

---

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

---

ERMERSON DE VASCONCELOS SILVA

**MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS E  
ESTABELECIMENTO DE PADRÕES DE REFERÊNCIA METROLÓGICA:  
CAMPUS RECIFE DA UFPE**



Recife

2017

ERMERSON DE VASCONCELOS SILVA

**MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS E  
ESTABELECIMENTO DE PADRÕES DE REFERÊNCIA METROLÓGICA:  
CAMPUS RECIFE DA UFPE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, defesa em 10/03/2017.

**Área de concentração:** Geodésia Aplicada.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andréa de Seixas

Recife

2017

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

S586m Silva, Ermerson de Vasconcelos.

Monitoramento de estruturas geodésicas altimétricas e estabelecimento de padrões de referência metrológica: Campus Recife da UFPE / Ermerson de Vasconcelos Silva. - 2017.

165 folhas, il., tabs.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Andréa de Seixas.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2017.

Inclui Referências, apêndices e anexos.

1. Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2. Controle e análise de qualidade de estruturas geodésicas altimétricas. 3. Nivelamento geométrico de alta precisão. 4. Nível digital. 5. ISO 17123 – Parte 2. 6. Análise de variância. I. Seixas, Andréa de (Orientadora). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-169

ERMERSON DE VASCONCELOS SILVA

**MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS E  
ESTABELECIMENTO DE PADRÕES DE REFERÊNCIA METROLÓGICA:  
CAMPUS RECIFE DA UFPE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovado em: 10/03/2017.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Andréa de Seixas (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Tiago Leite Rolim (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Francisco Jaime Bezerra Mendonça (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

A Deus, pela graça da vida. A minha família e amigos pelo apoio, em especial a minha mãe Maria José de Vasconcelos Silva, por todo sacrifício e dedicação em prol da minha felicidade e dos meus sonhos.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por não fazer as minhas vontades, e sim atender as minhas necessidades. Diante de tantas dificuldades, hoje, estou aqui, mas com a certeza que sempre em todos os caminhos trilhados até esse momento, Deus sempre esteve presente. Portanto, obrigado Deus por esse momento, em que mais um sonho se realiza.

A minha Mãe Maria José de Vasconcelos Silva, que mesmo em tantas dificuldade e limitações, sempre esteve comigo. A toda a minha família por toda dedicação e apoio, em especial a Edilson Bezerra da Silva (o meu Pai), Maria Eulália de Vasconcelos Silva e José Edson de Vasconcelos Silva (meus irmãos), Aurilene Pontes (minha namorada) e a todos que de alguma forma contribuíram para este momento.

À Professora Luciene Ferreira Gama, que sempre me incentivou a prosseguir nessa vida acadêmica.

À Professora Dra. Andréa de Seixas pela orientação, dedicação, incentivos e apoio, nesses dois anos de mestrado.

Aos meus amigos da vida (Em especial: Samuel Carlos; João Vitor, Márcio Petterson, Adriano Rodrigues entre outros), agradeço.

Aos alunos do Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação (Amanda Matias, Raul Cumbe, José Paulo, Alex da Silva, Glauco Freitas, Raimundo Nonato, Weyller Diogo e Marcio Silva).

Aos alunos da graduação do curso de Engenharia Cartográfica da UFPE (Maria Luciana, Carla Barbosa, Leonardo Gomes, Nathalia Rose, Priscila Alves, Renata Miranda, Welisson Santos, Camila Ribeiro, Tarcito Richarles, Wallamys Venancio, Suelder Oliveira, Luiz Canto, Daladiane, João Vitor, Jacqueline, Edson, Davi e Erikson Caio).

Ao Engenheiro Civil José Roberto de Seixas pela a ajuda na materialização das estruturas que compõe a Rede Altimétrica implantada.

À PROPESQ/UFPE pela bolsa de pesquisa CAPES/PROPESQ, ao Departamento de Engenharia Cartográfica pela concessão dos Equipamentos e acessórios locados no Laboratório de Geodésia – LAGEO, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Ao Projeto de Pesquisa Controle e Monitoramento de Recalques - Edifício em Construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis - LITPEG CTG/UFPE nº 3076.040512/2015-15 PROPESQ/UFPE e ao Projeto de Pesquisa A Contribuição da Geodésia Aplicada para a Discretização de Edificações Prediais – Continuação nº 454844/2012-3 Edital PQ-Multiusuário 2014 .

Aos Professores da banca examinadora, pelas contribuições propostas para esta dissertação.

Por fim, agradeço aos Professores do Programa da Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, pelo conhecimento e experiência transferida.

## RESUMO

A determinação de altitude na Superfície Topográfica da Terra é importante para diversos estudos no campo da Engenharia e da Geodésia (monitoramento de recalque, subsidência, definição de Redes de Referência Altimétrica, entre outros). Estes estudos são realizados com base em pontos de referência, identificados como sendo estáveis. Todavia, nenhum ponto de referência pode ser considerado estável antes que a sua estabilidade seja verificada. Nesse contexto, esta Dissertação tem o objetivo de analisar a estabilidade das estruturas geodésicas altimétricas implantadas e definir padrões de referência altimétrica no *Campus Recife* da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), verificando sua estabilidade durante o período de um ano (2015 a 2016). Neste sentido foram materializadas catorze Referências de Nível, sendo sete pinos de superfícies semiesféricas encrostados nas bases e sete pinos engastados nos pilares da Rede de Referência Cadastral da UFPE, compondo uma Rede Geodésica Altimétrica com 14 novas Referências de Nível dentro do Campus Recife, distribuídas entre os Centros da Cidade Universitária. Além destas a Rede Altimétrica contemplou cinco Referências de Nível (RRNN) auxiliares, duas RRNN engastadas na estrutura do Prédio do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) e três RRNN da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do IBGE. Para o levantamento das estruturas geodésicas altimétricas foi empregado um nível digital de altíssima precisão (ISO 17123-2, 2001), mira ínvar de código de barras e o método de nivelamento geométrico, tendo com base as normas vigentes no Brasil para o estabelecimento da rede Altimétrica. As medições ocorreram em seis épocas (uma em novembro de 2015, uma em fevereiro de 2016, duas em maio de 2016 e duas em dezembro de 2016). Inicialmente, foi feita uma análise das RRNN da RAAP do IBGE, para verificar a qualidade e estabilidade dessas estruturas, e em seguida foi realizada a análise sobre a Rede Altimétrica densificada no Campus Recife da UFPE para o estabelecer um padrão de referência altimétrico. Para o controle e análise de qualidades das estruturas geodésicas preexistentes e implantadas, considerou-se o Método dos Mínimos Quadrados - modelo paramétrico. Uma análise de variâncias foi realizada, utilizando os testes Tukey e Sheffé. Concluiu-se a importância da análise das RRNN da RAAP, para a densificação de estruturas verticais, haja vista que, as informações constantes no banco de dados geodésicos do IBGE, podem apresentar discrepâncias devido ao reajustamento geral da rede de RRNN, exigindo sempre um controle altimétrico, quando são considerados os casos de levantamentos e aplicações para a Engenharia. A análise da estabilidade considerou a Rede Altimétrica levantada e ajustada em novembro de 2015 como padrão de referência altimétrica e metrológica para as campanhas realizadas nesta Dissertação. Verificou-se que houve uma variação altimétrica neste intervalo de um ano, menor discrepância na RN CTG02 de 0,01 mm (campanha 01 para campanha 06), e maior discrepância na RN04 de 9,71 mm (campanha 01 para campanha 06), isto confirmado a partir das respectivas altitudes ajustadas e da análise de variâncias, que evidenciou diferenças entre as amostras.

**Palavras-chave:** Controle e análise de qualidade de estruturas geodésicas altimétricas. Nivelamento geométrico de alta precisão. Nível digital. ISO 17123 – Parte 2. Análise de variância.

