°03'06,78609"	-34°57'08,18145"	284848,160	9109452,597
P1	- 8°03'06,68374"	-34°57'09,86695"	284796,528	9109455,495

Fonte: AstGeoTop2013.

Caso 3: Processamento da Poligonal Fechada pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) – Modelo Paramétrico. Fonte: AstGeoTop - Modelo Levantamento Planimétrico @ versão 2012.

Para o controle das coordenadas dos vértices L1, L2, L3, P2 e P1 foi empregado o *software* AstGeoTop2013. O AstGeoTop2013 forneceu as coordenadas ajustadas apresentadas na Tabela 17. Ainda na Tabela 17 encontram-se as diferenças entre as coordenadas fornecidas pelos *softwares* Excel2010 (Tabela 38) e AstGeoTop2013 (Tabela 42) ambas ajustadas pelo Método MMQ - Modelo Paramétrico.

Tabela 42 – As coordenadas ajustadas L1, L2, L3, P2 e P1 no STL no AstGeoTop2013, desvios-padrão e suas respectivas diferenças.

Vértice	Coordenadas Ajustadas		Desvios-padrão		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
L1	149804,720	249962,383	0,000	0,004	-0,003	0,001
L2	149864,396	249972,289	0,004	0,003	-0,005	0,005
L3	149913,921	249936,815	0,004	0,003	-0,002	0,007
P2	149916,644	249898,117	0,004	0,002	0,000	0,008
P1	149865,035	249901,261	0,003	0,002	0,001	0,004

- **Interseção a ré por meio de medições combinadas de direções e distâncias**

O método de interseção a ré por meio de medições combinadas de direções e distâncias foi empregado em diversos casos que serão apresentados a seguir.

Caso 1: Determinação do vértice EPS04 a partir dos vértices L1 e L2 (uma distância e duas direções).

Neste experimento foi realizado o método da estação livre empregando uma distância e duas direções medidas do vértice EPS04 para os vértices L1 e L2 (Figura 45). Foram realizadas observações angulares e lineares em duas posições da luneta com duas repetições.

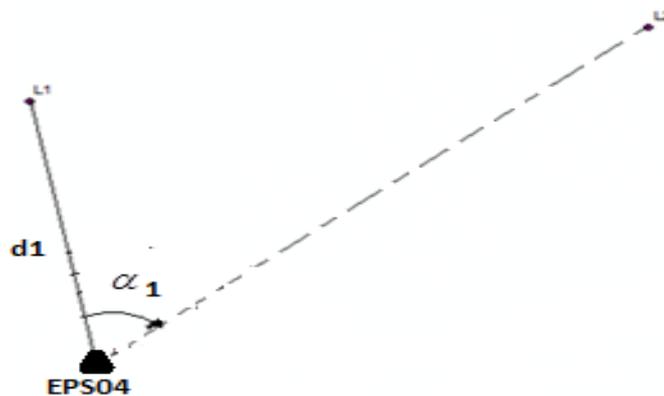


Figura 45 – Vértice EPS04 visando L1 e L2 (uma distância e um ângulo).

A Tabela 43 apresenta as coordenadas determinadas do vértice EPS04.

Tabela 43 – As coordenadas do vértice EPS04 - caso 1 (uma distância e duas direções).

Vértice	Estação Livre	
	X (m)	Y (m)
EPS04	149811,2133	249927,1369

Neste experimento não foi possível empregar o MMQ – modelo paramétrico, pois as observações realizadas representam a quantidade mínima para a realização do método.

Caso 2: Determinação do vértice EPS04 a partir dos vértices L1 e L2 (duas distâncias e duas direções).

No segundo caso foi realizado o método da estação Livre empregando duas distâncias e duas direções medidas do vértice EPS04 para os vértices L1 e L2 (Figura 46).

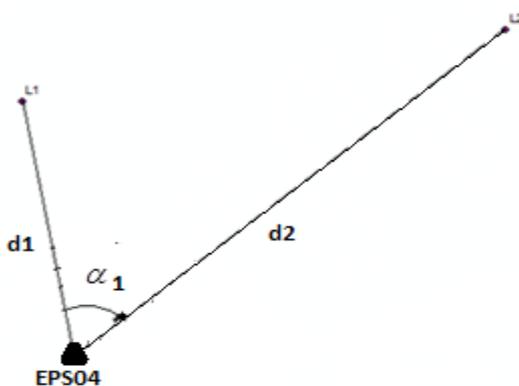


Figura 46 – Vértice EPS04 visando L1 e L2 (duas distâncias e um ângulo).

A Tabela 44 apresenta as coordenadas determinadas do vértice EPS04 pelo método da Estação Livre a priori e pelo MMQ – Modelo Paramétrico, os respectivos desvios-padrão e suas respectivas diferenças. Neste experimento foi possível empregar o MMQ – Modelo Paramétrico. O apêndice 1 apresenta um exemplo do ajustamento com o modelo paramétrico utilizado.

Tabela 44 – As coordenadas do vértice EPS04, desvios-padrão e suas respectivas diferenças – caso 2 (duas distâncias e duas direções).

Vértice	Coordenadas a priori		Coordenadas Ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Desvios-padrão		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EPS04	149811,213	249927,137	149811,213	249927,137	0,002	0,002	-0,000	0,000

Caso 3: Determinação do vértice EPS04 a partir dos vértices L1, L2 e L3 (três distâncias e três direções).

No terceiro caso foi realizado o método da estação livre empregando três distâncias e três direções medidas do vértice EPS04 para os vértices L1, L2 e L3 (Figura 47).

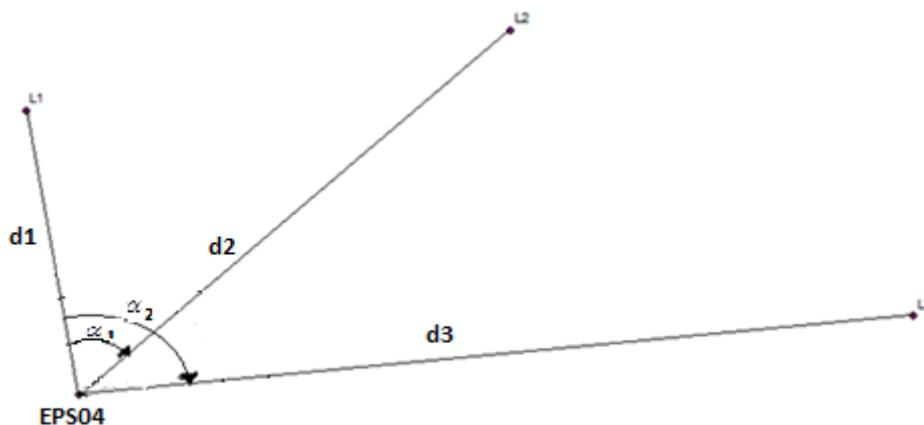


Figura 47 – Vértice EPS04 visando L1, L2 e L3 (três distâncias e dois ângulos).

A Tabela 45 apresenta as coordenadas determinadas do vértice EPS04 pelo método da Estação Livre a priori e pelo MMQ – Modelo Paramétrico, os respectivos desvios-padrão e suas respectivas diferenças. Neste experimento foi possível empregar o MMQ – Modelo Paramétrico. O apêndice 1 apresenta um exemplo do ajustamento com o modelo paramétrico utilizado.

Tabela 45 – As Coordenadas do vértice EPS04 no STL, desvios-padrão e suas respectivas diferenças - caso 3 (três distâncias e dois ângulos)

Vértice	Coordenadas a priori		Coordenadas Ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Desvios-padrão		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EPS04	149811,21	249927,137	149811,215	249927,135	0,000	0,001	-0,001	0,001

Caso 4: Determinação do vértice EPS04 a partir dos vértices L1, L2 e L3 (uma distância e três direções).

No quarto caso foi realizado o método da estação livre empregando uma distância e três direções medidas do vértice EPS04 para os vértices L1, L2 e L3 (Figura 48).

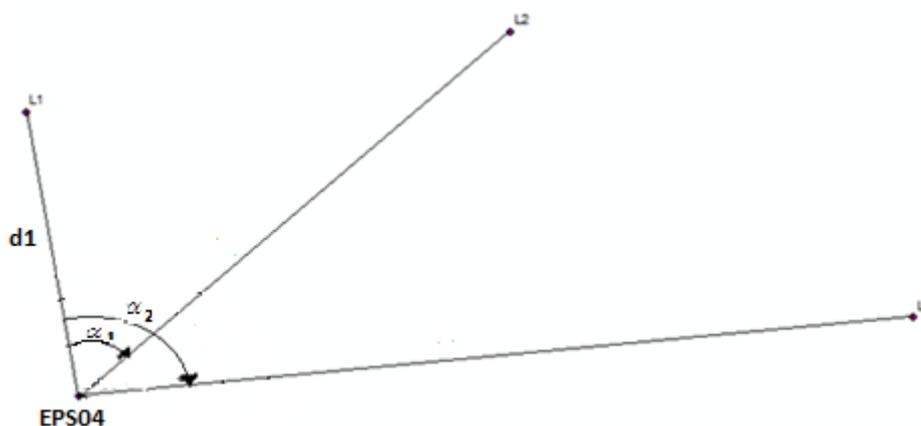


Figura 48 – Vértice EPS04 visando L1, L2 e L3 (uma distância e dois ângulos).

Na Tabela 46 apresenta as coordenadas determinadas do vértice EPS04 pelo método da Estação Livre a priori e pelo MMQ – Modelo Paramétrico, os respectivos desvios-padrão e suas respectivas diferenças. Neste experimento foi possível empregar o MMQ – Modelo Paramétrico. O apêndice 1 apresenta um exemplo do ajustamento com o modelo paramétrico utilizado.

Tabela 46 – As coordenadas do vértice EPS04 no STL, desvios-padrão e suas respectivas diferenças - caso 4 (uma distância e três direções).

Vértice	Coordenadas a priori		Coordenadas Ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Desvios-padrão		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EPS04	149811,213	249927,137	149811,216	249927,134	0,001	0,001	0,003	-0,003

Analisando os resultados pelo Teste de Hipótese da unidade de peso a posteriori e para o segundo caso $\hat{\sigma}^2_0 = 0,2221$; terceiro caso $\hat{\sigma}^2_0 = 0,1593$; e para o quarto caso $\hat{\sigma}^2_0 = 0,0092$; e atribuindo as hipóteses básicas como H_0 :

$\sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$, obteve-se para o segundo caso $X^2=0,2221$; para o terceiro caso $X^2=0,4779$; e para o quarto caso $X^2=0,0092$. Com o nível de significância 5% aplicado em todos os casos, obteve-se um intervalo de confiança entre: 0,216 e 9,348 para o terceiro caso, com grau de liberdade de 3; e 0,00 e 5,02 para o segundo e quarto caso com o grau de liberdade de 1. Portanto, com o nível de significância de 5% não se tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}^2_0$.

Na Tabela 47 apresenta as diferenças obtidas quando compara EPS04 obtido por uma distância e duas direções com os demais.

Tabela 47 – A diferenças das coordenadas do vértice EPS04 por meio de medições combinadas de direções e distâncias

Vértice	Interseção a ré por meio de medições de combinadas de direções e distâncias	Diferenças	
		ΔX	ΔY
EPS04	Duas distâncias e duas direções (caso 2)	0,000	0,000
	Três distâncias e três direções (caso 3)	0,003	0,000
	Uma distância e três direções (caso 4)	0,000	0,000

Comparando os resultados obtidos pelo método de interseção a ré por meio de medições combinadas de direções e distâncias, nota-se que as diferenças entre as coordenadas depois que elas foram ajustadas possuem maiores valores em módulo, quando comparadas com o caso 1 (uma distância e dois ângulos), obtendo-se o valor de 0,003m no eixo X e de 0,000 no eixo Y.

- **Interseção a ré por meio de medições de distância**

O método de interseção a ré por meio de medições de distância foi empregado em diversos casos que serão apresentados abaixo.

Caso 1: Determinação do vértice EPS04 a partir de L1 e L2 (duas distâncias).

No primeiro caso foi realizado o método de interseção a ré empregando duas distâncias medidas do vértice EPS04 para os vértices L1 e L2 (Figura 49).

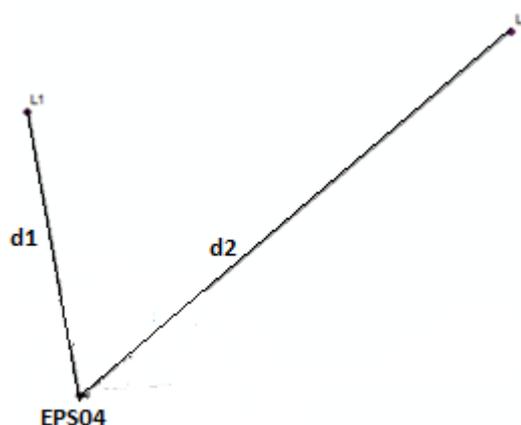


Figura 49 – Vértice EPS04 visando L1 e L2 (duas distâncias).

A Tabela 48 apresenta as coordenadas determinadas do vértice EPS04 pelo método de interseção a ré a priori

Tabela 48 – As coordenadas do vértice EPS04 no STL - caso 1 (duas distâncias).

Vértice	Coordenadas a priori	
	X (m)	Y (m)
EPS04	149811,2124	249927,138

Caso 2: Determinação do vértice EPS04 a partir de L1, L2 e L3 (três distâncias).

No segundo caso foi realizado o método de interseção a ré empregando três distâncias medidas do vértice EPS04 para os vértices L1, L2 e L3 (Figura 50).

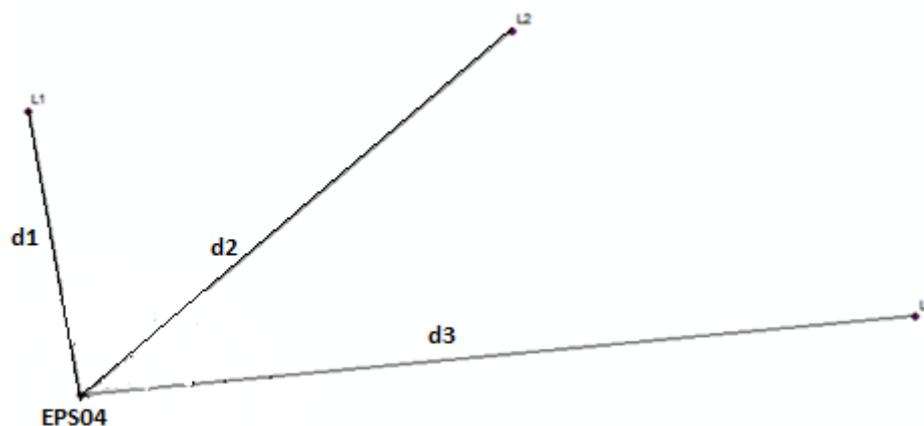


Figura 50 – Vértice EPS04 visando L1, L2 e L3 (três distâncias).

A Tabela 49 apresenta as coordenadas determinadas do vértice EPS04 pelo método de interseção a ré a priori e pelo MMQ – Modelo Paramétrico, os respectivos desvios-padrão e suas respectivas diferenças. Neste experimento foi possível empregar o MMQ – Modelo Paramétrico. O apêndice 1 apresenta um exemplo do ajustamento com o modelo paramétrico utilizado.

Tabela 49 – As coordenadas do vértice EPS04 no STL, desvios-padrão e suas respectivas diferenças - caso 2 (três distâncias).