## ABSTRACT

Determining altitude in the Earth's Topographic Surface is important for several studies in the Engineering and Geodesy area (repression monitoring, subsidence, definition of Altimetric Reference Networks, among others). That determination is performed on the basis of reference points, identified as being stable. However, no reference point can be considered stable before the verification of its stability. In this context, this master dissertation aimed for analyzing the stability of altimetric geodetic structures implanted and defining altimetric reference standards in the Recife Campus of the Federal University of Pernambuco (UFPE), verifying its stability during the period of one year (2015 to 2016). In this sense, fourteen Level References were materialized, with seven pins of semi-spherical surfaces fixed in the bases and seven pins embedded UFPE Cadastral Reference Network pillars, composing an Altimeter Geodetic Network with 14 new Level References within the Recife Campus, distributed among the entire campus. In addition to these, the Altimétrica Network included five auxiliary Level References (RRNN), two RRNN embedded in the structure of the Center for Technology and Geosciences (CTG) and three RRNN on the IBGE's High Accuracy Altitude (RAAP) Network. For surveying altimetric geodesic structures, a very high precision digital level (ISO 17123-2, 2001), bar code scanning and geometric leveling method were used, based on the standards in force in Brazil for the establishment of the Altimétrica network. Measurements occurred in six seasons (one in November 2015, one in February 2016, two in May 2016 and two in December 2016). Initially, an analysis of IBGE RAAP's RRNN was carried out to verify the quality and stability of these structures, and then the analysis on the Densified Altimetric Network at the Recife Campus of UFPE an carried out to establish an altimetric reference standard. For controlling and analysing of preexisting and implanted geodesic structures qualities, we considered the least square method - parametric model. A variance analysis was performed using the Tukey and Sheffé tests. It was concluded the importance of analysis the NRAP the RAAP, for the densification of vertical structures, since, the information contained in the IBGE's geodetic database may present discrepancies due to the general readjustment the RRNN network, always requiring an altimetric control, when considering the cases of Surveys and applications for Engineering. The Altimétrica Network raised and adjusted in November of 2015 was defined as an altimetric and metrological reference standard for the remaining measurement campaigns carried out in this Dissertation. It was verified that there was an altimetric variation in this one year interval smaller discrepancy in the RN CTG02 of 0.01 mm (campaign 01 for campaign 06), and greater discrepancy in the RN04 of 9,71 mm (campaign 01 for campaign 06). This was confirmed from the Respective adjusted altitudes and the analysis of variances that showed differences among the samples.

**Keywords:** Quality control and analysis of altimetric geodetic structures. High accuracy geometric leveling. Digital level. ISO 17123 - Part 2. Analysis of variance

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Geoide, a média do nível do mar, topografia continental e superfície topográfica do mar...	24
Figura 2 - Elementos envolvidos na definição das altitudes físicas.....	24
Figura 3 – Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro.....	27
Figura 4 - Rede de Alta Precisão do SGB – Cidade do Recife-PE.....	29
Figura 5 - Lances de nivelamento entre o ponto A e B.....	33
Quadro 1 - Classificação de Níveis Ópticos (contexto Nacional).....	34
Quadro 2 - Classificação de Níveis Ópticos (contexto Internacional).....	34
Figura 6 - Método simples de calibração.....	38
Figura 7 - Método simples de calibração.....	38
Figura 8 - Método completo de calibração.....	39
Figura 9 - Ajuste do nível segundo Kukkamäki.....	40
Quadro 3 - ANOVA.....	51
Fotografia 1 - Estruturas geodésicas altimétricas implantadas nas bases e nos pilares da RRC da UFPE. Foto: 30/09/2015.....	53
Figura 10 - Área de estudo, Universidade Federal de Pernambuco, Campus Recife da UFPE.....	55
Fotografia 2 – RRNN Auxiliares. Fotos: 03/11/2015.....	55
Figura 11 - Fluxograma da metodologia aplicada.....	56
Fotografia 3 - Alinhamento dos pinos semiesféricos da Base de Calibração. Foto: 22/09/2015.....	57
Fotografia 4 - Alinhamento dos pontos A, B, C, D, E1, E2 e E3 da base de calibração. Foto: 22/09/2015.....	58
Fotografia 5 - Implantação dos pontos da base de calibração. Foto: 21/09/2015.....	58
Fotografia 6 - Estruturas geodésicas altimétricas implantadas nas bases e nos pilares da Rede de Referência Cadastral da UFPE. Exemplo: Marco geodésico EPS05. Foto: 22/09/2015.....	59
Figura 12 - Geometria da Rede de Nivelamento, Campus Recife – UFPE.....	60
Fotografia 7 - Nível Digital DNA 03, mira de ínvar de 2 m e sapata para materialização dos pontos auxiliares durante o levantamento de campo. Foto: 28/02/2016.....	61
Fotografia 8 - Método simples de calibração do equipamento de nível digital DNA 03 (Leica). Foto: 31/10/2015.....	62
Fotografia 9 - O nível digital posicionado a uma distância aproximadamente equidistante entre a mira de ré e de vante. Foto: 03/11/2015.....	65
Figura 13 - Datas das campanhas de medição.....	65
Figura 14 - Rede de Referência Altimétrica, circuitos (I, II, III, IV, V, VI, VII), linhas de nivelamento geométrico (L1, L2, L3,..., L41) e sentido da medição realizada em campo.....	66
Figura 15 - RRNN do IBGE dentro do Campus Recife da UFPE.....	68
Figura 16 – Esboço das linhas de nivelamento 11, 12 e 13 levantadas a partir das RRNN da RAAP do IBGE.....	69
Figura 17 - Análise de variâncias entre as altitudes.....	74
Figura 18 - Esboço da rede de nivelamento geométrico: em vermelho tem-se a rede referente à medição dos parafusos e azul a rede referente à medição dos pinos de superfícies semiesféricas.....	76
Figura 19 - Análise estatística (teste Bilateral).....	79
Figura 20 - Representação gráfica das discrepâncias entre as Campanhas de medição (Pinos de superfícies semiesférica).....	118
Figura 21 - - Representação gráfica das discrepâncias entre as Campanhas de medição (Parafusos).....	118
Figura 22 - Representação gráfica das discrepâncias entre as variâncias das amostras das campanhas de medição - Pino de superfície semiesférica. Unidade em centésimo de milímetro do eixo vertical.....	119
Figura 23 - Representação gráfica das discrepâncias entre as variâncias das amostras das campanhas de medição - Parafusos. Unidade em centésimo de milímetro do eixo vertical.....	121
Quadro 4 – Intervalos de tempo entre as medições.....	123

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise da verificação e calibração do nível digital utilizando o método simples da ISO 17123 parte 2 (2001). .....	63
Tabela 2 - Resultados da verificação e calibração do nível digital pelo método completo da ISO 17123-2 (2001). .....	63
Tabela 3 - Resultados do erro de colimação c durante a verificação e ajuste do equipamento. ....	64
Tabela 4 - Erros de fechamento, perímetros e a tolerâncias dos circuitos realizados pelo método do nivelamento geométrico ( RRNN do IBGE). .....	69
Tabela 5 - Diferenças de nível entre as RRNN do IBGE.....	69
Tabela 6 – Variância da unidade de peso unitário a posteriori das campanhas de medição. ....	70
Tabela 7 – Resíduos e respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ) .....	71
Tabela 8 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão.....	72
Tabela 9 – Altitudes ajustadas e respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ). .....	72
Tabela 10 – Análise de variâncias das altitudes ajustadas (Excel, 2010) .....	73
Tabela 11 - Análise de variâncias das medições.....	73
Tabela 12 - Análise das diferenças pelo método de scheffé. Unidades em centésimo de milímetro ....	73
Tabela 13 - Teste Tukey (PAST, 2013). .....	74
Tabela 14 – Altitudes ajustadas das estruturas altimétricas, pelo método proporcional á distância (Novembro de 2015) .....	77
Tabela 15 - Resíduos e seus respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ) ( Campanha de medição 01 - Novembro de 2015).....	80
Tabela 16 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ) ( Campanha de medição 01 - Novembro de 2015). .....	81
Tabela 17 – Altitudes ajustadas da rede de referência altimétrica, Campus Recife da UFPE e respectivos desvios padrão ( $\sigma$ )( Campanha de medição 01 - Novembro de 2015). .....	82
Tabela 18 – Diferenças entre as altitudes ajustadas pelo método proporcional a distância e pelo MMQ – modelo paramétrico ( Campanha de medição 01 - Novembro de 2015). .....	83
Tabela 19 – Altitudes ajustadas pinos de superfícies semiesféricas e parafusos – ajustamento simultâneo.. .....	85
Tabela 20 – Discrepâncias entre as altitudes ajustadas - rede simultânea x redes separadas.....	86
Tabela 21 – Altitudes ajustadas obtidas pelo método proporcional à distância (Campanha de medição 02 - Janeiro de 2016).....	87
Tabela 22 - Resíduos e seus respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ) ( Campanha de medição 02 - Janeiro de 2016).....	89
Tabela 23 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão ( $\sigma$ )(Campanha de medição 02 - Janeiro de 2016). .....	90
Tabela 24 – Altitudes ajustadas da rede de referência altimétrica, Campus Recife da UFPE e respectivos desvios padrão ( Campanha de medição 02 - Janeiro de 2016). .....	91
Tabela 25 – Análise das Discrepâncias das Altitudes de Referência da RAAP .....	92
Tabela 26 – Altitudes ajustadas obtidas pelo método proporcional à distância (Campanha de medição 03 - Maio de 2016).....	93
Tabela 27 - Resíduos e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 03 - Maio de 2016).....	94
Tabela 28 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 03 - Maio de 2016).....	95
Tabela 29 – Altitudes ajustadas da rede de referência altimétrica, Campus Recife da UFPE e respectivos desvios padrão (Campanha de medição 03 - Maio de 2016). .....	96
Tabela 30 – Análise das Discrepâncias das Altitudes de Referência da RAAP .....	97
Tabela 31 – Altitudes ajustadas obtidas pelo método proporcional à distância (Campanha de medição 04 - Maio de 2016).....	97