Vértice	Coordenadas a priori		Coordenadas Ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Desvios-padrão		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EPS04	149811,211	249927,137	149811,214	249927,136	0,002	0,003	-0,002	-0,001

Caso 3: Determinação do vértice EPS04 a partir dos vértices L1, L2, L3, P2 e P1 (cinco distâncias).

No terceiro caso foi realizado o método de interseção empregando cinco distâncias medidas do vértice EPS04 para os vértices L1, L2, L3, P2 e P1 (Figura 51).

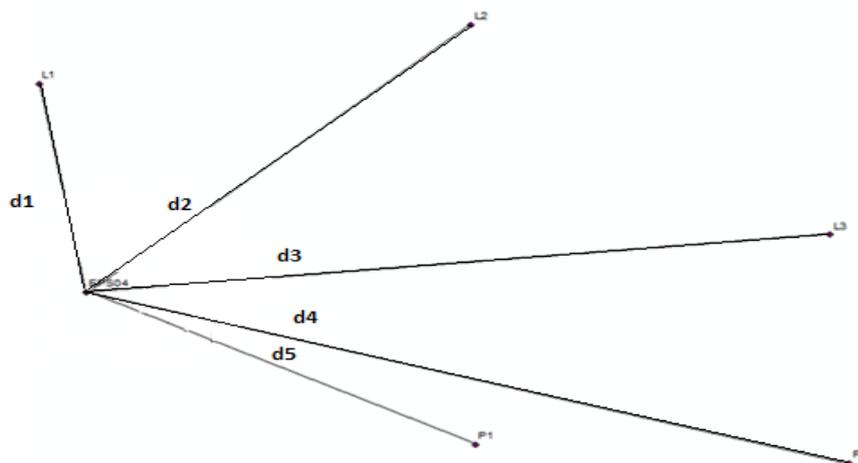


Figura 51 – Vértice EPS04 visando L1, L2, L3, P2 e P1 (cinco distâncias).

A Tabela 50 apresenta as coordenadas determinadas do vértice EPS04 pelo método da interseção a ré a priori e pelo MMQ – Modelo Paramétrico, os respectivos desvios-padrão e suas respectivas diferenças. Neste experimento foi possível empregar o MMQ – Modelo Paramétrico. O apêndice 1 apresenta um exemplo do ajustamento com o modelo paramétrico utilizado.

Tabela 50 – As coordenadas do vértice EPS04 no STL, desvios-padrão e suas respectivas diferenças - caso 3 (cinco direções).

Vértice	Coordenadas a priori		Coordenadas Ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Desvios-padrão		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EPS04	149811,211	249927,137	149811,214	249927,136	0,001	0,002	-0,002	0,001

Analisando os resultados pelo Teste de hipótese a unidade de peso a posteriori para o segundo caso $\hat{\sigma}^2_0 = 0,3287$; e terceiro caso $\hat{\sigma}^2_0 = 0,1636$, e atribuindo as hipóteses básicas como $H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$, obteve-se para o segundo caso $X^{*2} = 0,3287$; e para o terceiro caso $X^{*2} = 0,4908$, com o nível de significância 5%. Obteve-se um intervalo de confiança entre: 0,216 e

9,348 para o segundo caso com o grau de liberdade igual a três; e 0,00 e 5,02 para o primeiro com o grau de liberdade igual a um. Portanto, com o nível de significância de 5% não se tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}_0^2$.

Na Tabela 51 apresenta as diferenças obtidas quando compara EPS04 obtido por duas distâncias com os demais.

Tabela 51 – A diferenças do vértice das coordenadas do vértice EPS04 por meio de medições distância e direção.

Vértice	Interseção a ré por meio de medições de distância	Diferenças	
		ΔX	ΔY
EPS04	Três distâncias	-0,002	0,002
	Cinco distâncias	-0,002	0,002

Comparando os resultados obtidos pelo método de interseção a ré por meio de medições de distância, nota-se que as diferenças entre as coordenadas depois que elas foram ajustadas possuem maiores valores em módulo de 0,002m no eixo X e Y.

- **Interseção a ré por meio de medições de direção**

O método de interseção a ré por meio de medições de direção foi empregado em diversos casos que serão apresentados abaixo.

Caso 1: Determinação do vértice EPS04 a partir de L1, L2, L3 E P2 (três direções).

No primeiro caso foi realizado o método de interseção a ré empregando três direções medidas do vértice EPS04 para os vértices L1, L2 e L3 (Figura 52).

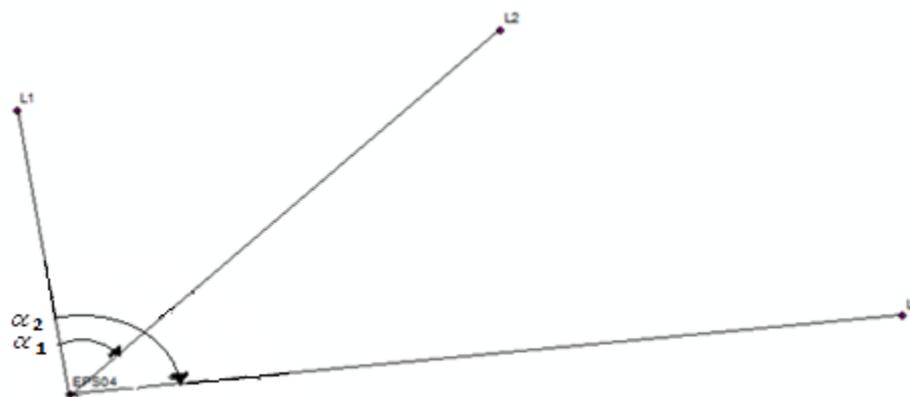


Figura 52 – Vértice EPS04 visando L1, L2 e L3 (dois ângulos).

A Tabela 52 apresenta as coordenadas determinadas do vértice EPS04 pelo método de interseção a ré a priori.

Tabela 52 – As coordenadas do vértice EPS04 no STL - caso 1 (duas distâncias).

Vértice	Coordenadas a priori	
	X (m)	Y (m)
EPS04	149811,216	249927,134

Caso 2: Determinação do vértice EPS04 a partir de L1, L2, L3 E P2 (quatro direções).

No segundo caso foi realizado o método de interseção a ré empregando quatro (4) direções medidas do vértice EPS04 para os vértices L1, L2, L3 e P2 (Figura 53).

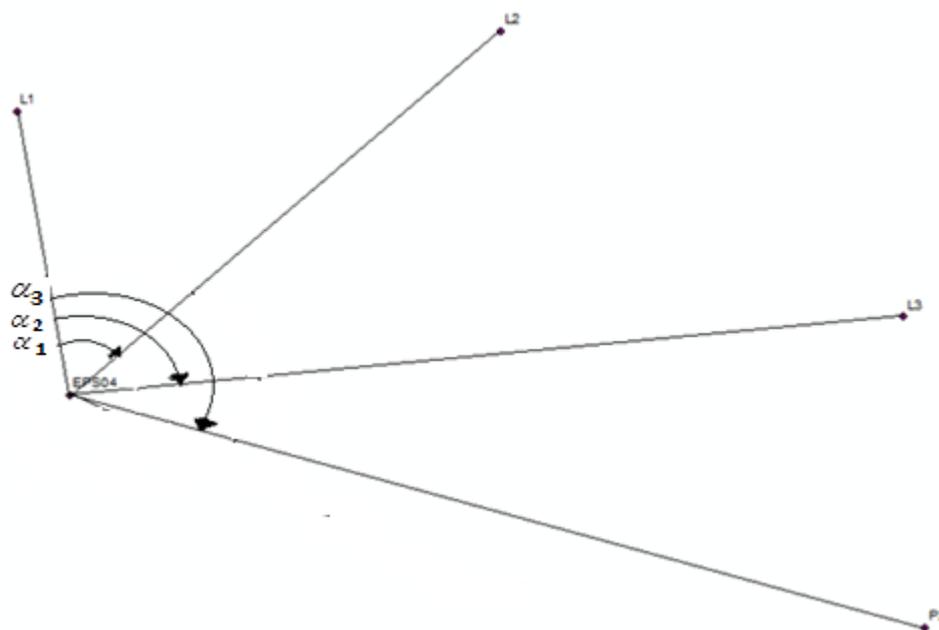


Figura 53 – Vértice EPS04 visando L1, L2, L3 e P2 (três ângulos).

A Tabela 53 apresenta as coordenadas determinadas do vértice EPS04 pelo método de interseção a ré a priori e pelo MMQ – Modelo Paramétrico, os respectivos desvios-padrão e suas respectivas diferenças. Neste experimento foi possível empregar o MMQ – Modelo Paramétrico. O apêndice 1 apresenta um exemplo do ajustamento com o modelo paramétrico utilizado.

Tabela 53 – As Coordenadas do vértice EPS04 no STL, desvios-padrão e suas respectivas diferenças - caso 2 (quatro direções)

Vértice	Coordenadas a priori		Coordenadas Ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Desvios-padrão		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EPS04	149811,216	249927,134	149811,216	249927,134	0,000	0,000	-0,000	0,000

Caso 3: Determinação do EPS04 a partir de L1, L2, L3, P2 e P1 observações cinco direções.

No terceiro caso foi realizado o método de interseção a ré empregando cinco direções medidas do vértice EPS04 para os vértices L1, L2, L3, P2 e P1 (Figura 54).

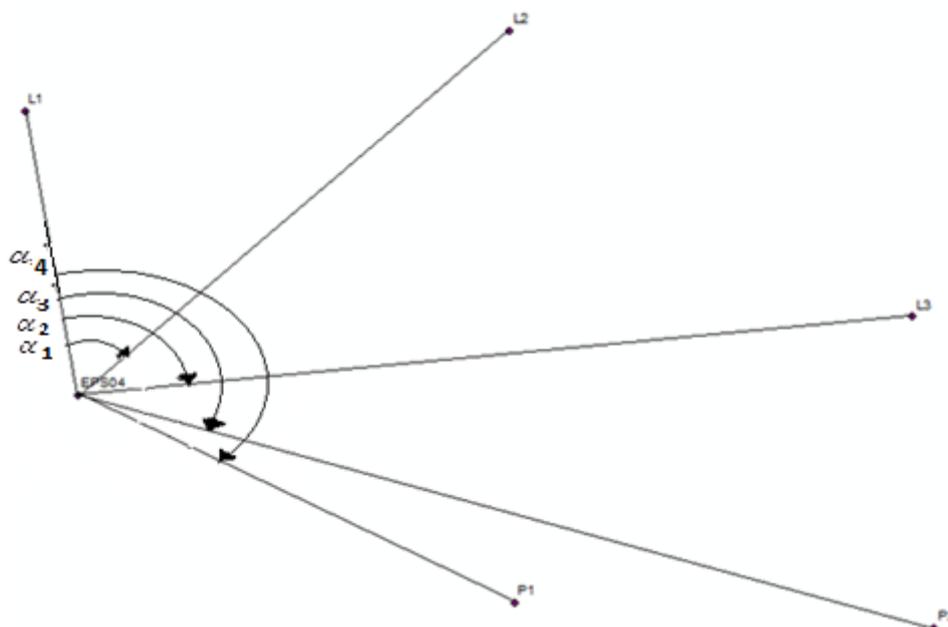


Figura 54 – Vértice EPS04 visando L1, L2, L3, P2 e P1 (três ângulos).

A Tabela 54 apresenta as coordenadas determinadas do vértice EPS04 pelo método de interseção a ré a priori e pelo MMQ – Modelo Paramétrico, os respectivos desvios-padrão e suas respectivas diferenças. Neste experimento foi possível empregar o MMQ – Modelo Paramétrico. O apêndice 1 apresenta um exemplo do ajustamento com o modelo paramétrico utilizado.

Tabela 54 – As Coordenadas EPS04 no STL, desvios-padrão e suas respectivas diferenças - caso 3 (cinco direções)

Vértice	Coordenadas a priori		Coordenadas Ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Desvios- padrão		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EPS04	149811,216	249927,134	149811,216	249927,134	0,000	0,000	-0,000	0,000

Analisando os resultados pelo Teste de Hipótese a unidade de peso a posteriori para o segundo caso $\hat{\sigma}^2_0 = 0,0006$; e para o terceiro caso $\hat{\sigma}^2_0 = 0,0021$, e atribuindo as hipóteses básicas como $H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$, obteve-se o segundo caso $X^{*2} = 0,0006$; e para o terceiro caso $X^{*2} = 0,0042$, com o nível de significância 5%, obteve-se para um intervalo de confiança entre: 0,05 e 7,38 para o segundo caso com o grau de liberdade igual a dois; e 0,00 e 5,02 para o primeiro com o grau de liberdade igual a um. Portanto, com o nível de significância de 5% não se tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}^2_0$.

Na Tabela 55 apresenta as diferenças obtidas quando compara EPS04 obtido por três direções com os demais.

Tabela 55 – As diferenças das coordenadas do vértice EPS04 por meio de medições distância.

Vértice	Interseção a ré por meio de medições de distância	Diferenças	
		ΔX	ΔY
EPS04	Quatro direções	0,000	0,000
	Cinco direções	0,000	0,000

Comparando os resultados obtidos pelo método de interseção a ré por meio de medições de direção, nota-se que as diferenças entre as coordenadas depois que elas foram ajustadas possuem valores de 0,000 m em ambos os eixos X e Y.

Comparação entre os resultados das interseções a ré e as coordenadas do vértice EPS04 (MENDONÇA et al. 2010) (Tabela 66)

A Tabela 56 apresenta as diferenças obtidas comparando-se as coordenadas EPS04 (MENDONÇA et al., 2010) e as coordenadas do vértice EPS04 obtidas por diferentes casos apresentados anteriormente pelos métodos de interseção a ré.

Tabelas 56 – Diferenças entre as coordenadas do Vértice EPS04 no STL.

Interseção a ré por meio de medições de ângulos e distâncias	Diferenças	
	ΔX (m)	ΔY (m)
Uma distância e duas direções	0,002	-0,001
Duas distâncias e duas direções	0,002	-0,001
Três distâncias e três direções	0,000	0,001
Uma distância e três direções	-0,001	0,002

Interseção a ré por meio de medições de distância	Diferenças	
	ΔX (m)	ΔY (m)
Duas distâncias	0,003	-0,002
Três distâncias	0,001	0,000
Cinco distâncias	0,001	0,000

Interseção a ré por meio de medições direção	Diferenças	
	ΔX (m)	ΔY (m)
Três direções	-0,001	0,002
Quatro direções	-0,001	0,002
Cinco direções	-0,001	0,002

Comparando os resultados obtidos por (MENDONÇA et al., 2010) do vértice EPS04 entre métodos de interseções a ré por meio de medições de distância, combinadas e de direção, nota-se que os maiores diferenças foram de 0,003m no eixo X para o caso 1 por meio de medições de distância; e de 0,002m no eixo Y para o caso 4 por meio de medições de ângulos e distâncias; no caso 1 - por meio de medições de distância; e em todos os casos por meio de medições direção.

5.4. Locação de Pilares, Eixos de Pilares de Edificação e Controle da Locação

Para a realização da locação de centros de pilares e seu controle foi inserida na Área de Estudo 2 dentro da área da poligonal levantada um

retângulo de 10mX12m, cujos os vértices representaram os centros de pilares a serem locados e controlados.

Na área de Estudo 1 na época das medições realizadas na Área interna à obra já existia um gabarito implantado. Por isso nessa área não foram realizados locações, mas utilizou os pontos-objeto pré-existentes localizados no gabarito da obra e definidores dos eixos de pilares para simular um controle de locação e levantamento da área interna da propriedade.