Tabela 32 - Resíduos e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 04 - Maio de 2016).....	99
Tabela 33 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 04 - Maio de 2016).....	100
Tabela 34 – Altitudes ajustadas da rede de referência altimétrica, campus recife da UFPE e respectivos desvios padrão (Campanha de medição 04 - Maio de 2016). ....	101
Tabela 35 – Discrepâncias entre a campanha de medição 03 e a campanha de medição 04. ....	102
Tabela 36 – Altitudes ajustadas obtidas pelo método proporcional à distância (Campanha de medição 05 - Dezembro de 2016). ....	103
Tabela 37 - Resíduos e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 05 - Dezembro de 2016).....	104
Tabela 38 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 05 - Dezembro de 2016). ....	105
Tabela 39 – Altitudes ajustadas da rede de referência altimétrica, Campus Recife da UFPE e respectivos desvios padrão (Campanha de medição 05 - Dezembro de 2016).....	106
Tabela 40 – Altitudes ajustadas obtida pelo método proporcional à distância (Campanha de medição 06 - Dezembro de 2016). ....	107
Tabela 41 - Resíduos e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 06 - Dezembro de 2016).....	108
Tabela 42 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 06 - Dezembro de 2016). ....	109
Tabela 43 – Altitudes ajustadas da rede de referência altimétrica, campus recife da UFPE e respectivos desvios padrão (Campanha de medição 06 - Dezembro de 2016).....	110
Tabela 44 – Discrepâncias entre a campanha de medição 05 e a campanha de medição 06. ....	111
Tabela 45 - ANOVA (Pinos de superfícies semiesféricas). ....	113
Tabela 46 - ANOVA (Parafusos).....	113
Tabela 47 – ANOVA (pinos de superfícies semiesféricas).....	114
Tabela 48 – ANOVA (Parafusos) .....	114
Tabela 49 – Análise das diferenças das amostras pelo método Scheffé – Pinos de superfícies semiesféricas. Unidade em centésimo de milímetro .....	115
Tabela 50 – Análise das diferenças das amostras pelo método Scheffé – Parafusos. Unidade em centésimo de milímetro .....	115
Tabela 51 – Análise das diferenças das amostras pelo método Scheffé - resumo .....	116
Tabela 52 – Teste Tukey (Pinos de superfícies semiesféricas) .....	117
Tabela 53 - Teste Tukey (Parafusos).....	117
Tabela 54 – Discrepâncias entres as observações ajustadas (desníveis). Medição (Med). ....	124
Tabela 55 - Discrepâncias entres as observações ajustadas (desníveis). Medição (Med) .....	125
Tabela 56 - Discrepâncias entre as altitudes ajustadas da Rede Altimétrica do Campus Recife da UFPE (Pinos de superfícies semiesféricas). Medição (Med). ....	126
Tabela 57 - Altitudes Ajustadas das estruturas que compõem a Rede Altimétrica do Campus Recife da UFPE (Parafusos). Medição (Med). ....	127
Tabela 58 – Análise das amplitudes das Altitudes ajustadas das RRNN (Pinos de superfícies semiesféricas) .....	128
Tabela 59 - Análise das amplitudes das Altitudes ajustadas das RRNN (Parafusos) .....	128

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANSI - *American National Standards Institute*  
CTG - Centro de Tecnologia e Geociências  
CCD - *Charge Campled Device*  
DIN - *Deutches Institut Fur Norrnung*  
DVB-I - Datum Vertical Brasileiro em Imbituba  
GNSS - Global Navigation Satellite System  
FDP - Função de Distribuição de Probabilidade  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IAGS - Serviço Geodésico Interamericano  
IGG - Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo  
ISO - *International Organization for Standardization*  
MMQ - Método dos Mínimos Quadrado  
NGAP - Nivelamento Geométrico de Alta Precisão  
NMM - Nível Médio dos Mares  
RAAP - Rede Altimétrica de Alta Precisão  
RAFB - Rede Altimétrica Fundamental Brasil  
RA - Rede Altimétrica  
RG - Redes Geodésicas  
RGV - Redes Geodésicas Verticais  
RGA - Redes Geodésica Altimétrica  
RN - Referência de Nível  
RRA - Rede de Referência Altimétrica  
RRC - Rede de Referência Cadastral  
RRNN - Referências de Nível  
RV - Rede Vertical  
SC - Santa Catarina  
SAB - Sistema Altimétrico Brasileiro  
SGB - Sistema Geodésico Brasileiro  
SGRV - Sistema Geodésico de Referência Vertical  
SGE - Serviço Geográfico do Exército  
SM - Sistema de Medição  
SRM - Sistema de Referência de Medição  
SR - Sistema de Referência  
SRV - Sistema de Referência Vertical  
TNMM - Topografia do Nível Médio dos Mares  
TGM - Teste Global do Modelo  
UFPE - Universidade Federal de Pernambuco  
VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia

## LISTA DE SIMBOLOS

$g_m^{abs}$	Média dos valores observados da gravidade
$\Delta H^{abs}$	Desnível observado
K	Número total de seções
C	Geopotencial
$g_m$	Valor médio da gravidade
$H_B^N$	Altitude normal
$H_B^{ORT}$	Altitude ortométrica;
N	Ondulação geoidal
$h_B$	Altitude elipsoidal
$\zeta$	Anomalia de altura
$\delta h'$	Correção ortométrica
$\delta \varphi'$	Desenvolvimento em latitude da linha de nivelamento em minutos de arco
$\varphi_M$	Latitude média do trecho
$H_m$	Altitude bruta média do trecho
$S_0$	Distância do ponto inicial ao 2º ponto da linha
$S_{i-1}$	Distância do ponto i-1 ao ponto i
$\Delta h_{AB}$	Desnível total observado
$\Sigma$	Somatório
$\sigma$	Desvio padrão
$Ef$	Erro de fechamento
$d_i$	Comprimento do lance
$n_i$	Números lances
$Dn$	Diferença de nível.
$f$	Funções
$L_a$	Valores observados ajustados
$n \times 1$	Dimensão de matriz
$x_a$	Vetor dos parâmetros ajustados
$n_p$	Precisão vinculada às observações.
$k_i$	Distância nivelada em km.
$\sigma_0^2$	Variância da unidade de peso a priori
$\hat{\sigma}_0^2$	Variância da unidade de peso a posteriori
$l_B$	Valores observados;
v	Resíduos;
X	Vetor de correção
$x_o$	Valores aproximados dos parâmetros
$L_o$	Valores estimados
$L_B$	Valores observados
L	Diferença entre os valores estimados e observados