5.4.1. Área de estudo 1 – Bairro da Madalena

Os pregos materializados no gabarito da obra foram levantados com o emprego de uma estação total instalada nos vértices das poligonais implantadas no interior à obra (cf, item 5.3.1), utilizando-se o método de interseção a vante. As observações angulares (Hz e V) foram realizados nas duas posições da luneta (Direta e Inversa). Também foram determinadas, pelo o método de interseção a vante, as quinas das faces internas dos muros da propriedade.

- **Quinas internas da propriedade**

A Tabela 90 apresenta as coordenadas das quinas internas (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9 e Q10) levantadas no STL, as coordenadas dos vértices E1, E2, E7 e E5 foram determinados pelo o método da poligonização com centragem forçada e estão fornecidas na Tabela 37. E a Figura 55 ilustra o levantamento realizado.

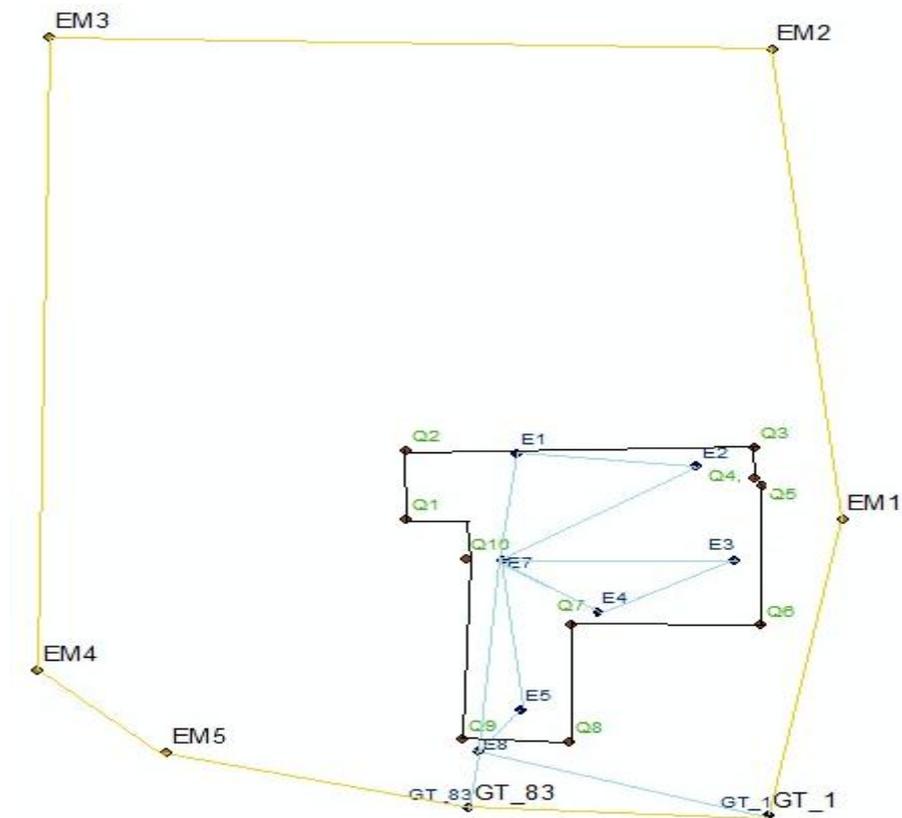


Figura 55 – Visualização dos vértices das estruturas geodésicas externas e internas à obra e a identificação das quinas internas da propriedade.

Tabela 57 – Coordenadas das Quinas internas as faces do muro da propriedade.

Vértice A partir de	Quinas	Coordenadas	
		X (m)	Y (m)
E1/E2	Q1	150043,2853	249921,8928
E1/E2	Q2	150043,3870	249932,9607
E1/E2	Q3	150085,9059	249933,2924
E1/E2	Q4	150085,7685	249928,2665
E1/E2	Q5	150086,8473	249927,1339
E1/E2	Q6	150086,4740	249904,5262
E1/E7	Q7	150063,4480	249904,6593
E7/E5	Q8	150063,0353	249885,7873
E7/E5	Q9	150049,9197	249886,2082
E7/E5	Q10	150050,4594	249915,3697

A Tabela 58 apresenta as coordenadas dos pregos fixados no gabarito da obra e determinadas pelo método de interseção a vante.

Tabela 58 – Coordenadas das fixadas no gabarito da obra as faces do muro da propriedade.

Vértice A partir de	Quinas	Coordenadas		Vértice A partir de	Quinas	Coordenadas	
		X (m)	Y (m)			X (m)	Y (m)
E1/E2	P23B	150051,1613	249921,9382	E1/E2	P28	150059,9898	249933,7366
E1/E2	P16B	150049,7615	249921,7733	E1/E2	P30/31	150060,6121	249933,7341
E1/E2	P15B	150045,7774	249921,8511	E1/E2	P32	150060,8086	249933,7302
E1/E2	P13/14	150045,8271	249921,8476	E1/E2	P37B	150062,2759	249933,4429
E1/E2	P42A	150043,3759	249928,6048	E1/E2	TPP	150085,9460	249932,2554
E1/E2	P16/14A/28	150043,3854	249929,2662	E1/E2	T000	150085,8906	249932,2156
E1/E7	P3EixosFila	150043,3720	249932,1195	E5/E7	Q9	150057,9983	249931,6835
E7/E5	P8/P7	150044,5793	249934,1218	E5/E7	P27	150062,4771	249908,1195
E7/E5	P16B	150050,0391	249934,0256	E5/E7	P24A	150060,9472	249916,5102
E7/E5	P23B	150051,4388	249933,9974	E5/E7	P17/33A	150060,9878	249916,3070

5.4.2. Área de Estudo 2 - Campus Recife – UFPE

A locação dos pilares é uma etapa muito importante no processo da Construção. Caso a locação tenha sido feita de maneira inadequada, isto será levado para as outras estruturas da Construção Civil. O posicionamento

dos pontos pode ser realizado por diversos métodos, tais como: posicionamento cinemático RTK, irradiação simples e/ou dupla, comando embutidos de uma estação total, por cavaletes (cf. item 4.4). A Figura 56 apresenta um fluxograma, que descreve as etapas realizadas, nesta dissertação no procedimento de locação. A primeira contempla a preparação dos dados de locação e a escolha dos métodos a serem empregados na área. Na segunda etapa a locação dos centros e eixos de pilares foi realizada pelos métodos de posicionamento cinemático RTK, irradiação simples e dupla, comandos embutidos da estação total e por cavaletes. O controle da locação foi realizado a partir dos métodos de irradiação simples e dupla, interseção a vante e bilateração. Os dados adquiridos em campo foram processados e calculados seus resultados.

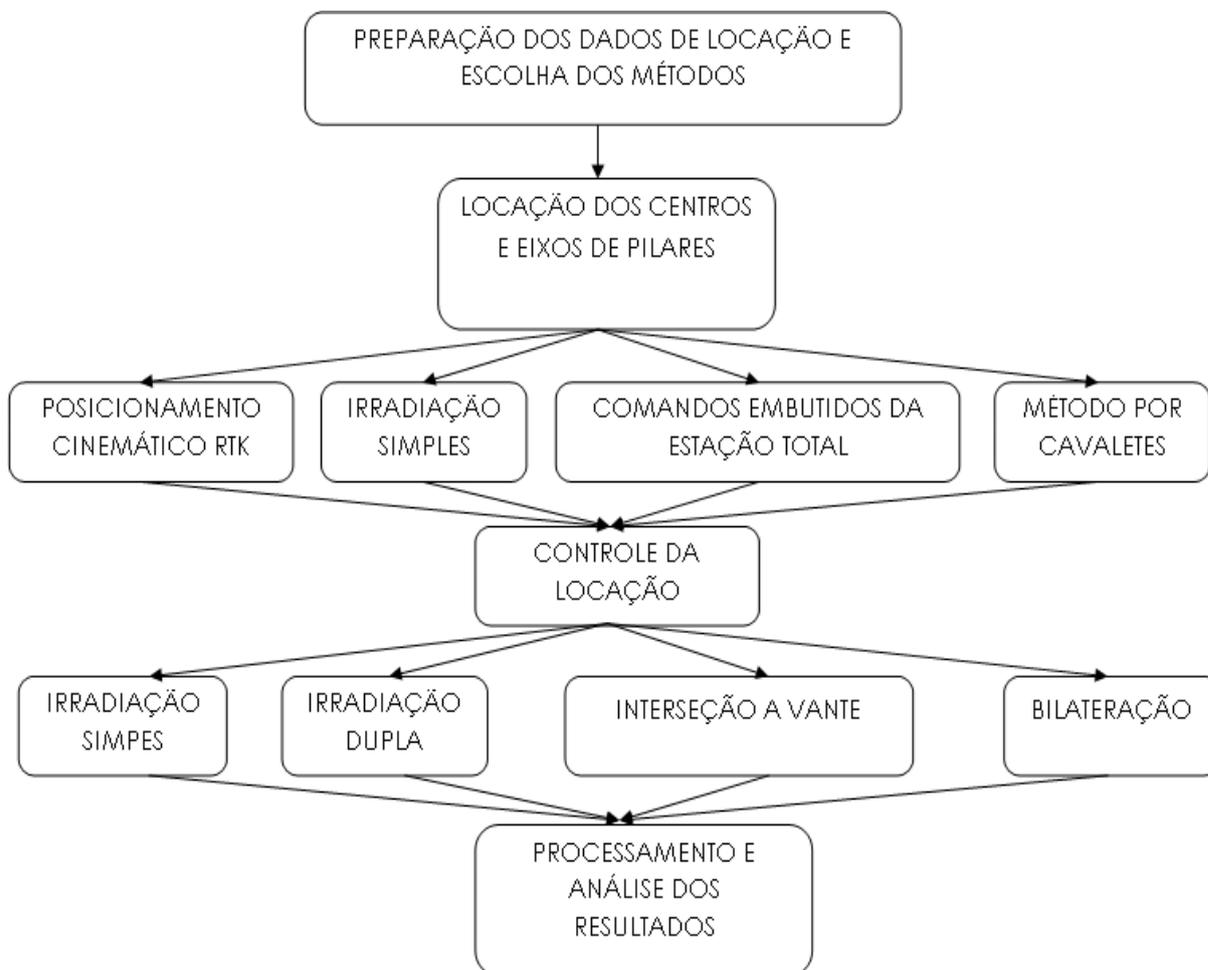


Figura 56 – Fluxograma do procedimento da Locação.

5.4.2.1. Preparação da Área de Locação

As coordenadas ajustadas das estruturas geodésicas (EPS04, L1, L2, L3, P1 e P2) (Tabela 38) foram inseridas no *software AutoCAD2013*, com o objetivo de se simular como é feito na prática. Portanto, foram escolhidos dentro da área quatro vértices, que foram denominados de A, B, C e D (Tabela 91).

A Figura 57 ilustra os quatro vértices que foram escolhidos para serem locados em campo e a localização da poligonal (EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1) implantada.

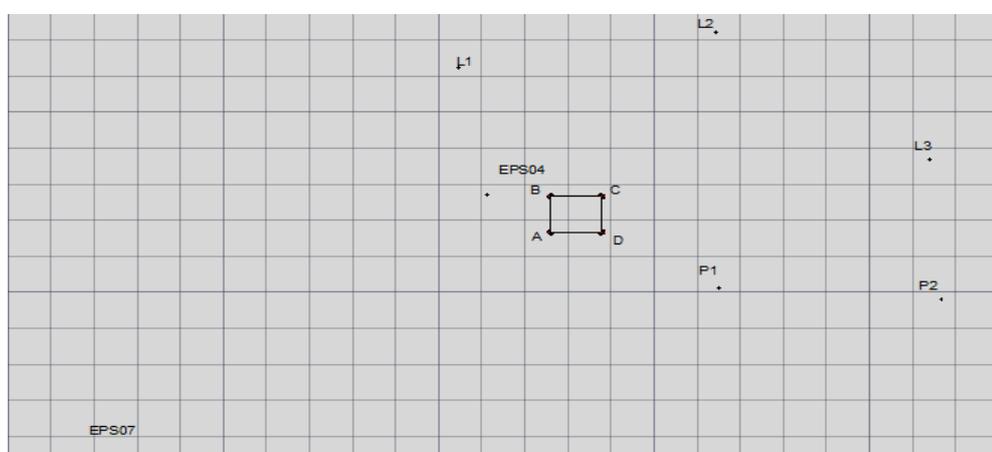


Figura 57 – Estruturas geodésicas e pontos (A, B, C, D) da Área de Estudo 2.

Fonte: AutoCAD2013.

Com as coordenadas dos vértices (EPS04, L1, L2, L3, P2 e P1) inseridas no *software AutoCADd2013* foi possível localizar uma área para a realização dos experimentos de locação definida pelos vértices A, B, C e D (Tabela 59).

Tabela 59 – As coordenadas Plano-retangulares X e Y no STL

Vértices de Locação	X (m)	Y (m)
A	149825,925	249916,666
B	149825,925	249926,666
C	149837,925	249926,666
D	149837,925	249916,666

Em seguida foram definidos os pontos que materializam os cavaletes e eixos dos pilares.

Os vértices A_{A1} , A_{L1} , B_{L1} , B_{F1} , C_{F1} , C_{L1} , D_{L1} e D_{A1} foram inseridos no AutoCAD2013 à 40cm dos respectivos vértices A, B, C e D, conforme Figura 68. Também foram inseridos os pontos A_{A2} e A_{L2} equidistante de 43cm dos pontos A_{A1} e A_{L1} , respectivamente, e assim, sucessivamente, para os demais vértices B, C e D. Esta última equidistância em função do comprimento dos cavaletes confeccionados.

A Figura 58 mostra a configuração dos pontos, onde se planejou posicionar os cavaletes de locação.

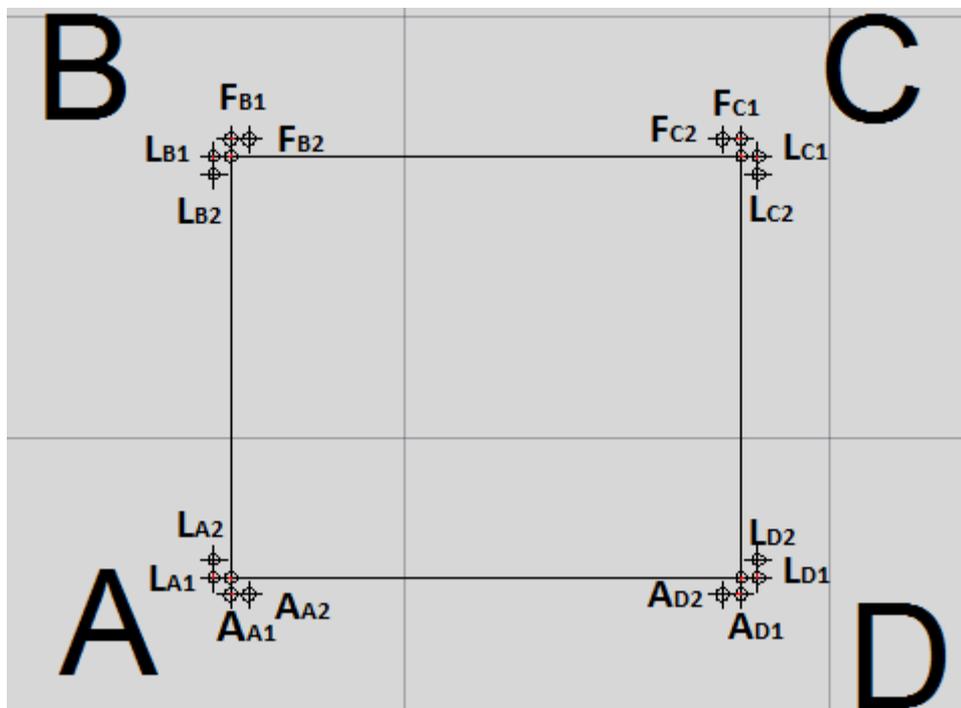


Figura 58 – Posicionamento dos Cavaletes. Fonte:AutoCAD2013 (versão estudantil).

A Tabela 60 mostra as coordenadas dos pontos A_{A1} , A_{L1} , A_{A2} , A_{L2} , B_{L1} , B_{F1} , B_{L2} , B_{F2} , C_{F1} , C_{L1} , C_{F2} , C_{L2} , D_{L1} , D_{A1} , D_{L2} e D_{A2} obtidas no AutoCAD2013 (versão estudantil).

Tabela 60 – Coordenadas do gabarito STL área UFPE. Preparação

Vértices de Locação	X (m)	Y (m)	Vértices de Locação	X (m)	Y (m)
A _{L1}	149825,525	249916,666	C _{F1}	149837,925	249927,066
A _{L2}	149825,525	249917,096	C _{F2}	149837,495	249927,066
A _{A1}	149825,925	249916,266	C _{L1}	149838,325	249926,666
A _{A2}	149826,355	249916,266	C _{L2}	149838,325	249926,236
B _{L1}	149825,525	249926,666	D _{L1}	149838,325	249916,666
B _{L2}	149825,525	249926,236	D _{L2}	149838,325	249917,096
B _{F1}	149825,925	249927,066	D _{A1}	149837,925	249916,266
B _{F2}	149826,355	249927,066	D _{A2}	149837,495	249916,266

- **Locação Polar com Programas Comandos Embutidos e controle com Estação Total**

Os experimentos de locação com comandos embutidos na área UFPE ocorreram no dia 11 de janeiro de 2014, com uma equipe de quatro pessoas e duração de cinco horas. Empregou-se o comando embutido da estação total (estação desconhecida) para georreferenciar a estação através dos vértices L1 e L2, depois L1, L2 e L3. Após isso empregou-se o comando (locação) para a locação dos pontos A, B, C e D. O controle posicional da locação dos pontos foi realizado por dois métodos diferentes primeiro com uma estação total através da obtenção de medidas angulares e lineares da cada ponto utilizando as leituras nas duas posições da luneta (Direta e Inversa); e segundo com o comando “ polar/detalhes” sem tirar o prisma do lugar após a sua locação.

As Tabelas 61 e 62 apresentam as coordenadas do vértice ESP04 determinado a partir de L1 e L2; e L1, L2 e L3, respectivamente, pelo comando da “estação desconhecida”.

Tabela 61 – EPS04 a partir de L1 e L2.

Vértice	Coordenadas		A partir de L1 e L2		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EPS04	149811,215	249927,136	149811,213	249927,136	-0,002	0,001

Tabela 62 – EPS04 a partir de L1, L2 e L3.

Vértice	Coordenadas		A partir de L1, L2 e L3		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
EPS04	149811,215	249927,136	149811,213	249927,136	-0,002	0,005

Com as informações do vértice EPS04 (Tabela 62) realizou-se o controle da locação pelo comando pontos polar/detalhes obtendo os seguintes valores (Tabela 63).

Tabela 63 – As coordenadas do comando pontos polar/detalhes e do AutoCAD2013 para a locação dos pontos A, B, C e D, e suas respectivas diferenças.

Pontos	Pontos Polar Detalhes		Coordenadas (AutoCAD2013)		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
A	149825,923	249916,669	149825,925	249916,666	0,002	0,003
B	149825,924	249926,669	149825,925	249926,666	0,001	0,003
C	149837,924	249926,669	149837,925	249926,666	0,001	0,003
D	149837,930	249916,669	149837,925	249916,666	0,005	0,003

Realizou-se o controle pelo método de irradiação dupla, obtendo os seguintes valores apresentados nas Tabelas 64.

Tabela 64 – As coordenadas do método da Irradiação dupla e AutoCAD2013 para determinar os pontos A, B, C e D, e seus respectivos desvios-padrão e diferenças.

Pontos	Coordenadas Irradiação Dupla		Diferenças		Coordenadas (AutoCAD2013)		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
A	149825,924	249916,667	0,0064	0,0046	149825,925	249916,666	0,001	-0,001
B	149825,926	249926,666	0,0092	0,0008	149825,925	249926,666	-0,001	0,000
C	149837,902	249926,668	0,0086	0,0013	149837,925	249926,666	0,023	-0,002
D	149837,931	249916,665	0,0075	0,0031	149837,925	249916,666	-0,006	0,001

Analisando os resultados pelo Teste de Hipótese a unidade de peso a posteriori para o primeiro caso $\hat{\sigma}^2_0 = 4,3364$, e atribuindo as hipóteses básicas como $H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$, obteve-se o primeiro caso $X^{*2} = 17,3455$, com o nível de significância 5%, obteve-se para um intervalo de confiança entre: 0,49 e 11,14 para o segundo caso com o grau de liberdade igual a oito. Portanto, com o nível de significância de 5% tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}^2_0$.

5.4.2.2. Locação com GNSS e Controle com Estação Total

Os experimentos de locação com receptores GNSS ocorreram no dia 16 de janeiro de 2014, com uma equipe de quatro pessoas e duração de três horas. Empregou-se o método de posicionamento RTK (cf. item 4.3.1) para a locação dos pontos A, B, C e D. O controle posicional da locação dos pontos foi realizado com uma estação total através da obtenção de medidas angulares e lineares da cada ponto utilizando as leituras nas duas posições da luneta (Direta e Inversa).

As coordenadas dos pontos A, B, C e D no STL (Tabela 59) foram inseridas no aplicativo de transformação de coordenadas do software AstGeoTop2013 com os parâmetros do SIRGAS2000, obtendo as coordenadas no Sistema UTM e no Sistema Geodésico (Tabela 65).

Tabela 65 – Coordenadas dos pontos A, B, C e D em SIRGAS2000. Fonte :
AstGeoTop 2013

Vértices	Φ	Λ	E (m)	N (m)
A	-8°03'06,18228"	-34°57'11,14424"	284757,338	9109470,716
B	-8°03'05,85677"	-34°57'11,14424"	284757,290	9109480,718
C	-8°03'05,85678"	-34°57'10,75233"	284769,292	9109480,775
D	-8°03'06,18228"	-34°57'10,75233"	284769,340	9109470,774

A base do receptor GNSS foi instalada no vértice EPS04 como ilustra a Figura 59.



Figura 59 – Vértice EPS04 da RRC da UFPE. Fotos: Janeiro 2014.

As informações das coordenadas geodésicas (Tabela 96) dos pontos A, B, C e D foram inseridas na coletora do receptor GNSS Hiper V, e utilizando o método de posicionamento RTK foi realizada a locação destes como ilustra a Figura 60. As informações das coordenadas na coletora podem ser coordenadas geodésicas (latitude e longitude) ou coordenadas UTM (E e N).



Figura 60 – Locação do ponto A pelo método de posicionamento RTK. Fotos: Janeiro 2014.

A Figura 61 ilustra a tela da coletora GNSS no momento que a locação do ponto A foi realizada.



Figura 61 – Coletora GNSS no ponto A. Fotos: Janeiro 2014.

A Tabela 66 informa os valores dos desvios entre as coordenadas locadas e as coordenadas inseridas na coletora para a locação.

Tabela 66 – Desvios obtidos durante a locação

Pontos	Desvios (m)	
	Atrás	Direita
A	0,002	0,027
B	0,015	0,017
C	0,006	0,025
D	0,008	0,015

Após a locação de todos os pontos (A, B, C e D) foram verificadas as distâncias entre cada ponto locado (Figura 62). Obtendo-se os seguintes resultados $D_{AB}= 10,000\text{m}$; $D_{BC}= 11,920$; $D_{CD}= 9,980$; $D_{DA}= 11,990$; $D_{AC}= 15,600\text{m}$ e $D_{BD} =15,570\text{m}$. Foi utilizada uma trena não calibrada e com resolução de 2mm, apenas para ilustração procedimento de verificação. Ressaltando-se necessário o emprego de uma trena de aço calibrada para a verificação das distâncias.

A figura 62 ilustra a medição à trena entre os pontos locados.



(a)

(b)

Figura 59 – Verificação das distâncias entre os pontos locados. Fotos: Janeiro 2014.

Realizando-se em seguida o controle da locação com uma estação total utilizando o método da irradiação simples para a determinação dos pontos A, B, C e D. As medições angulares (Hz e V) e linear (Di) foram coletadas no prisma fixado a um bastão (Figura 73). Para isso a estação total foi instalada no vértice EPS04 e em seguida zerada horizontalmente para o vértice L1.

A Tabela 67 apresenta as coordenadas dos pontos A, B, C e D comparadas entre as obtidas no controle e as inseridas no do software AutoCAD2013.

Tabela 67 – Coordenadas plano-retangulares no STL dos pontos A, B, C e D e suas respectivas diferenças

Vértice	Pontos Visados	Coordenadas Controladas por irradiação simples		Coordenadas (AutoCad2013)		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX	ΔY
EPS04	A	149825,895	249916,6611	149825,925	249916,666	0,030	0,005
	B	149825,9303	249926,6751	149825,925	249926,666	-0,005	-0,0091
	C	149837,8647	249926,683	149837,925	249926,666	0,060	-0,017
	D	149837,9141	249916,6937	149837,925	249916,666	0,011	-0,028

A tabela 66 descreve que a maior diferença em módulo no eixo X foi de 0,0603m no ponto C e no eixo Y foi de -0,0277 no ponto D e a menor diferença em módulo no eixo X foi de 0,0053m no ponto B e no eixo Y foi de 0,0049m no ponto A.

5.4.2.3. Locação e Controle com Estação Total

Os experimentos de locação com estação total ocorreram em três (3) dias distintos. Primeiro no dia 16 de janeiro de 2014, com uma equipe de quatro (4) pessoas e duração de 2hs 30 min. Empregou-se o método de irradiação simples com o emprego de uma estação total para a locação dos pontos A, B, C e D. E segundo no dia 20 de janeiro de 2014 com uma

equipe de quatro (4) pessoas e duração de 5 horas. Empregou-se o método de irradiação simples com o emprego de uma estação total para a locação dos cavaletes.

- **Dia 16/01/2014**

O controle posicional da locação dos pontos foi realizado com uma estação total através da obtenção de medidas angulares e lineares de cada ponto utilizando as leituras nas duas posições da luneta (Direta e Inversa). A coleta de dados foi realizada de duas formas. A primeira visualizou-se o centro do prisma medindo-se a direção Hz, o ângulo V e a distância inclinada D_i ; na segunda coleta dos dados, visualizou-se inicialmente a ponta do bastão apoiada na estaca locada, obtendo-se a direção Hz e em seguida visualizou-se o centro do prisma medindo-se o ângulo V e a distância inclinada D_i . Nos dois casos o bastão foi fixado em um tripé com a ajuda de um suporte (bastão-tripé) para eliminar a influência do operador do prisma.

A estação total foi instalada no vértice EPS04 com alinhamento fixado na direção para o vértice L1. O vértice L1 foi ocupado com um tripé e um prisma com centragem forçada (Figura 60). Com o auxílio de um prisma e um bastão e com as informações da caderneta de locação (Tabela 68) foram locados os pontos A, B, C e D. Primeiramente, visualizou-se a ponta do bastão para posicionar a direção Hz de locação e após isso se visualizou o prisma para medir a distância e o ângulo V.



Figura 63 – Verificação dos pontos locados pelo método de irradiação e emprego de bastão e prisma. Fotos: Janeiro 2014.

Tabela 68 – Caderneta de Locação UFPE.

Vértices Conhecidos	Coordenadas Plano-Retangulares X e Y no STL					
	X (m)		Y (m)			
ESP04	149811,2150		249927,1360			
L1	149804,7161		249962,3836			
Pontos de Locação	Coordenadas no STL		Coordenadas Polares			
	X (m)	Y (m)	Distâncias (m)		Ângulos	
A	149825,925	249916,666	D _{EPS04_A}	18,056	α _{EPS04_A}	135°53'18,78''
B	149825,925	249926,666	D _{EPS04_B}	14,718	α _{EPS04_B}	102°16'36,56''
C	149837,925	249926,666	D _{EPS04_C}	26,714	α _{EPS04_C}	101°27'17,57''
D	149837,925	249916,666	D _{EPS04_D}	28,689	α _{EPS04_D}	121°51'04,93''

Na Tabela 68 são apresentadas as coordenadas determinadas pelo método da irradiação simples e a comparação destas com as coordenadas

definidas no AutoCAD2013 (Tabela 58). Na Tabela 69 utilizou-se a nomenclatura AP, BP, CP e DP para indicar o segundo caso de medição, ou seja, que a colimação foi realizada diretamente no centro do prisma e A, B, C e D para indicar o primeiro caso de medição, ou seja, que inicialmente visualizou-se a ponta do bastão para em seguida visualizar o centro do prisma.

Tabela 69 – As coordenadas dos pontos A, B, C, D, AP, BP, CP e DP da Área da UFEP obtidas com o emprego da Estação Total e respectivas diferenças.

Vértice	PV	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX	ΔY
EPS04	A	149825,935	249916,660	149825,925	249916,666	-0,009	0,006
	B	149825,931	249926,665	149825,925	249926,666	-0,005	0,002
	C	149837,928	249926,666	149837,925	249926,666	-0,003	0,000
	D	149837,929	249916,664	149837,925	249916,666	-0,003	0,002
	AP	149825,923	249916,672	149825,925	249916,666	-0,003	-0,006
	BP	149825,931	249926,671	149825,925	249926,666	-0,006	-0,005
	CP	149837,928	249926,674	149837,925	249926,666	-0,003	-0,008
	DP	149837,932	249916,671	149837,925	249916,666	-0,006	-0,005

A Tabela 68 fornece que maior diferença em módulo no eixo X foi de 0,009m no ponto B e no eixo Y foi de 0,008m no ponto CP e a menor diferença em módulo no eixo X foi de 0,003m nos pontos C, D, AP e CP e no eixo Y foi de 0,000m no ponto C.

A Figura 64 ilustra o vértice EPS04 visando os pontos A, B, C e D que foram locados na área e os demais vértices da poligonal implantada.

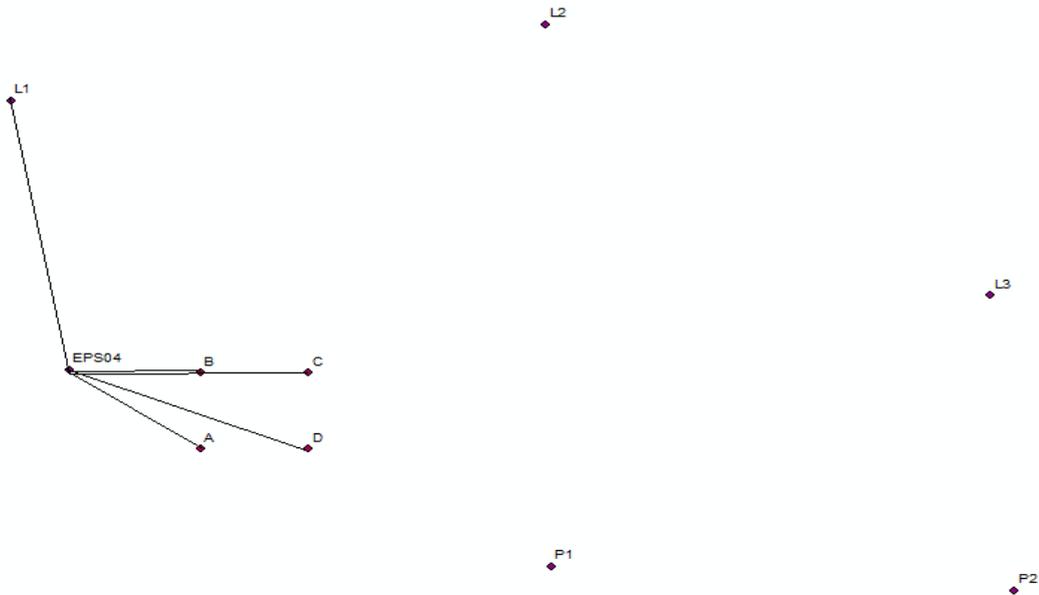


Figura 64 – Visualização do vértice ESP04 visando os pontos A, B, C e D.