P	Matriz dos pesos
$Gf$	Grau de liberdade
$\chi^2$	Teste Qui-quadrada
$H_0$	Hipótese nula
$H_a$	Hipótese alternativa
$\Sigma V$	Matrizes Variâncias – Covariâncias dos resíduos
$\Sigma L_a$	Matrizes Variâncias – Covariâncias das observações
$\Sigma X_a$	Matrizes Variâncias – Covariâncias dos parâmetros
$\sigma_E^2$	Variância entre as amostras
$\sigma_R^2$	Variância residual
DMS	Diferença mínima significativa;
$q\alpha$	Valor tabelado (Tabela do Teste de Tukey);
N	Número total de observações;
QME	Quadrado médio do erro;
$n$	Número de réplicas do tratamento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	OBJETIVOS .....	19
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>19</b>
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
<b>2</b>	<b>SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO: REDE ALTIMÉTRICA .....</b>	<b>21</b>
2.1	TIPOS DE ALTITUDES E MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO .....	22
2.2	DEFINIÇÃO DA REDE ALTIMÉTRICA.....	26
<b>2.2.1</b>	<b>Rede Altimétrica de Alta Precisão – RAAP .....</b>	<b>27</b>
2.3	APLICAÇÕES DA REDE ALTIMÉTRICA NO CAMPO DA ENGENHARIA.....	29
2.4	NORMALIZAÇÃO .....	30
<b>3</b>	<b>MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS .....</b>	<b>31</b>
3.1	DEFINIÇÃO DAS ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS .....	31
3.2	DETERMINAÇÃO DAS ALTITUDES POR NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	31
<b>3.2.1</b>	<b>Instrumentação .....</b>	<b>33</b>
3.2.1.1	Níveis digitais .....	34
3.2.1.2	Fontes de erros.....	35
<b>3.2.2</b>	<b>Calibração e verificação.....</b>	<b>36</b>
3.3	DEFINIÇÃO DE PADRÕES DE REFERENCIA ALTIMÉTRICA .....	41
<b>4</b>	<b>CONTROLE DE QUALIDADE DE REDES ALTIMÉTRICAS .....</b>	<b>42</b>
4.1	AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES .....	42
<b>4.1.1</b>	<b>Método proporcional à distância.....</b>	<b>44</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Ajustamento por Método dos Mínimos Quadrados .....</b>	<b>45</b>
4.1.2.1	Matriz dos pesos .....	46
4.1.2.2	Método dos Mínimos Quadrados: Modelo Paramétrico.....	47
<b>4.1.3</b>	<b>Análise estatística para detecção e identificação de erros.....</b>	<b>48</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Análise de variâncias .....</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>EXPERIMENTOS, RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>53</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	53
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	55
5.3	CONSTRUÇÃO DE UMA BASE DE CALIBRAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS .....	57
5.4	LEVANTAMENTO DAS ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS.....	59
<b>5.4.1</b>	<b>Verificação e calibração do nível digital.....</b>	<b>62</b>
5.4.1.1	Calibração pela ISO 17123- parte 2 (2001).....	62
5.4.1.2	Verificação e calibração pelo método Kukkamäki – utilização dos comandos embutidos do nível digital .....	64
<b>5.4.2</b>	<b>Campanhas de medição.....</b>	<b>65</b>
5.4.2.1	Processamento .....	66
5.4.2.2	Análise da qualidade da RAAP do IBGE escolha da referência de nível padrão .	68

5.4.2.3	Análise dos resultados - primeira campanha de medição – Novembro de 2015 ...	75
5.4.2.3.1	<i>Método proporcional á distância</i> .....	76
5.4.2.3.2	<i>Métodos dos Mínimos Quadrados: modelo paramétrico</i> .....	77
5.4.2.3.3	<i>Escolha da referência de nível padrão</i> .....	86
5.4.2.4	Análise dos resultados - segunda campanha de medição – Janeiro de 2016.....	87
5.4.2.4.1	<i>Método proporcional à distância</i> .....	87
5.4.2.4.2	<i>Métodos dos Mínimos Quadrados: modelo paramétrico</i> .....	88
5.4.2.5	Análise dos resultados - terceira campanha de medição – 12 e 13 de Maio de 2016.....	92
5.4.2.5.1	<i>Método proporcional à distância</i> .....	92
5.4.2.5.2	<i>Métodos dos Mínimos Quadrados: modelo paramétrico</i> .....	93
5.4.2.6	Análise dos resultados – quarta campanha de medição-19 e 20 Maio de 2016 ....	97
5.4.2.6.1	<i>Método proporcional a Distância</i> .....	97
5.4.2.6.2	<i>Métodos dos Mínimos Quadrados: modelo paramétrico</i> .....	98
5.4.2.7	Análise dos resultados – quinta campanha de medição – 02 e 03 de Dezembro de 2016.....	103
5.4.2.7.1	<i>Método proporcional à Distância</i> .....	103
5.4.2.7.2	<i>Métodos dos Mínimos Quadrados: modelo paramétrico</i> .....	103
5.4.2.8	Análise dos resultados – sexta campanha de medição – 09 e 10 de dezembro de 2016.....	107
5.4.2.8.1	<i>Método proporcional à Distância</i> .....	107
5.4.2.8.2	<i>Métodos dos Mínimos Quadrados: modelo paramétrico</i> .....	108
<b>5.4.3</b>	<b>Monitoramento das estruturas Geodésicas altimétricas e estabelecimento de padrões de referência metrológica</b> .....	<b>112</b>
5.4.3.1	Análise das variâncias.....	112
5.4.3.2	Testes Scheffé e Tukey .....	114
5.4.3.3	Representação gráfica das variâncias das altitudes ajustadas.....	118
5.4.3.4	Análise das discrepâncias entre os desníveis ajustados pelo MMQ – modelo paramétrico.....	123
5.4.3.5	Análise temporal da variação das altitudes ajustadas .....	126
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>129</b>
6.1	RECOMENDAÇÕES.....	131
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
	<b>APÊNDICES</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## 1 INTRODUÇÃO

Determinar as altitudes de pontos na superfície topográfica terrestre é importante para a diversidade de propósitos no campo da Engenharia, tais como: mapeamento sistemático de território, levantamento e locação de estruturas de edificações prediais, construção e pavimentação de rodovias e estradas, traçados de ferrovias, oleodutos e gasodutos, medição de túneis, posicionamento e controle de máquinas, geração de um modelo geoidal acurado, estudo de recalque em estruturas, investigação de subsidência em áreas de extração de águas, gás, petróleo ou minério, obras de drenagem, entre outras (SEIXAS et al., 2014; GHILANI & WOLF, 2013; CARDOSO, 2005; SANTOS, 2005).

As Altitudes são referenciadas a uma superfície matemática da Terra (por exemplo, o elipsoide de revolução), assim como uma superfície física equipotencial do campo gravitacional da Terra, as quais fornecem a relação geométrica entre pontos e a direção perpendicular à respectiva superfície de referência. Com emprego de equipamentos geodésicos e métodos, como: nivelamento geométrico, nivelamento trigonométrico, nivelamento hidrostático, a gravimetria e nos últimos anos, o nivelamento por satélites GNSS (Global Navigation Satellite System), é possível determinar elevações da superfície topográfica terrestre para diversos fins (ANDERSON & MIKHAIL, 2000; KAVANAGH, 2004; GHILANI & WOLF, 2012).

Entretanto, apesar da existência de várias técnicas aplicáveis na definição de estruturas geodésicas altimétricas (Redes Geodésicas Verticais - RGV), é importante ressaltar que as altitudes determinadas estão relacionadas a uma dada época. As medições de um ou mais pontos, são referenciadas as estruturas geodésicas altimétricas conhecidas, devendo ficar em conformidade com as existentes. Para garantir a qualidade da determinação da altitude e para alcançar maior precisão e exatidão, por exemplo, o método de nivelamento geométrico geralmente estabelece uma rede, contendo intersecção múltipla de linhas de nivelamento ligadas a um ou mais pontos de referência.

Jen-Yu Han et al. (2014), afirmam que as Referências de Nível (RRNN) de uma Rede Geodésica Altimétrica (RGA), ou seja, de uma RGV, estão susceptíveis a movimentos verticais, fazendo com que as suas posições estejam sujeitas a variações ao longo do tempo. Portanto, a desconsideração das variações temporais nas estruturas geodésicas altimétricas é um problema se a rede contém RRNN com movimentos verticais espacialmente variáveis.

Além disso, estes estudos são realizados normalmente, com base em pontos de referência identificados como estáveis, entretanto, ocorre que, por vezes, não é possível

realizar as medidas com referência a pontos estáveis. Quando isso ocorre, o problema de determinar o deslocamento é apresentado na situação em que não existem pontos de referência invariável, e, assim, as medições são efetuadas de um Sistema de Referência (SR) instável (FILUPIAK-KOWSZYK et al, 2015) e (SILVA et al, 2004).

Segundo Zienkiewicz (2014), nenhum ponto de referência pode ser considerado estável antes de a sua estabilidade ser verificada, pois, a instabilidade das referências geodésicas pode trazer sérios problemas, para estudos que sejam considerados pontos de controle, onde a interpretação correta dos resultados depende diretamente da estabilidade desses pontos.

Neste contexto, de acordo com Filipiak-kowszyk et al (2015) e Cardoso (2005), o fenômeno do deslocamento em estruturas na Engenharia é comum, e de grande interesse devido aos riscos atribuídos. Portanto, o acompanhamento da estabilidade de estruturas altimétricas, que compõem um Sistema de Referência Vertical (SRV) é relevante em estudos, que envolvem séries de observações temporais de objetos sujeitos a movimentos verticais.

As RRNN pertencentes à Rede Altimétrica Fundamental do Brasil (RAFB) foram implantadas como parte das redes de apoio geodésico para o mapeamento topográfico sistemático do país, pela fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) desde a década de 40. Essas RRNN foram implantadas com espaçamento médio de 3 km, ao longo de rodovias e ferrovias (SANTOS & SÁ, 2006). Estas foram utilizadas para a definição e expansão das RRNN por todo território brasileiro, compondo assim, a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) (LUZ & GUIMARAES, 2001).

Para a materialização da RAAP foram e ainda são utilizadas chapas metálicas circulares e convexas, cravadas em superfícies estáveis, como afloramentos rochosos, calçadas com espessura adequada, sapatas de sustentação de grandes estruturas de engenharia, entre outras. Entretanto, conforme Luz & Guimarães (2001), o fato da materialização das RRNN não serem utilizados marcos do tipo profundo – em que o ponto de referência (chapa ou pino) é ligado ao substrato rochoso através de varas metálicas de vários metros de profundidade – contribui para uma maior ocorrência de alterações da posição vertical das RRNN. Desta forma, muitas das informações das RRNN hospedadas no banco de dados geodésicos do IBGE são passíveis de incoerência, relacionadas às influências geodinâmicas da superfície, destruição ou obstrução das estruturas altimétricas implantadas e aluimento da crosta terrestre.

Em consonância a essa realidade, esta Dissertação faz um estudo sobre a estabilidade de uma rede de estruturas verticais, a fim de responder as questões relacionadas ao estabelecimento e critério de confiança dado a uma RGA.

Portanto, o Campus Recife da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) atualmente está contemplado com: nove (9) RRNN do IBGE (IBGE, 2016); uma Rede de Referência Cadastral (RRC) (VILA FLOR, 2010; MENDONÇA et al., 2010), na qual foram implantadas nesta catorze (14) pinos nos pilares e bases dos sete (7) marcos geodésicos da Rede de Referência Cadastral da UFPE; e cinco (5) pinos auxiliares no entorno do Campus Recife. Além destes, têm-se dois (2) pinos nas estruturas de dois pilares do prédio do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) e quatro (4) pinos para a base de verificação e calibração de níveis de luneta (SEIXAS & SEIXAS, 2015).

Uma análise da Rede Altimétrica (RA) proporcionou avaliar a qualidade da Rede implantada. Esta foi medida em seis (6) campanhas realizadas com o método de nivelamento geométrico de alta precisão.

Conforme Cavalcanti (2012), o Campus da UFPE está situado na região geomorfológica denominado Planalto Rebaixado Litorâneo, que é formado sobre rochas cristalinas. Nestes domínios, encontram-se as unidades de relevo com diferentes graus de susceptibilidade a escorregamentos, sendo também influenciados pelas ações antrópicas.

Ter estruturas geodésicas altimétricas padrão e confiáveis é de extrema importância, para diversos estudos do campo da Engenharia. Desta forma, o que justifica essa dissertação, é a definição de estruturas geodésicas altimétricas acuradas. Para isso é importante verificar a estabilidade dessas estruturas no decorrer do tempo, para entender seu respectivo comportamento.

Desta forma, mediu-se a Rede Altimétrica em intervalos de tempo pré-estabelecidos e analisou-se o seu comportamento ao longo do tempo em um intervalo de um ano.

Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) (VIM, 2012), um padrão de medição serve frequentemente de referência na obtenção de valores medidos e incertezas de medição associadas para outras grandezas da mesma natureza, estabelecendo assim, uma rastreabilidade metrológica através da calibração de outros padrões, instrumentos de medição ou Sistemas de Medição (SM).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 **Objetivo geral**

Esta dissertação tem como objetivo geral, analisar a estabilidade das estruturas geodésicas altimétricas implantadas e definir padrões de referência altimétrica no *Campus* Recife da UFPE.

### 1.1.2 **Objetivos específicos**

- Construir uma base de calibração de níveis de luneta no *Campus* Recife da UFPE;
- Analisar o nível digital a ser empregado nos levantamentos com base na Norma ISO 17123-parte 2 (2001);
- Executar o nivelamento geométrico de alta precisão e exatidão nas estações da Rede Altimétrica de Primeira Ordem (3641A , 3641B e 3640X da RAAP do IBGE) localizadas no *Campus* Recife da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e avaliar sua respectiva exatidão;
- Expandir a estrutura geodésica altimétrica fundamental na UFPE *Campus* Recife e analisar sua respectiva confiabilidade;
- Realizar uma análise de deformação das estruturas geodésicas altimétricas implantadas.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação é composta por seis capítulos, sendo o primeiro capítulo dedicado à introdução, aos objetivos e justificativas. No segundo capítulo, é apresentada uma revisão teórica sobre o Sistema Geodésico Brasileiro: Rede Altimétrica. Abordando os tipos de altitudes, bem como a sua definição e respectivos métodos, normalizações, assim como as suas aplicações.

O terceiro capítulo trata de uma revisão teórica sobre o Monitoramento de Estruturas Geodésicas Altimétricas, no qual, aborda a definição das estruturas geodésicas altimétricas, a determinação das altitudes por nivelamento geométrico, e por fim a definição de padrões de referência altimétrica.

O capítulo quatro trata do controle de qualidade de Redes Geodésicas Verticais, apresentando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) – modelo paramétrico, uma análise estatística sobre a detecção e identificação de erros, e considerações sobre testes de hipóteses e análises de variância.

O quinto capítulo contém todos os experimentos realizados na dissertação, bem como os resultados obtidos e as respectivas análises realizadas. Finalizando-se com o sexto capítulo com as conclusões e recomendações, seguindo-se as Referências Bibliográficas, Anexos e Apêndices.

## 2 SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO: REDE ALTIMÉTRICA

Em 17 de maio de 1944, o IBGE iniciou a implantação do SGB, que tem sido utilizado ao longo dos anos por usuários necessitados de informações posicionais para diversos fins, tais como: apoio ao mapeamento, obras de engenharia, regulamentação fundiária, posicionamento de plataformas de prospecção de petróleo, delimitação de regiões de pesquisas geofísicas, estudos de monitoramento, entre outros (PEREIRA & AUSGUSTO, 2004).

*“O Sistema Geodésico Brasileiro é definido a partir de um conjunto de pontos geodésicos implantados sobre a porção da superfície terrestre, delimitada pela fronteira dos países. Pontos que são determinados por procedimentos operacionais e calculados, segundo modelos geodésicos de precisão compatível com as finalidades a que se destinam” (IBGE, 1983).*

O conjunto de pontos definidos por estações terrestres, cujas posições foram determinadas com respeito a um Sistema de Coordenadas, constitui as chamadas malhas ou Redes Geodésicas (RG), que proporcionam uma forma de representação pontual da superfície física do planeta (DALAZOANA, 2001).

As Redes do SGB são divididas em Redes Verticais, Redes Horizontais (<sup>1</sup>CASTAÑEDA, 1986, p. 24 apud DALAZOANA, 2001). As Redes de pontos definidos por apenas uma coordenada, a altitude, são conhecidas como Redes Geodésicas Verticais (Altimétricas) e as Redes de pontos, cujas posições horizontais são conhecidas, por exemplo, a latitude e a longitude, são chamadas de Redes Geodésicas Horizontais (Planimétricas).