- **Dia 20/01/2014**

Os materiais empregados neste dia de locação polar estão ilustrados na Figura 65, estes foram: Estações totais, prisma, “Kit” mini-prisma com bastão, bastão, tripés, balde, cones, trena, caderneta de campo, cavaletes e fio a “nylon”.



Figura 65 – Materiais empregados para a locação. Foto: Janeiro 2014

A estação total foi instalada no vértice EPS04 com alinhamento horizontal fixado na direção para o vértice L1. O vértice L1 foi ocupado com um tripé e um prisma com centragem forçada. Com o auxílio de um prisma e um bastão e com as informações da caderneta de locação (Tabela 70) foram iniciadas as locações dos cavaletes a partir dos pontos A_{A1} , A_{L1} , B_{L1} , B_{F1} , C_{F1} , C_{L1} , D_{L1} e D_{A1} .

Tabela 70– Caderneta de Locação dos cavaletes.

Vértices Conhecidos	Coordenadas Planas Retangulares					
	X (m)			Y (m)		
ESP04	149811,2150			249927,1360		
L1	149804,7161			249962,3836		
Vértices de Locação	Coordenadas no STL		Coordenadas Polares			
	X (m)	Y (m)	Distâncias(m)		Ângulos	
A _{L1}	149825,525	249916,666	DEPS04_AL1	17,731	$\alpha_{EPS04(L1_AL1)}$	136°38'21,40''
A _{L2}	149825,525	249917,096	DEPS04_AL2	17,481	α_{EPS04_AL2}	135°30'05,70''
A _{A1}	149825,925	249916,266	DEPS04_AA1	18,290	α_{EPS04_AA1}	136°54'37,60''
A _{A2}	149826,355	249916,266	DEPS04_AA2	18,638	α_{EPS04_AA2}	136°07'29,28''
B _{L1}	149825,525	249926,666	DEPS04_BL1	14,317	α_{EPS04_BL1}	102°19'42,20''
B _{L2}	149825,525	249926,236	DEPS04_BL2	14,338	α_{EPS04_BL2}	104°02'45,78''
B _{F1}	149825,925	249927,066	DEPS04_BF1	14,710	α_{EPS04_BF1}	100°42'43,40''
B _{F2}	149826,355	249927,066	DEPS04_BF2	15,140	α_{EPS04_BF2}	100°42'43,40''
C _{F1}	149837,925	249927,066	DEPS04_CF1	26,710	α_{EPS04_CF1}	100°35'49,70''
C _{F2}	149837,495	249927,066	DEPS04_CF2	26,280	α_{EPS04_CF2}	100°35'58,60''
C _{L1}	149838,325	249926,666	DEPS04_CL1	27,114	α_{EPS04_CL1}	101°26'24,80''
C _{L2}	149838,325	249926,236	DEPS04_CL2	27,125	α_{EPS04_CL2}	102°20'54,30''
D _{L1}	149838,325	249916,666	DEPS04_DL1	29,061	α_{EPS04_DL1}	121°33'50,50''
D _{L2}	149838,325	249917,096	DEPS04_DL2	28,909	α_{EPS04_DL2}	120°46'08,42''
D _{A1}	149837,925	249916,266	DEPS04_DA1	28,837	α_{EPS04_DA1}	122°35'30,50''
D _{A2}	149837,495	249916,266	DEPS04_DA2	28,439	α_{EPS04_DA2}	122°55'06,12''

A locação dos cavaletes não foi possível ser realizada após algumas tentativas, pois a espessura da madeira de 2,2cm não estava apropriada para pequenos deslocamentos (na ordem de 10 cm), resolvendo-se, então,

locar estacas nos pontos A_{A1} , A_{L1} , B_{L1} , B_{F1} , C_{F1} , C_{L1} , D_{L1} e D_{A1} para a definição dos alinhamentos dos eixos dos pilares.

A partir da caderneta de locação foram locados com a estação total e um prisma os pontos do gabarito A_{A1} , A_{L1} , B_{L1} , B_{F1} , C_{F1} , C_{L1} , D_{L1} e D_{A1} em campo. Neste dia utilizou-se um “kit” mini-prisma com bastão bem mais curto, para evitar a inclinação do mesmo (Figura 66).



Figura 66 – Mini-prisma para locação. Foto: Janeiro 2014.

O controle posicional da locação dos pontos foi realizado com uma estação total através da obtenção de medidas angulares e lineares de cada ponto utilizado as leituras nas duas posições da luneta (Direta e Inversa). Após a locação de cada estaca foram fixadas dois pregos em cada uma para o procedimento de locação com o emprego do fio a “nylon”. Isto permitiu determinar pelo método da interseção a vante as coordenadas de cada estaca locada a partir dos vértices EPS04 e L1 (Figura 67).

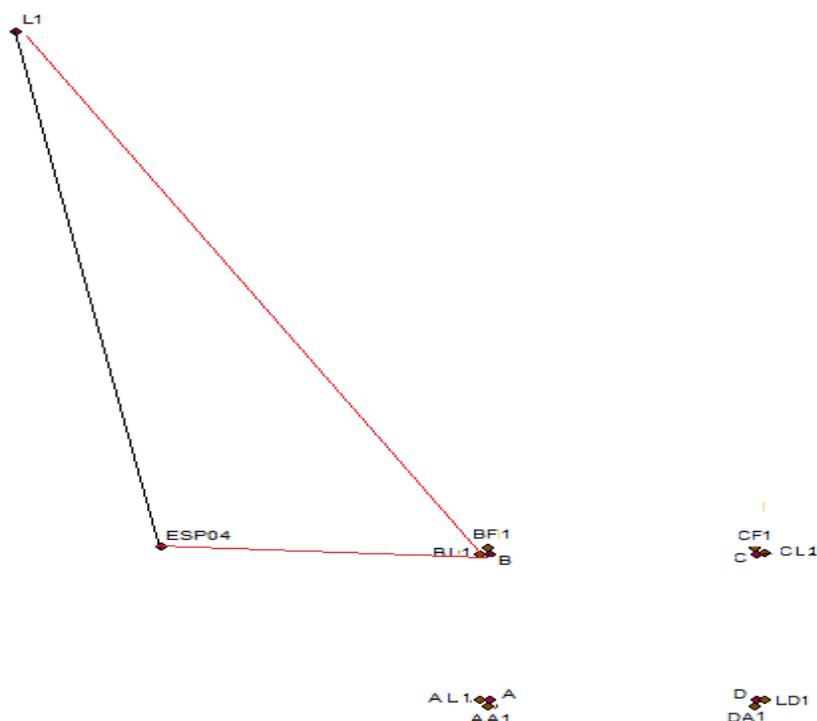


Figura 67 – Método de interseção a vante a partir dos vértices EPS04 e L1 para o ponto B_{L1}.

A Tabela 71 são apresentadas as coordenadas determinadas pelo método de interseção a vante e a comparação destas com as coordenadas definidas no AutoCAD2013.

Tabela 71 – As coordenadas dos pontos A_{A1}, A_{L1}, B_{L1}, B_{F1}, C_{F1}, C_{L1}, D_{L1} e D_{A1} determinadas por interseção a vante e coletadas no AutoCAD2013 e suas respectivas diferenças.

Vértices	Interseção a Vante		AutoCad2013		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX	ΔY
A _{A1}	149825,927	249916,265	149825,925	249916,266	-0,002	0,001
A _{L1}	149825,524	249916,672	149825,525	249916,666	0,001	-0,006
B _{L1}	149825,537	249926,665	149825,525	249926,666	-0,012	0,001
B _{F1}	149825,932	249927,062	149825,925	249927,066	-0,007	0,004
C _{F1}	149837,935	249927,062	149837,925	249927,066	-0,010	0,004
C _{L1}	149838,309	249926,672	149838,325	249926,666	0,016	-0,006
D _{L1}	149838,322	249916,668	149838,325	249916,666	0,002	-0,002
D _{A1}	149837,928	249916,271	149837,925	249916,266	-0,004	-0,005

A Tabela 71 fornece que a maior diferença em módulo no eixo X foi de 0,016m no ponto C_{L1} e no eixo Y foi de 0,006m no pontos A_{L1} e C_{L1}, e a menor diferença em módulo no eixo X foi de 0,001m no ponto A_{L1} e no eixo Y de foi 0,001m no ponto A_{A1} e B_{L1}.

A partir das informações das coordenadas dos pontos A_{A1}, A_{L1}, B_{L1}, B_{F1}, C_{F1}, C_{L1}, D_{L1} e D_{A1} (Tabela 71) foram calculadas as retas (Figura 68) que representam os eixos dos pilares. As retas foram definidas da seguinte maneira:

- Reta 1: coordenadas dos pontos A_{A1} e B_{F1} forneceu uma equação da reta de $-10,797x + 0,005y + 1616490,954$;

- Reta 2: coordenadas dos pontos A_{L1} e D_{L1} forneceu uma equação da reta de $0,003x + 12,799y - 3199062,954$;

- Reta 3: coordenadas dos pontos B_{L1} e C_{L1} forneceu uma equação da reta de $-0,006x + 12,772y - 3191034,480$; e

- Reta 4: coordenadas dos pontos C_{F1} e D_{A1} forneceu uma equação da reta de $10,791x - 0,006y - 1615321,580$.

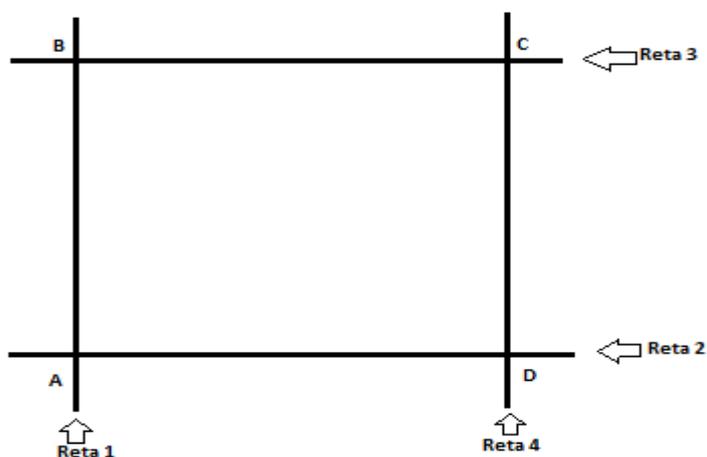


Figura 68 – Ilustração das Retas que representam os eixos dos pilares.

Para verificar se as retas são perpendiculares entre si foram analisados as posições relativas de duas retas, por exemplo, para as retas 1 e 2, foi

utilizada a expressão $\frac{X_{AA1}}{X_{BF1}} \neq \frac{Y_{AA1}}{Y_{BF1}}$, obtendo os seguintes resultados:

- A reta 1 e reta 3 obteve o seguinte resultado $1 \neq 0,999$, logo as retas são perpendiculares entre si;

- A reta 2 e reta 4 obteve o seguinte resultado $0,999 \neq 1$, logo as retas são perpendiculares entre si;

- A reta 3 e reta 4 obteve o seguinte resultado $0,999 \neq 1$, logo as retas são perpendiculares entre si; e

A reta 1 e reta 2 obteve o seguinte resultado $1 \neq 1,001$, logo as retas são perpendiculares entre si.

As retas 1 e 3 determinou o ponto B; as retas 2 e 4 determinou o ponto D; as retas 3 e 4 determinou o ponto D; e por último as retas 1 e 2 determinou o ponto A. Na Tabela 72 estão as coordenadas obtidas dos pontos pela equação das retas e pelo *AutoCAD2013* e suas respectivas diferenças.

Tabela 72 – Coordenadas dos pontos A, B, C e D obtidas pela interseção das retas e coletadas no *AutoCAD2013* e suas respectivas diferenças.

Pontos	Coordenadas obtidas pela Equação da Reta		AutoCAD2013		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
A	149825,927	249916,671	149825,925	249916,666	0,002	0,005
B	149825,931	249926,665	149825,925	249926,666	0,006	-0,001
C	149837,935	249926,671	149837,925	249926,666	0,010	0,005
D	149837,929	249916,668	149837,925	249916,666	0,004	0,002

A Tabela 72 fornece que a maior diferença em módulo no eixo X foi de 0,010m para o ponto C e no eixo Y foi de 0,005m para os pontos A e C e a menor diferença em módulo no eixo X foi de 0,002m para o ponto A e no eixo Y foi de 0,001m para o ponto B.

5.4.2.4. Locação por cavaletes e Controle com Estação Total

Uma vez locadas as estacas, fixou-se na estaca dois pregos (Figura 69) para a utilização do fio a “nylon”. A Figura 69 mostra as estacas locadas e a amarração do fio a “nylon”.



Figura 69 – Fixação dos pregos nos pontos e amarração do fio a “nylon”.

Foto: Janeiro 2014.

O fio a “nylon” percorreu todas as estacas e através deste foi possível à materialização dos pontos A, B, C e D com o emprego do fio de prumo (Figura 66).

A amarração do fio a “nylon” na direção dos eixos de pilares e a locação do centro de pilar com o fio a prumo (Figura 70).



Figura 70 – Determinando do ponto A área UFPE. Foto: Janeiro 2014.

As distâncias entre os vértices A, B, C e D foram conferidas com a trena e obtiveram-se os seguintes resultados: $D_{AB}=9,988\text{m}$; $D_{BC}=11,996\text{m}$; $D_{CD}=9,989\text{m}$ e $D_{DA}=11,995\text{m}$. Nas diagonais forneceram: $D_{DB}= 15,609\text{m}$ E $D_{AC}=15,610\text{m}$. Foi utilizada uma trena não calibrada, com resolução de 2mm, apenas para ilustração do procedimento de verificação. Ressalta-se que é necessário o emprego de uma trena de aço calibrada para a verificação das distâncias.

Após a locação dos pontos vértices A, B, C e D foi realizado o controle posicional dos mesmos através da estação total (Figura 71).



Figura 71 – Controle posicional da locação do ponto A. Foto: Janeiro 2014.

Nas Tabelas 73, 74 e 75 são apresentadas as coordenadas determinadas pelo método da irradiação simples a partir do vértice EPS04, com o emprego da irradiação simples a partir do vértice L1 e irradiação dupla a partir dos vértices EPS04 e L1, assim como a comparação destes resultados com as coordenadas definidas no *AutoCAD2013*.

Tabela 73 – Coordenadas dos pontos A, B, C e D a partir do vértice ESP04 (Irradiação Simples)

Vértice	Ponto Visado	Coordenadas (Irradiação Simples)		Coordenadas (<i>AutoCad2013</i>)		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX	ΔY
EPS04	A	149825,952	249916,646	149825,925	249916,666	-0,027	0,020
	B	149825,964	249926,659	149825,925	249926,666	-0,039	0,007
	C	149837,957	249926,664	149837,925	249926,666	-0,032	0,002
	D	149837,949	249916,663	149837,925	249916,666	-0,024	0,003

Nota-se que na Tabela 73 que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no eixo X de 0,0039m e no eixo Y de 0,0007m para o ponto B.