De acordo com Torge (2001), a razão para a separação em Redes Verticais e Horizontais vem da necessidade do controle horizontal estar definido em um sistema geométrico e do controle vertical estar de alguma forma referida ao campo da gravidade da Terra.

Desta maneira Castro (2002), destaca que o Sistema Altimétrico Brasileiro (SAB) é composto por pontos implantados na superfície topográfica da Terra. Cada ponto é conhecido por Referência de Nível (RN), materializada no terreno, com o objetivo de proporcionar a base altimétrica para os trabalhos de nivelamento referidos ao *Datum* (origem) vertical. O *Datum* vertical corresponde ao ponto, cuja altitude ortométrica, estará diretamente ligada à

---

<sup>1</sup> CASTAÑEDA, R. M. **Ensaio para definição de parâmetros de transformação entre o SAD 69 e o NSWC 92Z**. Curitiba, 1986. 180 p. Dissertação (Mestrado em Geociências). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

superfície equipotencial, que coincide com o Nível Médio dos Mares (NMM) local, materializado através de um marégrafo (origem) (CASTRO, 2002).

No Brasil as altitudes ortométrica são definidas pelo *Datum* Vertical materializado pela superfície equipotencial, superfície de nível melhor ajustada ao NMM, através de técnicas de nivelamento geométrico, referidas as observações maregráficas na baía de Imbituba em Santa Catarina (SC) (DE FREITAS & BLITZKOW, 1999).

No início foi adotada a média das observações do Nível Médio dos Mares obtido no período de um ano (1919 – 1920) no Marégrafo de Torres. Mas em 1958 o *Datum* vertical passou a ser definido pelo Marégrafo de Imbituba (SC), que na época contava com nove anos de funcionamento (IBGE, 1998; MELLO, 1986).

Todavia, a determinação das referências, para o nivelamento de Redes de 1º Ordem deve ser realizada a partir de observações maregráficas superior a um período de 19 anos. A fim de reduzir o efeito das variações periódicas provocadas por influências astronômicas (ALENCAR, 1968).

Mas conforme dados obtidos no *Serviço Geodésico Interamericano* (IAGS), a determinação das altitudes da Rede Vertical de 1º Ordem do Brasil, foi definida a partir do Nível Médio dos Mares acima do zero da régua do marégrafo de Imbituba entre os anos de 1949 a 1957, ou seja, com apenas 9 (nove) anos de medição.

## 2.1 TIPOS DE ALTITUDES E MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO

As altitudes podem ser classificadas segundo sua aplicação e a superfície de referência considerada em sua definição. Neste sentido, podem-se distinguir altitudes do tipo geométrica (niveladas e elipsoidais), altitudes do tipo física (ortométricas, dinâmicas, entre outras) e altitudes do tipo mista (normais) ( DE FREITAS & BLITZKOW, 1999). Assim, o posicionamento vertical em que seja necessária uma alta precisão nos contextos técnicos e científicos, a utilização do conceito de altitude deve ser acompanhada pela identificação do tipo específico de altitude empregada (LUZ, 2016).

Conforme Gemael (1999), as altitudes do tipo geométrico ocorre quando as respectivas altitudes são obtidas por métodos conduzidos sem a consideração da influência gravitacional da Terra. Em contraposição, as altitudes físicas são contadas a partir de certa superfície de nível (equipotencial) do campo da gravidade, materializada de forma aproximada pelo Nível Médio dos Mares, e seu cálculo se dá por meio da associação de informação gravimétrica (LUZ, 2016).

Portanto, Sistemas Geodésicos de Referência Vertical (SGRV) rigorosos devem ser realizados (materializados) por conjuntos de altitudes vinculadas ao campo da gravidade terrestre. Tais altitudes físicas (H) atendem a paradigmas intuitivos, que relacionam conceitos como “alto” e “baixo” ao fluxo de água (TORGE, 2001).

A elas (Altitudes), contrapõem-se as altitudes referidas ao GNSS denominadas de altitudes elipsoidais (LUZ, 2016), e as altitudes niveladas, que resultam das técnicas de nivelamento geométrico (DE FREITAS & BLITZKOW, 1999). Enquanto as primeiras são obtidas por nivelamento geométrico associadas a observações gravimétricas, as altitudes geométricas (h) resultam diretamente da aplicação das técnicas espaciais de posicionamento tridimensional – tais como aquelas associadas aos GNSS denominadas de altitudes elipsoidais (LUZ, 2016).

De acordo com Ghilani e Wolf (2013), podem-se usar diversos métodos, como: o nivelamento geométrico, nivelamento trigonométrico, nivelamento hidrostático, nivelamento barométrico e nos últimos anos o GNSS para a obtenção das altitudes. Entretanto, de Freitas e Blitzkow (1999), mostram que a definição de redes de controle vertical, em geral, é mediante o nivelamento geométrico, sendo materializado por marcos de alvenaria ou chapas metálicas colocadas em local considerado estável.

Desta forma, o nivelamento combinado com a medição da gravidade terrestre proporciona a diferença de potencial (número Geopotencial (C), com significado físico). O número Geopotencial (C) é uma grandeza ideal para descrever o comportamento de massa no campo da gravidade, através da diferença de potencial de gravidade entre o geoide e o ponto de interesse (TORGE, 2001). Assim, o Geopotencial é a base para definição de coordenadas verticais, Equação 1.

$$C_B = W_o - W_B = \int_o^B g dH \approx \sum_{i=1}^K (g_m^{abs} \Delta H^{abs}) \quad (1)$$

Sendo:  $g_m^{abs}$  a média dos valores observados da gravidade em cada par de pontos nivelados (seção),  $\Delta H^{abs}$  o respectivo desnível observado, e K o número total de seções (TORGE, 2001), ou seja, C pode ser determinado a partir do nivelamento geométrico e da gravidade ao longo de todo o trajeto entre  $W_o; W_B$  (Figura 1).



A conceituação de altitude ortométrica estar vinculada ao geoide, ou seja, definida como a distância, medida ao longo da vertical, entre o geoide e ponto de interesse ( $H_B^{ORT}$ ). Entretanto, devido à dificuldade na obtenção de gravidade ( $g$ ), utiliza-se um parâmetro aproximado para  $g$ , definindo  $g$  como o valor médio  $g_m$ , Equação 2 (TORGE, 2001; GEMAEL, 1999).

$$H_B^{ORT} = \frac{C_B}{g_m} \quad (2)$$

Sendo:  $g_m$  o valor médio da gravidade entre o geoide e a superfície física, ao longo da vertical ( $B_0$  e  $B$ , na Figura 2) (TORGE, 2001).

Pelo fato de que não se pode determinar o valor  $g$  ao longo da vertical, Molodenskiy et. al. (1960), introduziram o conceito de altitude normal ( $H_B^N$ ). Estes propuseram uma expressão precisa para o gradiente da vertical de gravidade normal, cuja altitude refere-se ao quase geoide. Pois, enquanto a altitude ortométrica é a separação do ponto e relação ao geoide, à altitude normal ( $H_B^N$ ) é a separação em relação ao quase geoide e o ponto de interesse (GEMAEL, 1999).

Para as altitudes normais ( $H_B^N$ ), substitui-se (DE FREITAS & BLITZKOW, 1999) o valor médio da gravidade real  $g_m$  pelo equivalente da gravidade normal  $\gamma_m$ , (Equação 3):

$$H_B^N = \frac{C_B}{\gamma_m} \quad (3)$$

Conforme Gemael (1999), devido ao não paralelismo dos geóides as altitudes não permanecem constantes sobre eles, a partir desse contexto foi concebida a altitude dinâmica, onde se consideram valores constantes para a gravidade de referências. Portanto, substitui-se  $g$  por um valor constante, que pode ser a gravidade normal ou outra arbitrada (GEMAEL, 1999).

Todavia, devido às dificuldades existentes, na determinação de um referencial físico para as altitudes, outra forma de correção parcial aplicada ao desnível medido, buscando a consideração de ordem física em um nivelamento, é a aplicação da denominada "Correção Ortométrica", a qual elimina o efeito da variação da distância entre geóides, devida a variação de latitude (DE FREITAS & BLITZKOW, 1999).

Entretanto, embora usual, esta correção nada tem a ver com a definição precisa de altitude ortométrica. Mas é extensamente aplicada nas redes de nivelamento e também adotada no Brasil. Este tipo de correção independe de observações gravimétricas, sendo aplicada diretamente ao desnível bruto medido, Equação 4.

$$\delta h' = 1542 \times 10^{-9} \times H_m \times \delta \varphi' \times \text{sen}(\varphi_M) \quad (4)$$

Sendo:

$\delta h'$  - correção ortométrica em um trecho de nivelamento geométrico;

$\delta \varphi'$  - desenvolvimento em latitude da linha de nivelamento, em minutos de arco;

$\varphi_M$  - latitude média do trecho;

$H_m$  - altitude bruta média do trecho, dada ponderadamente por (Equação 5):

$$H_m = \frac{H_0 s_0 + H_n s_{n-1} + \sum_{i=1}^{n-1} H_i (s_{i-1} + s_i)}{2 \sum_{i=0}^{n-1} s_i} \quad (5)$$

Sendo:

$s_0$  - distância do ponto inicial ao 2º ponto da linha;

$s_{i-1}$  - distância do ponto i-1 ao ponto i.

Usualmente, a amplitude assumida ( $\delta \varphi'$ ) decorre da extensão de trecho de nivelamento e contranivelamento em sequência (DE FREITAS & BLITZKOW, 1999). Contudo, a definição rigorosa das altitudes ainda é um problema a ser resolvido.

## 2.2 DEFINIÇÃO DA REDE ALTIMÉTRICA

A definição de um SRV é caracterizada pela escolha tanto da superfície de referência quanto da coordenada, isto é, a grandeza parametrizadora da posição vertical em relação a tal superfície. Que por sua vez é um Sistema de Referência do Geopotencial solidário com a Terra em seus movimentos no espaço. Que, segundo IHDE (2007), simplesmente um conjunto de pontos materializados com valores ou diferenças do Geopotencial determinados com relação a um valor de Geopotencial de referência.

De acordo com Romão (2006) e IBGE (1983), a Rede Geodésica Altimétrica Brasileira é composta por pontos de coordenadas verticais, chamadas de altitudes ortométricas, determinadas por nivelamento geométrico, referenciadas à superfície do geóide.

Os pontos da rede altimétrica são chamados RRNN, e são hierarquicamente desenvolvidos, de Primeira Ordem até a Quarta Ordem. No Brasil, a RAAP (Primeira Ordem) é definida em relação ao NMM.

### 2.2.1 Rede Altimétrica de Alta Precisão – RAAP

Em 1945 teve início o estabelecimento do SGB altimétrico, no extremo Sul do Brasil. Inicialmente, o SGB altimétrico fez conexão com as Redes de nivelamento implantadas pelo então Serviço Geográfico do Exército (SGE) (1950) e Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo (IGG) (1962). Posteriormente, expandiu-se para a direção norte do País e a partir da década de 1970 a implantação da RAAP foi direcionada ao interior do país. A Figura 3 representa a atual configuração da RAAP (IBGE, 2016).

Figura 3 – Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro



Fonte: IBGE, 2016.

Conforme o IBGE (2011), a medição da RAAP foi executada pelo Nivelamento Geométrico de Alta Precisão (NGAP), realizado pela Divisão de Cartografia do IBGE, a partir do Datum Vertical Brasileiro em Imbituba (DVB-I), que contava com nove anos de observações do NMM, que desde 1958 é o Datum vertical de referência das informações altimétricas do Brasil.

Com isso as medições das referências altimétricas foram vinculadas as informações da RN 4-X, localizada nas imediações do maregráfico de Imbituba - SC, por onde foram obtidas as demais altitudes das RRNN da SGB através de nivelamento geométrico, exceto no Amapá, onde, devido à impossibilidade de cruzar o Baixo Amazonas, o nivelamento foi estabelecido a partir do *Datum Vertical* de Santana. Discussões mais completas acerca do estabelecimento da RAAP podem ser encontradas em (LUZ & GUIMARÃES, 2001; LUZ et al., 2004; DALAZOANA, 2006; MATOS et al., 2012) e no relatório do IBGE (2011) sobre o ajustamento simultâneo da RAAP do SGB.

Desde 1945 o IBGE vem determinando às altitudes ortométricas convencionalmente conhecidas pela comunidade cartográfica do Brasil. Conforme Luz et al. (2004), a definição formal de altitude ortométrica inclui informação gravimétrica. O problema é que poucas RRNN da RAAP possuem valores de gravidade, porque apenas a partir de 1995 o IBGE vinculou a realização de levantamentos gravimétricos às novas linhas de nivelamento geométrico (BLITZKOW et al., 2002; LUZ et al., 2007; e PALMEIRO, 2007).

Além da não inclusão da gravidade, outro fator de incompatibilidade, entre as altitudes do SGB e o conceito de altitude ortométrica, é a forma de estabelecimento do *Datum vertical*. Na época da realização do *Datum vertical* de Imbituba, não se considerou a diferença entre o geóide e o NMM, a Topografia do Nível Médio dos Mares (TNMM), como por exemplo, na grande maioria das Data verticais de outros países (LUZ et al., 2004).

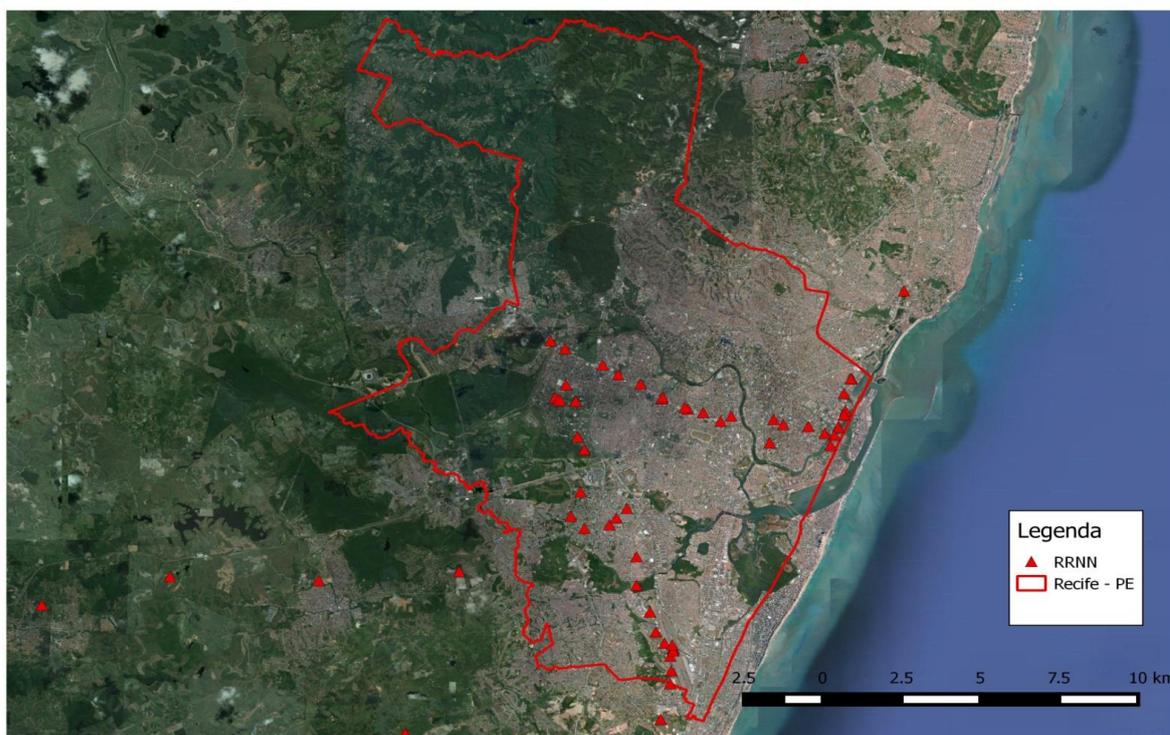
Isso introduz sérias dificuldades para o estabelecimento de grandes Redes Geodésicas e integração de Redes nacionais em estruturas continentais (HERNÁNDEZ et al., 2002; DE FREITAS et al., 2002), uma vez que os diferentes níveis de referência nacionais estão sujeitos, geralmente, a valores variados de TNMM, introduzindo assim, mais problemas do que benefícios na vinculação de Redes Altimétricas ao SGB.