Tabela 74 – Coordenadas dos pontos A, B, C e D a partir do vértice L1 (Irradiação Simples)

Vértice	PV	Coordenadas (Estação Total)		Coordenadas (AutoCad2013)		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX	ΔY
L1	A	149825,912	249916,691	149825,925	249916,666	0,013	-0,025
	B	149825,928	249926,655	149825,925	249926,666	-0,003	0,011
	C	149837,939	249926,659	149837,925	249926,666	-0,014	0,007
	D	149837,935	249916,660	149837,925	249916,666	-0,010	0,006

Nota-se que na Tabela 74 que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no eixo X de -0,0014m para o ponto C e no eixo Y de -0,0025m para o ponto A.

Tabela 75 – Coordenadas dos pontos A, B, C e D a partir dos vértices EPS04 e L1 (Irradiação Dupla)

Vértice	PV	Coordenadas (Estação Total)		Desvios- padrão		Coordenadas (AutoCad2013)		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	x (m)	y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX	ΔY
EPS04/L1	A	149825,932	249916,669	0,3673	0,3045	149825,925	249916,666	-0,007	-0,003
	B	149825,946	249926,657	0,1953	0,1652	149825,925	249926,666	-0,021	0,009
	C	149837,948	249926,662	0,1760	0,0602	149837,925	249926,666	-0,023	0,004
	D	149837,942	249916,661	0,1752	0,0611	149837,925	249916,666	-0,017	0,005

Nota-se que na Tabela 74 que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no eixo X de -0,0023m para o ponto C e no eixo Y de 0,0009m para o ponto B.

Analisando os resultados pelo Teste de Hipótese a unidade de peso a posteriori para o primeiro caso $\hat{\sigma}^2_0 = 7,6767$, e atribuindo as hipóteses básicas como $H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$, obteve-se o primeiro caso $X^2 = 61,4133$, com o nível de significância 5%, obteve-se para um intervalo de confiança entre: 1,65 e 17,54 para o segundo caso com o grau de liberdade igual a oito. Portanto, com o nível de significância de 5% tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}^2_0$.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo principal desta dissertação foi de analisar a acurácia posicional das estruturas geodésicas implantadas com os levantamentos geodésicos/topográficos e com os métodos de locação, estes últimos empregando-se receptores GNSS (método de posicionamento cinemático RTK), estações totais (método polar) e fios a "nylon" e a prumo (método por cavaletes).

Neste contexto, fez-se necessário a implantação de pontos de referência externa e interna à obra com o emprego de receptores GNSS (método de posicionamento relativo estático) e estações totais (método da poligonação com centragem forçada, interseção a ré, interseção a vante, irradiação dupla, e bilateração) e determinação de pontos-objeto por meio da irradiação simples e dupla, interseção a vante e bilateração (capítulo 4).

Para o controle e padronização dos dados adquiridos em campo foram empregadas, as normas nacionais da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 13.133/1994, 14.166/1998, 14.645-1/2002 e 14.645-3/2005 e as resoluções PR nº 01 de 2005, PR nº 05 de 1993 e PR nº 22 de 1983, e Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS(2008) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (capítulo 2).

Nas análises das estruturas geodésicas determinadas com os levantamentos geodésicos/topográficos e com os métodos de locação empregados, nesta dissertação, foram utilizados os métodos de ajustamento das observações e Teste de Hipótese a um nível de confiança de 95% (capítulo 5).

6.1. CONCLUSÕES

A primeira parte desta dissertação consistiu em implantar, verificar a precisão e acurácia dos métodos planimétricos (poligonação, irradiação simples e dupla, bilateração, interseção a vante e a ré) empregados na área de estudo 1 – Madalena. Além disso foi definido um STL na área de estudo e realizado em levantamento das quinas da propriedade e pregos fixados no

gabaritos da obra pelo método da interseção a vante. Conforme a metodologia aplicada e levando em consideração as análises feitas para os resultados conclui-se que as estruturas geodésicas externas localizadas no entorno da área (EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT01 e GT83) poderão ser utilizadas para o georreferenciamento dos demais lotes existentes na quadra, favorecendo o cumprimento da NBR 14.166/1998.

Os métodos de irradiação dupla, bilateração, interseção a vante e a ré, poligonação com centragem forçada empregados para definir as estruturas geodésicas internas à obra, apresentam bons resultados. Os métodos de irradiação dupla, bilateração, interseção a vante e a ré quando comparados com o método da poligonação com centragem forçada, obtiveram diferenças ΔX e ΔY em módulo abaixo de, respectivamente: $\Delta X = 0,0012\text{m}$ no eixo X do vértice E5 e $\Delta Y = 0,0056\text{m}$ no eixo Y do vértice E7 para a interseção a vante; $\Delta X = -0,0039\text{m}$ no eixo X do vértice E8 e $\Delta Y = 0,0051\text{m}$ no eixo Y do vértice E5 para a irradiação dupla; $\Delta X = -0,0094\text{m}$ no eixo X e $\Delta Y = -0,0019\text{m}$ no eixo Y do vértice E5 para a bilateração; $\Delta X = -0,0174\text{m}$ no eixo X e $\Delta Y = -0,0044\text{m}$ no eixo Y do vértice E7 para estação livre (interseção a ré por meio de medição de combinação direção e distância); e $\Delta X = -0,0188\text{m}$ no eixo X e $\Delta Y = 0,0237\text{m}$ no eixo Y no vértice E7 para interseção a ré por meio de medição de direção. Por isso, conclui-se que estes métodos também podem ser empregados na densificação das estruturas geodésicas. Ressalta-se que a NBR 14.645-3/2005 recomenda apenas o método da poligonação para a definição dos pontos de referência para o procedimento de locação. Com base nos experimentos realizados nesta dissertação verificou-se que os outros métodos planimétricos citados acima também podem ser utilizados para a definição dos pontos de referência.

A segunda parte desta dissertação consistiu em implantar, verificar a precisão e acurácia dos métodos planimétricos (poligonação com centragem forçada e interseção a ré com centragem forçada) empregados na área de estudo 2 – Campus Recife UFPE, apresentaram bons resultados. Os métodos de interseção a ré quando comparados com o método da

poligonação obtiveram diferenças em módulo ΔX e ΔY abaixo de, respectivamente: $\Delta X=0,002$ e $\Delta Y=0,002$ Interseção a ré por meio de medição combinada de distâncias e direções; $\Delta X=0,003$ e $\Delta Y=-0,002$ Interseção a ré por meio de medição de distâncias; e $\Delta X=-0,001$ e $\Delta Y=0,002$ Interseção a ré por meio de medição de direção;

O método MMQ – Modelo Paramétrico e o Teste de Hipótese empregados na poligonação, interseção a vante, irradiação dupla e interseção a ré possibilitaram a verificação da precisão e da qualidade de cada ponto da estrutura geodésica interna à obra localização na área de estudo 1 – Madalena e área de estudo 2 – Campus Recife UFPE, a um nível de confiança de 95%. Em todos os casos analisados não se tem evidência para rejeitar unidade de peso a posteriori obtidas.

A terceira parte abordou a locação por diferentes métodos: método de posicionamento RTK por receptores GNSS, Método Polar sem automatização e com os comandos embutidos, e método por cavaletes com emprego de fio “a nylon” e fio a prumo. A locação foi realizada na área de estudo 2 – Campus Recife UFPE. O posicionamento dos pontos locados por esses métodos foi controlado por estação total empregando-se os métodos de irradiação simples e dupla, e interseção a vante. Estes experimentos tiveram os objetivos de comparar os métodos de locação e verificar as qualidades dos mesmos. Conforme a metodologia aplicada e levando em consideração as análises feitas para os resultados conclui-se que as coordenadas dos pontos locados com GNSS; estação total e método da irradiação simples; estação total e comandos embutidos; e com fio a pruma e a “nylon” (método por cavaletes) quando comparadas com as coordenadas definidas no AutoCAD2013 obtiveram diferenças inferiores ΔX e ΔY , respectivamente: $\Delta X= 0,060\text{m}$ para o ponto C e $\Delta Y=-0,091\text{m}$ para o ponto B para o método de posicionamento RTK por receptores GNSS; $\Delta X=0,005\text{m}$ para o ponto D e $\Delta Y= 0,003\text{m}$ para os pontos A, B e C utilizando os comandos embutidos; e $\Delta X=-0,023\text{m}$ para o ponto C e $\Delta Y=0,009\text{m}$ para o ponto B utilizando o fio a pruma e a “nylon”.

Ressalta-se que na locação por cavaletes ocorreram problemas com respeito à espessura do cavalete fabricado. Para o contorno para esse problema foi buscado com a utilização de estacas para a materialização dos eixos dos pilares. Para o estudo da propagação dos erros nos pontos locados na área de estudo 2 – *Campus Recife UFPE* foram utilizadas equações de retas definidas pelas estacas materializadoras dos eixos de pilares. Comparando os pontos de interseções destas retas com os pontos definidos para a locação foi possível determinar o desvio posicional de cada ponto locado com fio a “nylon” e fio a prumo, obtendo-se diferenças inferiores ΔX e ΔY , respectivamente quando comparadas com as coordenadas definidas no AutoCAD2013. Foi realizado o ajustamento dos pontos mas a unidade de peso a posteriori foi rejeitada com 95%.

6.2. RECOMENDAÇÕES

De acordo com as comparações, resultados obtidos e análises realizadas nesta dissertação recomendam-se:

- Averiguar as normas internacionais sobre locação e controle e comparar as mesmas com as normas brasileiras;
- Considerar a altimetria na locação e seu controle; e
- Considerar o desvio da vertical na definição do STL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT: NBR 13.133 – **Normas Técnicas para a Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro. 1994.

ABNT: NBR 14.166 - **Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento**. Rio de Janeiro. 1998.

ABNT: NBR 14.645 - **Elaboração do “como construído” (“as built”) para Edificações. Parte 1: Levantamento Planialtimétrico e Cadastral de Imóvel Urbanizado com Área até 25 000 m², para fins de Estudos, Projetos e Edificação. 2000.**

ABNT: NBR 14.645-3 – **Locação Topográfica e Controle Dimensional da Obra – Procedimento**. Rio de Janeiro. 2005.

Alva. G, M, S. **Desenhos de formas estruturais em edifícios de concreto armado**. Universidade Federal de Santa Maria Centro de Tecnologia. Departamento de Estruturas e Construção Civil. Disciplina: ECC 1008 – Estruturas de Concreto. Santa Maria, 2007.

BARROS, E. O. **Controle geométrico da estrutura de concreto de edifícios como ferramenta da racionalização construtiva**. 136p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da USP, São Paulo. 2001.

BORGES, A. C. **Topografia Aplicada à Engenharia Civil**. Editora Edgar Blucker Ltda., São Paulo, 1994.

BOTELHO, F. J. L. ; ROMAO, V. ; FERREIRA, T. F. ; DE SEIXAS, A. **O Controle dimensional de edificações por métodos geodésicos**.

In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2003, Belo Horizonte. XXI CBC. BELO HORIZONTE: SBC, 2003. v. 1.

BOTELHO, F. J. L. ; ROMAO, V. ; FERREIRA, T. F. ; DE SEIXAS, A. **Técnicas Geodésicas para Racionalização Construtiva no Posicionamento Preciso de Edificações Prediais.** I Simpósio em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - CTG/UFPE. Recife- PE. 2004.

BOTELHO, F. **Métodos de Racionalização Construtiva no posicionamento preciso de Edificações Prediais.** Diss. Apresentada ao programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2003.

DAL'FORNO. G. L, AGUIRRE. A. J, HILLEBRAND. F. L, GREGÓRIO. F. DE V. **TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS GEODÉSICAS EM COORDENADAS NO PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL PELOS MÉTODOS DA NORMA NBR 14166:1998 E O DE ROTAÇÕES E TRANSLAÇÕES.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife. 2010.

De Almeida, L, C. **Elementos estruturais (Notas de aula da disciplina AU405 – Concreto).** Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil. Departamento de Estruturas. 2006.

DE FREITAS, S. R. C. **Sistemas Geodésicos de Referência e Bases Cartográficas: Parte I - Aspectos Introdutórios.** Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Palestra apresentada como atividade do Projeto PADCT UFPE/UFPR, Recife, 16 a 19/03/2005.

DIN 18710 - **Engenharia de Medição – Parte 1: Finalidades Gerais; Parte 2: Levantamento; Parte 3: Locação e Parte 4: Monitoramento.** 2002.

ERBA, D.A.; THUM, B. A.; SILVA, C.A. da; SOUZA, G.C. de; VERONEZ, M. R.; LEANDRO, R. F.; MAIA, T.C. B. **Topografia para estudantes de Arquitetura, Engenharia e Geologia**. 2003.

GARNÉS, S. J. A. AstGeoTop. **Software**. Recife-PE: Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco. Compilação nov. 2011.

GARNÉS, S. J. A. **Sistema de Projeção e Orientação das Plantas Topográficas**. COBRAC 98 – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – UFSC – Florianópolis. 1998.

GARNÉS, S. J. A et al. **Definição para implantação do Sistema Topográfico Local de Campo Grande – MS e análise das fórmulas da NBR 14.166**. IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas - IV CBCG. Curitiba. 2005.

GARNÉS, S. J. A.; FIRKOWSKI, H. Sistema topográfico local: conceitos e sistematização. In.: **I CBCG**. I Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, PR, 1999

GEMAEL, C. **Geodésia Física**. Curitiba: Editora UFPR. 319p. 1999. (Reimpressão 2002).

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações geodésicas**. Curitiba: Editora UFPR. 319p. 1994.

GUIMARÃES, V. **Controle dimensional e geométrico**. Disponível em: <<http://upf.tche.br/~vagner/#D>>. (Acessado em 29 de Dezembro de 2012).

HASEGAWA, J. GALO, M. MONICO, J. IMAI, N. **Sistema de Localização e Navegação Apoiado por GPS**. Disponível em: [www.topografia.ufsc.br/Arquivos GPS/Loc_Nav_GPS.pdf](http://www.topografia.ufsc.br/Arquivos/GPS/Loc_Nav_GPS.pdf).

HOFFMANN-WELLENHOF, B. LICHTENEGGER, H. COLLINS, J. GPS – **Theory and Practice**. 5th edition, Springer. 2001.

IEZZ, GERSON. **Fundamentos da Matemática Elementar (Geometria Analítica)**. Editora Atual. 1977.

Instituto Alemão para Normalização (em alemão Deutsches Institut für Normung (DIN)). Disponível em: <<http://www.din.de/cmd?level=tpl-home&contextid=din>> (Acessado: 07/11/2012).

IBGE, 1998. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos (Coletânea de Normas Vigentes)**, Preprint.

IBGE. A Resolução PR nº22 - **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos**. 1983.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **A Resolução PR nº 01 – Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro**. 2005.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Ajustamento da Rede Planimétrica Brasileira em SIRGAS2000**. 2006a.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Ajustamento Simultâneo da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro**. Relatório. 2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Resolução PR nº5 - **Levantamentos Relativos Estáticos – GPS: Especificações e Normas Gerais para Levantamentos GPS**. 1993.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **SIRGAS2000: O Referencial Geocêntrico do Brasil**. Revista Ponto de Referência - IBGE. 2006b.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS. 2008**.

International Standard Organization. **ISO 4463-1**: Measurement methods for building setting out and measurement. Switzerland. 1989.

KAHMEN,H; FAIG, W. **Surveying**. Berlin. 1988. Ed. De Gruyter.

Manual do Topcon Tools V.8.2.

MENDONÇA, F, J, B. GARNÉS, S, J, 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 Topocêntrico**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2010.

MCCORMAC, J. **Surveying**. 5th ed. Tradução Daniel Carneiro da Silva; revisão técnica Daniel Rodrigues dos Santos, Douglas Corbari Corrêa, Felipe Coutinho Ferreira da Silva –Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MOESER. U.A. **Handbuch Ingenieurgeodäsie**. Grundlagen. Moeser, Mueller, Schlemmer, Werner (Hrsg), 3.; Voelling Neugerbeitet und erweiterte Auflage. 2000.

MONICO, J. F. G. **“Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações”**. 2ed. São Paulo: Unesp, 2008.

PEÑA, J. S. **LA INTERSECCIÓN INVERSA: MÉTODO GEOMÉTRICO, TOPOGRÁFICO Y CARTOGRÁFICO**. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Santander, España – 5-7 junio de 2002.

RODRIGUES, E. Apostila de Construções I: 1 - Análise Estrutural. 2005. Disponível

em:http://www.fag.edu.br/professores/maalmeida/Sistemas_Estruturais_I/Aula%200%20-%20Analise%20de%20Estruturas.pdf. (Acessado: 05/12/12).

ROMÃO, V. M. C.; CARNEIRO, A. F. T.; SILVA, T. F. **Rede de referência cadastral municipal: uma proposta do grupo de trabalho sobre cadastro municipal (GTCM) do DECart – UFPE**. In: Anais II Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC. Florianópolis, 13 a 17 out 1996 p. III – 412.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. 2nd ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2003.

SILVA, T.F; DE SEIXAS, A.; ROMÃO, V. M. C. **Conceituação de Campos de Pontos na Medição de Deformação de Objetos**. Anais do I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. Recife, 2004.

SOUZA, W.GARNÉS, S. **PROPOSTA DE APERFEIÇOAMENTO DOS LEVANTAMENTOS DE IMÓVEIS RURAIS PARA FINS DE VISTORIA DO INCRA**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife. p. 001-009. 2010.

SOUZA, WEDSON. **Aplicação de Métodos para Determinação do Desvio da Vertical na Integração de Posicionamento GNSS com Levantamentos Topográficos, ano de obtenção: 2013**. Diss. p.11.

TRIMBLE. **User guide 3300 DR**. 2004.

VILA FLOR, C. D. R. **Rede geodésica cadastral do campus Recife da UFPE: Fase I – planejamento e implantação da rede principal**. Trabalho final de

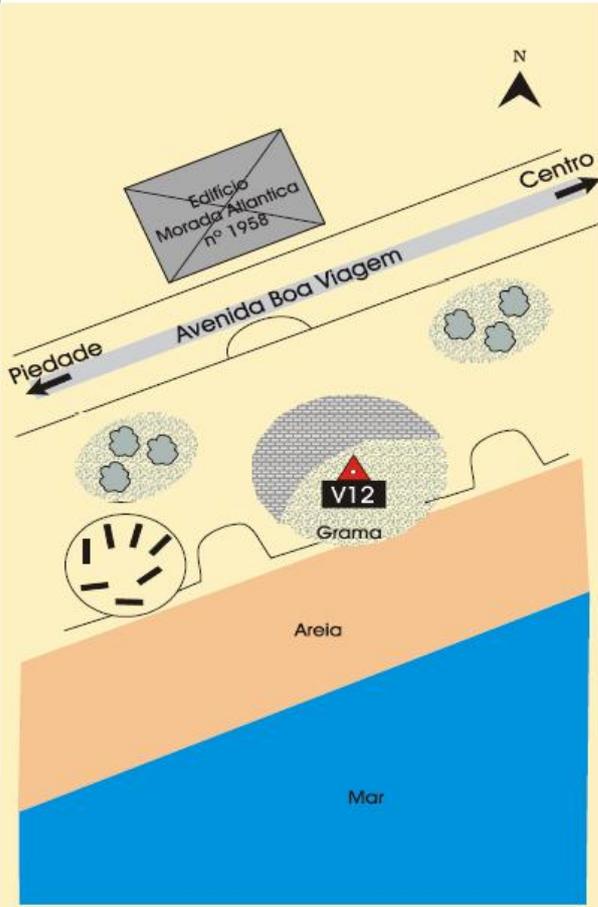
graduação. Relatório parcial. Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

APÊNDICES

Apêndice 1 - Monografia dos Marcos Levantado no município do Recife –PE.

Estação: EM2	
Município: Recife	
Data do rastreo: 12/11/2013	
Localização: Localizada na esquina entre as ruas Ernani Braga e João Coimbra. Bairro da Madalena.	
DADOS PLANIMÉTRICOS SIRGAS2000	
Latitude: 8°03'07,40514''S	UTM (N): 9109455,293m
Longitude: 34°54'38,05416''W	UTM (E): 289445,721
Sigma Latitude: 0,002	Sigma (N): 0,002
Sigma Longitude: 0,002	Sigma (E): 0,002
Foto:	
	

Estação: EM3	
Município: Recife	
Data do rastreo: 12/11/2013	
Localização: Localizada na esquina entre as ruas João Coimbra e Monsenhor Silva. Bairro da Madalena	
DADOS PLANIMÉTRICOS	
SIRGAS2000	
Latitude: 8°03'07,32536''S	UTM (N): 9109457,331m
Longitude: 34°54'40,93626''W	UTM (E): 289357,450m
Sigma Latitude: 0,002	Sigma (N):0,002
Sigma Longitude: 0,002	Sigma (E): 0,002
Foto:	
	

 MONOGRAFIA DE MARCOS		
Nome da Estação: V12		Obra / Ano: 819/07
DADOS GERAIS	SISTEMA DE PROJEÇÃO-UTM	COORDENADAS
Município: Recife Localidade: Boa Viagem Linha: 02 Folha: 90-13-00 Foto/Faixa: 78/15 Data: 10/2007	Meridiano Central = 33° W Origem N (Equador) = 10000000 m Origem E (MC 33° W) = 500000 m K0 = 0.9996 DATUM H SIRGAS-2000 DATUM V Imbituba/SC	LAT. = 08° 06' 30.16493"S LONG. = 34° 53' 17.32463"W N = 9103236.979 m E = 291946.791 m H (GEOM) = -1.433 m H (ORTO.)* = 4.533 m
Descrição: Marco de concreto tronco piramidal, medindo 20x30x60cm, encimado por Chapa metálica, com as seguintes inscrições: V-12, PROTEGIDO POR LEI – PREF. RECIFE – ENGEFOTO CURITIBA; DATA 10/07.		
CROQUIS	ITINERÁRIO	
	Estação V12 está localizada na Avenida Boa Viagem, enfrente ao prédio de Nº1958, em um canteiro.	
	* Altitude ortométrica obtida por nivelamento geométrico.	
	FOTO	
		

Estação: L1	
Município: Recife	
Localização: Entre a CTG e CAC, próximo a um poste.	
DADOS PLANIMÉTRICOS SIRGAS2000	DADOS ALTIMÉTRICOS SIRGAS2000
Latitude: -8°03`04,69415"	UTM (N): 284735,911m
Longitude: -34°57`11,83679"	UTM (E): 9109516,340m
Foto:	
	

Estação: L2	
Município: Recife	
Localização: Fica do lado esquerda do Restaurante Universitário no sentido entrada da UFPE.	
DADOS PLANIMÉTRICOS SIRGAS2000	DADOS ALTIMÉTRICOS SIRGAS2000
Latitude: -8°03`04,37170"	UTM (N): 284795,550
Longitude: -34°57`09,88780"	UTM (E): 9109526,532
Foto:	
	

Estação: L3	
Município: Recife	
Localização: Fica na esquina da letra e do nome UFPE.	
DADOS PLANIMÉTRICOS SIRGAS2000	DADOS ALTIMÉTRICOS SIRGAS2000
Latitude: $-8^{\circ}03'05,52641''$ Longitude: $-34^{\circ}57'08,27036''$ Sigma Latitude: Sigma Longitude:	UTM (N): 284845,252m UTM (E): 9109491,289m Sigma (N): Sigma (E):
Foto:	
	

Estação: P2	
Município: Recife	
Localização: Fica próximo a quadra concha da UFPE.	
DADOS PLANIMÉTRICOS SIRGAS2000	DADOS ALTIMÉTRICOS SIRGAS2000
Latitude: -8°03`06,78609"	UTM (N):284848,160m
Longitude: -34°57`08,18145"	UTM (E): 9109452,579m
Sigma Latitude:	Sigma (N):
Sigma Longitude:	Sigma (E):
Foto:	
	

Estação: P1	
Município: Recife	
Localização: Fica logo no início da quadra que fica próximo a concha da UFPE.	
DADOS PLANIMÉTRICOS SIRGAS2000	DADOS ALTIMÉTRICOS SIRGAS2000
Latitude: $-8^{\circ}03'06,68374''$	UTM (N): 284796,528m
Longitude: $-34^{\circ}57'09,86695''$	UTM (E): 9109455,495m
Sigma Latitude:	Sigma (N):
Sigma Longitude:	Sigma (E):
Foto:	
	

Ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados - Modelo Paramétrico aplicado no Método de Poligonal

São conhecidas as coordenadas dos vértices E5 e E7, e foram observadas as distâncias dos mesmos a estação desconhecida E8.

Caderneta de campo; ângulos e distâncias observadas com o respectivo erro médio quadrático:

Calcular as coordenadas ajustadas da estação E8, bem como a precisão dessas coordenadas, das observações ajustadas e dos resíduos:

Pontos Fixos		
Vértices	E	N
E5	150056,9894	249891,0317
E7	150055,0084	249915,0173

Medidas Observadas em Campo					
Observações	L _b	Precisões	Observações	L _b	
D ₁	8,4420	0,005m	∂ ₁	32,2135416667	5''
D ₂	24,0671	0,005m	∂ ₂	136,9956944444	5''
D ₃	30,7854	0,005m	∂ ₃	10,7880555556	5''

1. Equações de Observações (1) e (2), Cálculo dos parâmetros aproximados e matriz L= L_b-L₀

$$d_i = \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2} \quad (1)$$

$$\alpha_i = \text{arcTAN}_{i,i+1} - \text{arcTAN}_{i,i-1} \quad (2)$$

L
0,00049354
0,00015364
-0,00064740
29,98451909
8,51941822
-28,75393730
10,99930730

Parâmetros Aproximados	L ₀
D _{E8,E5}	8,4425
D _{E5,E7}	24,0672
D _{E7,E8}	30,7848
Q ₁ = AZ _{E8,E5} - AZ _{E8,E7}	32,2147089774
Q ₂ = AZ _{E5,E7} - AZ _{E5,E8}	136,9967070756
Q ₃ = AZ _{E7,E8} - AZ _{E7,E5}	10,7885839470
AZ _{E8,E5}	38,2776293068

2. Linearização das Equações de Observação Matriz A, e matrizes A' e P

Matriz A			
0,6195	0,7850	0,0000	0,0000
0,0823	-0,9966	-0,0823	0,9966
0,0000	0,0000	0,1055	0,9944
19178,5750	-15135,8307	-6662,7965	707,2038
-27719,8509	14430,4200	8541,2760	705,4107
8541,2760	705,4107	-1878,4795	-1412,6145

19178,5750	-15135,8307	0,0000	0,0000				
Peso							
40000	0	0	0	0	0	0	0
0	40000	0	0	0	0	0	0
0	0	40000	0	0	0	0	0
0	0	0	0,04	0	0	0	0
0	0	0	0	0,04	0	0	0
0	0	0	0	0	0,04	0	0
0	0	0	0	0	0	0	100
MATRIZ A ^t							
0,6195	0,0823	0,0000	19178,5750	-27719,8509	8541,2760	19178,5750	0,6195
0,7850	-0,9966	0,0000	-15135,8307	14430,4200	705,4107	-15135,8307	0,7850
0,0000	-0,0823	0,1055	-6662,7965	8541,2760	-1878,4795	0,0000	0,0000
0,0000	0,9966	0,9944	707,2038	705,4107	-1412,6145	0,0000	0,0000

3. Aplicação do MMQ, formação das Equações Normais $(X = -(A^tPA)^{-1}A^tPL)$, estimação do Vetor dos Parâmetros Corrigidos (X_0) .

MATRIZ A ^t P							
24780,5774	3292,3286	0,0000	767,1430	-1108,7940	341,6510	1917857,4982	24780,5774
31399,4105	-39864,2769	0,0000	-605,4332	577,2168	28,2164	-1513583,0713	31399,4105
0,0000	-3292,3286	4221,9713	-266,5119	341,6510	-75,1392	0,0000	0,0000
MATRIZ (A ^t PA) ⁻¹				MATRIZ A ^t PL			
6,9523E-07	8,80903E-07	4,79971E-07	2,57196E-06	21098849,0387	X = -(A ^t PA) ⁻¹ A ^t PL	X ₀	
8,80903E-07	1,11621E-06	6,08072E-07	3,25893E-06	-16662403,3611	0,0039	150056,9894	
4,79971E-07	6,08072E-07	5,43936E-07	1,60512E-06	-2923,2538	0,0056	249891,0317	
2,57196E-06	3,25893E-06	1,60512E-06	1,46764E-05	2693,6966	0,0024	150055,0084	
					0,0014	249915,0173	

4. Cálculo dos Resíduos: $V = A.X + L$, Cálculo das Observações Ajustadas: $L_a = L_b + V$, Variância da Observação de Peso Unitário (A Posteriori) e Desvio-padrão (σ^2)

V		La	σ^2
0,00733330	(V ^T PV)/(n-u)	8,4493	0,940861426
-0,00390853		24,0632	
0,00104235		30,7865	
4,20231873		115972,9523	
3,64547189		493188,1455	
1,90220939		38838,9022	
0,00000000		137799,4655	

5. Matriz Variância-Covariância dos Parâmetros Ajustados

		MVC	
9,71404E-07	1,23097E-06	6,70664E-07	3,5933E-06
1,23097E-06	1,55995E-06	8,49753E-07	4,55357E-06
6,70664E-07	8,49753E-07	7,59777E-07	2,24248E-06
3,5933E-06	4,55357E-06	2,24248E-06	2,04913E-05
9,71404E-07	1,23097E-06	6,70664E-07	3,5933E-06

Ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados - Modelo Paramétrico aplicado no Método de Interseção a Vante
 São conhecidas as coordenadas dos vértices GT83 e GT01, e foram observadas as distâncias dos mesmos a estação desconhecida E8.
 Caderneta de campo; ângulos e distâncias observadas com o respectivo erro médio quadrático:

Calcular as coordenadas ajustadas da estação E8, bem como a precisão dessas coordenadas, das observações ajustadas e dos resíduos:

Pontos Fixos		
Vértices	E	N
GT01	150087,2612	249873,6916
GT83	150050,6597	249875,0918

Medidas Observadas em Campo		
Observações	L _b	Precisões
D ₁	9,3862	0,005m
∂ ₁	85,0406250000	5''
∂ ₂	14,6346527778	5''

estação E8, bem como a precisão dessas coordenadas, das

- Equações de Observações (1) e (2), Cálculo dos parâmetros aproximados e matriz L= L_b-L₀

$$d_i = \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2} \quad (1)$$

$$\alpha_i = \arctan N_{i,i+1} - \arctan N_{i,i-1} \quad (2)$$

Parâmetros Aproximados	L ₀
D _{GT83_E8}	9,3878
∂ ₁ = AZ _{E8_GT83} -AZ _{E8_E8}	85,0406249995
∂ ₂ = AZ _{GT83_E8} -AZ _{GT83_E8}	14,6346527778

L
0,0017
0,0000
0,0000

- Linearização das Equações de Observação Matriz A, e matrizes A^t e P

Matriz A		MATRIZ A ^t			Peso		
0,1245	0,9922	0,1245	-21800,6719	1612,8702	40000	0	0
-21800,6719	2734,7879	0,9922	2734,7879	5333,5363	0	0,04	0
1612,8702	5333,5363				0	0	0,04

3. Aplicação do MMQ, formação das Equações Normais ($X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L$), estimação do Vetor dos Parâmetros Corrigidos (X_0).

$$\begin{array}{c}
 \left| \begin{array}{ccc}
 & \text{MATRIZ } A^T P & \\
 19115445,5565 & -2035776,3898 & 19115445,5565 \\
 -2035776,3898 & 1476407,2685 & -2035776,3898
 \end{array} \right| \left| \begin{array}{cc}
 & \text{MATRIZ } (A^T P A)^{-1} \\
 6,13182E-08 & 8,45499E-08 \\
 8,45499E-08 & 7,93903E-07
 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c}
 \text{MATRIZ } A^T P L \\
 8,2490 \\
 65,7580
 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c}
 X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L \\
 -6,06565E-06 \\
 -5,2903E-05
 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c}
 X_0 \\
 150051,8282 \\
 249884,4066
 \end{array} \right|
 \end{array}$$

4. Cálculo dos Resíduos: $V = A.X + L$, Cálculo das Observações Ajustadas: $L_a = L_b + V$, Variância da Observação de Peso Unitário (A Posteriori) e Desvio-padrão (σ^2)

$$\left| \begin{array}{c}
 V \\
 0,0016 \\
 -0,0124 \\
 -0,2919
 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c}
 L_a \\
 17,18201337 \\
 148,873986 \\
 14,72409203
 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c}
 (V^T P V)/(n-u) \\
 0,1063
 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c}
 \sigma^2 \\
 0,3260
 \end{array} \right|$$

5. Matriz Variância-Covariância dos Parâmetros Ajustados

$$\left| \begin{array}{cc}
 & \text{MVC} \\
 6,5166E-09 & 8,98556E-09 \\
 8,98556E-09 & 8,43722E-08
 \end{array} \right|$$

Ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados - Modelo Paramétrico aplicado no Método de Interseção a Ré
 São conhecidas as coordenadas dos vértices E7 e E1, e foram observadas as distâncias dos mesmos a estação desconhecida E2.

Caderneta de campo; ângulos e distâncias observadas com o respectivo erro médio quadrático:

Calcular as coordenadas ajustadas da estação E2, bem como a precisão dessas coordenadas, das observações ajustadas e dos resíduos:

Pontos Fixos		
Vértices	E	N
E7	150055,0788	249915,0190
E1	150056,7299	249932,3148

Medidas Observadas em Campo		
Observações	L _b	Precisões
D ₁	28,2162	0,005m
D ₂	22,2105	0,005m
∂ ₁	38,0069444444	5''

1. Equações de Observações (1) e (2), Cálculo dos parâmetros aproximados e matriz L = L_b-L₀

$$d_i = \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2} \quad (1)$$

$$\alpha_i = \text{arcTAN}_{i,i+1} - \text{arcTAN}_{i,i-1} \quad (2)$$

Parâmetros Aproximados	L ₀
DE2_E7	28,2164
DE2_E1	22,2105
α1 = AzE2_E1 - AzE2_E7	38,0069444444

L
-0,0013
0,0000
0,0000

2. Linearização das Equações de Observação Matriz A, e matrizes A^t e P

Matriz A	
0,8422	0,5392
0,9956	-0,0938
-4812,1028	-3089,3477

MATRIZ A ^t		
0,8422	0,9956	-4812,1028
0,5392	-0,0938	-3089,3477

Peso		
40000	0	0
0	40000	0
0	0	0,04

3. Aplicação do MMQ, formação das Equações Normais (X = -(A^tPA)⁻¹A^tPL), estimação do Vetor dos Parâmetros Corrigidos (X₀).

MATRIZ A ^t P		
994273,6049	609079,9318	994273,6049
609079,9318	393742,4771	609079,9318

MATRIZ (A ^t PA) ⁻¹	
1,91982E-05	-2,96976E-05
-2,96976E-05	4,84789E-05

MATRIZ A ^t PL
5,0539
3,2354

X = -(A ^t PA) ⁻¹ A ^t PL
-9,40035E-07
-6,76303E-06

X ₀
150078,8426
249930,2324

4. Cálculo dos Resíduos: $V = A.X + L$ e Cálculo das Observações Ajustadas: $L_a = L_b + V$, Variância da Observação de Peso Unitário (A Posteriori) e Desvio-padrão (σ^2).

V	L_a
-0,0012	0,0002
0,2138	0,0000
0,2140	0,0000

$(V^T P V)/(n-u)$	σ^2
0,0009	0,0296

5. Matriz Variância-Covariância dos Parâmetros Ajustados

MVC	
1,67717E-08	-2,59441E-08
-2,59441E-08	4,23516E-08

Ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados - Modelo Paramétrico aplicado no Método de Irradiação Dupla
 São conhecidas as coordenadas dos vértices E7 e E1, e foram observadas as distâncias dos mesmos a estação desconhecida E2.

Caderneta de campo; ângulos e distâncias observadas com o respectivo erro médio quadrático:

Calcular as coordenadas ajustadas da estação E2, bem como a precisão dessas coordenadas, das observações ajustadas e dos resíduos:

Pontos Fixos		
Vértices	E	N
E7	150055,0788	249915,0190
E1	150056,7299	249932,3148

Medidas Observadas em Campo					
Observações	L _b	Precisões	Observações	L _b	Precisões
D ₁	22,2104	0,005m	∂ ₁	90,0687500000	5''
D ₂	28,2160	0,005m	∂ ₂	51,9215972222	5''

1. Equações de Observações (1) e (2), Cálculo dos parâmetros aproximados e matriz L= L_b-L₀

$$d_i = \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2} \quad (1)$$

$$\alpha_i = \text{arcTAN}_{i,i+1} - \text{arcTAN}_{i,i-1} \quad (2)$$

Parâmetros Aproximados	L ₀	L
DE2_E7	22,2106	0,0002
DE2_E1	28,2156	-0,0004
α1= AzE2_E1-AzE2_E7	90,0697807338	3,7106
α1	51,9220385959	1,5889

2. Linearização das Equações de Observação Matriz A, e matrizes A^t e P

Matriz A	MATRIZ A ^t	Peso
0,9956 -0,0938	0,9956 0,8422 871,2854 3941,2435	40000 0 0 0
0,8422 0,5391	-0,0938 0,5391 9245,8259 -6156,8824	0 40000 0 0
871,2854 9245,8259		0 0 0,04 0
3941,2435 -6156,8824		0 0 0 0,04

3. Aplicação do MMQ, formação das Equações Normais ($X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L$), estimação do Vetor dos Parâmetros Corrigidos (X_0).

$$\begin{array}{c|c|c|c|c}
 \text{MATRIZ } A^T P & & \text{MATRIZ } (A^T P A)^{-1} & \text{MATRIZ } A^T P L & X_0 \\
 \hline
 \begin{array}{ccc}
 719722,7841 & -633974,2301 & 719722,7841 \\
 -633974,2301 & 4947678,674 & -633974,2301
 \end{array} & & \begin{array}{cc}
 1,5662E-06 & 2,00686E-07 \\
 2,00686E-07 & 2,2783E-07
 \end{array} & \begin{array}{c}
 373,6308 \\
 972,4106
 \end{array} & \begin{array}{c}
 -0,00078033 \\
 -0,000296527
 \end{array} \\
 \hline
 & & & & \begin{array}{c}
 150078,8417 \\
 249930,2307
 \end{array}
 \end{array}$$

4. Cálculo dos Resíduos: $V = A.X + L$ e Cálculo das Observações Ajustadas: $L_a = L_b + V$

$$\begin{array}{c|c}
 V & L_a \\
 \hline
 -0,0006 & -0,0006 \\
 -0,0012 & -0,0012 \\
 0,2891 & 0,2890
 \end{array}$$

5. Variância da Observação de Peso Unitário (A Posteriori) e Desvio-padrão (σ^2)

$$\begin{array}{c|c}
 (V^T P V)/(n-u) & \sigma^2 \\
 \hline
 0,0392 & 0,1979
 \end{array}$$

6. Matriz Variância-Covariância dos Parâmetros Ajustados

$$\begin{array}{c|c}
 \text{MVC} & \\
 \hline
 \begin{array}{cc}
 6,13409E-08 & 7,8593E-09 \\
 7,8593E-09 & 8,92328E-09
 \end{array} &
 \end{array}$$

Ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados - Modelo Paramétrico aplicado no Método de Interseção a ré por meio de medições de distâncias. São conhecidas as coordenadas dos vértices E7 e E1, e foram observadas as distâncias dos mesmos a estação desconhecida E2.

Caderneta de campo; ângulos e distâncias observadas com o respectivo erro médio quadrático:

Calcular as coordenadas ajustadas da estação E2, bem como a precisão dessas coordenadas, das observações ajustadas e dos resíduos:

Pontos Fixos		
Vértices	E	N
L1	149804,7161	249962,3836
L2	149864,3917	249972,294
L3	149913,9197	249936,822
P2	149916,6441	249898,1245
P1	149865,0361	249901,265

Medidas Observadas em Campo					
Observações	L _b	Precisões	Observações	L _b	Precisões
D ₁	35,8405	0,005m	D ₄	109,3480	0,005m
D ₂	69,7670	0,005m	D ₅	59,7190	0,005m
D ₃	103,1600	0,005m			

1. Equações de Observações (1) e (2), Cálculo dos parâmetros aproximados e matriz L= L_b-L₀

$$d_i = \sqrt{(X_{I+1} - X_I)^2 + (Y_{I+1} - Y_I)^2} \quad (1)$$

$$\alpha_i = \text{arcTAN}_{i,i+1} - \text{arcTAN}_{i,i-1} \quad (2)$$

Parâmetros Aproximados	L ₀
DEPS04_L1	35,8399
DEPS04_L2	69,7659
DEPS04_L3	103,1639
DEPS04_P2	109,3517
DEPS04_P1	59,7199

L
-0,0006
-0,0011
0,0039
0,0037
0,0009

2. Linearização das Equações de Observação Matriz A, e matrizes A^t e P

Matriz A	
0,1812	-0,9834
-0,7623	-0,6473
-0,9956	-0,0939
-0,9642	0,2653
-0,9013	0,4332

MATRIZ A ^t				
				-
0,1812	-0,7623	-0,9956	-0,9642	0,9013
-0,9834	-0,6473	-0,0939	0,2653	0,4332

$$\begin{vmatrix} \text{Peso} & & & & \\ 40000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 40000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 40000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 40000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 40000 \end{vmatrix}$$

3. Aplicação do MMQ, formação das Equações Normais ($X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L$), estimação do Vetor dos Parâmetros Corrigidos (X_0).

$$\begin{vmatrix} \text{MATRIZ } A^T P \\ 133880,2794 & -9505,82303 & 133880,2794 \\ -9505,82303 & 66119,72061 & -9505,82303 \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} \text{MATRIZ } (A^T P A)^{-1} \\ 7,54639E-06 & 1,08492E-06 \\ 1,08492E-06 & 1,52801E-05 \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} \text{MATRIZ } A^T P L \\ -299,1793 \\ 89,0282 \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L \\ 0,0022 \\ -0,0010 \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} X_0 \\ 149811,2136 \\ 249927,1361 \end{vmatrix}$$

4. Cálculo dos Resíduos: $V = A.X + L$ e Cálculo das Observações Ajustadas: $L_a = L_b + V$, Variância da Observação de Peso Unitário (A Posteriori) e Desvio-padrão (σ^2), Matriz Variância-Covariância dos Parâmetros Ajustados

$$\begin{vmatrix} V \\ 0,0009 \\ -0,0021 \\ 0,0018 \\ 0,0013 \\ -0,0015 \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} L_a \\ 0,0009 \\ -0,0020 \\ 0,0018 \\ 0,0013 \\ -0,0015 \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} (V^T P V)/(n-u) \\ 0,1636 \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} \sigma^2 \\ 0,4045 \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} \text{MVC} \\ 1,23467E-06 & 1,77526E-07 \\ 1,77526E-07 & 2,49996E-06 \end{vmatrix}$$

Ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados - Modelo Paramétrico aplicado no Método de Interseção a ré por meio de medições de direções. São conhecidas as coordenadas dos vértices E7 e E1, e foram observadas as distâncias dos mesmos a estação desconhecida E2.

Caderneta de campo; ângulos e distâncias observadas com o respectivo erro médio quadrático:

Calcular as coordenadas ajustadas da estação E2, bem como a precisão dessas coordenadas, das observações ajustadas e dos resíduos:

Pontos Fixos		
Vértices	E	N
L1	149804,7161	249962,3836
L2	149864,3917	249972,294
L3	149913,9197	249936,822
P2	149916,6441	249898,1245
P1	149865,0361	249901,265

Medidas Observadas em Campo					
Observações	L _b	Precisões	Observações	L _b	Precisões
∂ ₁	60,107777778	5''	∂ ₃	115,8322916667	5''
∂ ₂	95,0588194444	5''	∂ ₄	126,1193055556	5''

1. Equações de Observações (1) e (2), Cálculo dos parâmetros aproximados e matriz L= L_b-L₀

$$d_i = \sqrt{(X_{I+1} - X_I)^2 + (Y_{I+1} - Y_I)^2} \quad (1)$$

$$\alpha_i = \text{arcTAN}_{i,i+1} - \text{arcTAN}_{i,i-1} \quad (2)$$

Parâmetros Aproximados	L ₀	L
∂ ₁	60,1077778845	0,0004
∂ ₂	95,0569324267	-6,7933
∂ ₃	115,8295215788	-9,9723
∂ ₄	126,1168329124	-8,9015

2. Linearização das Equações de Observação Matriz A, e matrizes A^t e P

Matriz A	MATRIZ A ^t	Peso
3746,2510 3296,9181	3746,2510 5472,2479 6160,4071 7156,3136	0,04 0 0 0
5472,2479 3033,7935	3296,9181 3033,7935 2861,8713 4156,1339	0 0,04 0 0
6160,4071 2861,8713		0 0 0,04 0
7156,3136 4156,1339		0 0 0 0,04

3. Aplicação do MMQ, formação das Equações Normais ($X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L$), estimação do Vetor dos Parâmetros Corrigidos (X_0).

MATRIZ $A^T P$	MATRIZ $(A^T P A)^{-1}$	MATRIZ $A^T P L$	$X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L$	X_0
5325733,319 3053025,696	4,79567E-06 -8,03807E-06	-6492,3418	0,0034	149811,2158
3053025,696 1821493,125	-8,03807E-06 1,40217E-05	-3445,7387	-0,0039	249927,1341

4. Cálculo dos Resíduos: $V = A.X + L$ e Cálculo das Observações Ajustadas: $L_a = L_b + V$, Variância da Observação de Peso Unitário (A Posteriori) e Desvio-padrão (σ^2), Matriz

		Variância-Covariância dos Parâmetros Ajustados		
V	L_a	$(V^T P V)/(n-u)$	σ^2	MVC
0,1183	0,1165	0,0022	0,0464	1,03178E-08 -1,72895E-08
0,2771	0,2751			-1,72895E-08 3,01524E-08
0,1295	0,1274			