A Figura 4 representa a Região Metropolitana da cidade do Recife – PE, aonde é perceptível na imagem o grande vazio altimétrico existente. Essa realidade não é apenas do Recife, mas em todas as cidades que fazem parte do território Brasileiro.

Segundo o Banco de Dados Geodésicos do IBGE, a Rede Altimétrica da cidade do Recife é composta de 104 referências altimétricas (2016), onde dessas: 3 estão destruídas

(data da visita de campo realizada em 2006 ou 2009), 42 não foram localizadas (de acordo com o Banco de Dados Geodésicos, os anos 2004, 2006, 2009 e 2014 são os anos, nos quais foram realizadas as visitas) e apenas 59 estão em bom estado (de acordo com o Banco de Dados Geodésicos, os respectivos anos que as mesmas foram visitadas são: 1987, 1984, 1958, 2006, 2009, 2013 e 2014).

Figura 4 - Rede de Alta Precisão do SGB – Cidade do Recife-PE.



Fonte: IBGE (2015).

Apesar de no Banco de Dados Geodésicos do IBGE informarem que as Referências de Nível estão boas é necessário ir *in loco* verificar, pois, as datas do reconhecimento do estado físico são de épocas anteriores a 2016.

Dessas estruturas, apenas as que estão localizadas no *Campus* Recife da UFPE, foram visitadas nesta Dissertação. Uma vez que área de estudo (cf. item 5.1 ) se restringe a esta área do Campus.

### 2.3 APLICAÇÕES DA REDE ALTIMÉTRICA NO CAMPO DA ENGENHARIA

As Redes Geodésicas suprem a comunidade técnica nacional das informações necessárias à condução dos assuntos públicos, principalmente as que permitem apoiar as grandes obras de engenharia, tais como: sistemas de comunicação; transmissão de energia;

barramentos para geração de energia ou abastecimento de água, dentre outras não menos importantes (IBGE, 1983).

No capítulo 1 são citadas outras aplicações de rede altimétrica.

## 2.4 NORMALIZAÇÃO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o órgão responsável pela normalização técnica do Brasil, fornecendo a base necessária ao desenvolvimento tecnológico. O objetivo da normalização é o estabelecimento de soluções, por consenso das partes interessadas, para assuntos que têm caráter repetitivo, considerada uma referência idônea do mercado a que se destina.

Assim como o Brasil, outros países têm seus próprios órgãos responsáveis pela normalização, como a *American National Standards Institute* – EUA (ANSI) e *Deutches Institut fur Normung* – Alemanha (DIN). Existem também associações internacionais, como a *International Organization for Standardization* (ISO) (BRUM, 2005).

Nesta dissertação foram empregadas as seguintes normas:

IBGE, 1983 - Especificações e Normais Gerais, que descrevem os procedimentos a serem seguidos em trabalhos de levantamentos geodésicos (IBGE, 1983);

NBR 13133 – Execução de levantamento topográfico, que descreve os procedimentos a serem seguidos em trabalhos de levantamentos topográficos (ABNT, 1994);

ISO 17123 – parte 2 - Procedimentos de campo para teste de instrumentos topográficos e geodésicos, que descreve os procedimentos de campo para verificação da precisão de níveis (ISO, 2001).

### 3 MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS

No capítulo anterior foi apresentado o Sistema Geodésico Brasileiro Altimétrico, bem como os tipos de altitudes, definições, normas e aplicações.

Neste capítulo será feita uma breve revisão teórica sobre a definição de estruturas Geodésicas Altimétricas. Em particular será apresentado: a definição de estruturas altimétricas pelo método do nivelamento geométrico; instrumentos e métodos de calibração e verificação de níveis de luneta; fontes de erro em medições, assim como a definição de padrões de referências.

#### 3.1 DEFINIÇÃO DAS ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS

A definição e realização de um SRV para as altitudes tem sido sempre uma temática de grande interesse, desde aplicações locais da Engenharia até aplicações globais como o monitoramento dos processos dinâmicos envolvidos no Sistema (Terra) (PLAG & PEARLMAN, 2009).

De acordo com Cardoso (2005) e Silva et al. (2004), a definição de estruturas geodésicas altimétricas do SGB, contempla os aspectos de medição geométrica e aspectos físicos de materialização, assim como aspectos estocásticos das variáveis aleatórias e estudo sobre a estabilização dos seus pontos na definição do Sistema de Referência de Medição (SRM).

O Sistema de Referência Altimétrico pode ter caráter local ou mesmo nacional. O mais importante neste caso, está na confiança sobre a estabilidade desses pontos de referência. Neste sentido, informações geológicas, geotécnicas, equipamentos precisos, assim como a definição e o processo de medição são fundamentais, na definição das estruturas geodésicas altimétricas (CARDOSO, 2005).

#### 3.2 DETERMINAÇÃO DAS ALTITUDES POR NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

O nivelamento geométrico é um método comumente empregado na engenharia, que a partir de um equipamento de nível de luneta com ampliação adequada é usado para ler miras (régua graduada) colocadas à mesma distância do nível (equipamento de medição), determina o desnível entre pontos pela diferença entre a leitura de ré e a de vante efetuadas nos pontos. Neste método se deseja determinar o desnível entre pontos.

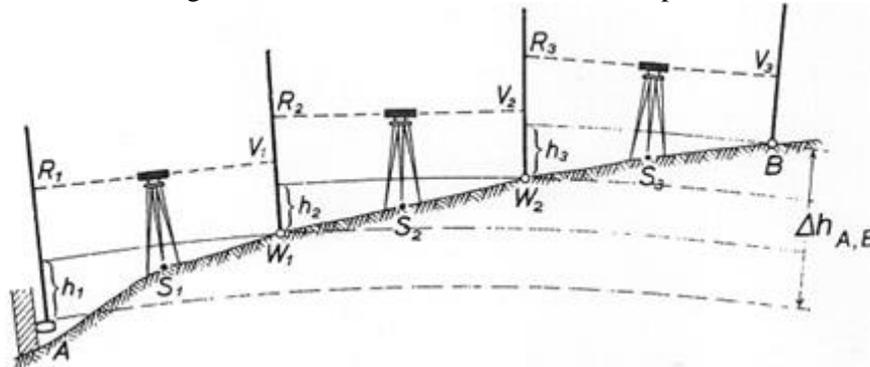
O nivelamento geométrico proporciona à diferença de altitudes entre dois pontos da superfície terrestre. Pode ser realizado pelo método simples ou composto, considerando a realidade do terreno. Para o método simples de nivelamento o equipamento de nível é estacionado em um ponto. Com isso, o nivelamento simples pode ser longitudinal, transversal ou radiante. O método composto ocorre quando há necessidade de mais de uma estação do nível (ESPARTEL, 1987).

No procedimento composto o instrumento é disposto equidistante entre as miras. A Figura 5 ilustra uma sequência de estações intermediárias do nível (S1, S2 e S3) e entre as miras posicionadas em A e W1; W1 e W2; W2; e W2 e B, respectivamente.

O desnível total observado ( $\Delta h_{AB}$ ) é dado pela diferença entre os somatórios das leituras a ré (R) e a vante (V), Equação 6. O encadeamento de múltiplas seções segundo percursos fechados (circuitos) dá origem às Redes de nivelamento.

$$\Delta h_{AB} = h_1 + h_2 + \dots = \sum h = \sum R_{\acute{e}} - \sum V_{\grave{a}n} \quad (6)$$

Figura 5 - Lances de nivelamento entre o ponto A e B.



Fonte: KAHMEN & FAIG (1988).

O método do nivelamento geométrico é realizado via métodos ópticos ou óptico - eletrônicos de medição, ou seja, aparelho denominado nível, cujo eixo horizontal da luneta é tangente à superfície equipotencial ao longo do eixo óptico e cujo eixo vertical coincide com a direção do vetor força da gravidade (KAHMEN, 2006).

Nas Especificações e Normais Gerais do IBGE (1983), na seção para o levantamento altimétrico, considera-se os seguintes critérios para determinação das altitudes das estruturas do SGB:

- O levantamento das Referências de Nível da RAAP se desenvolve na forma de circuitos, acompanhando a malha viária do país;

- Os circuitos apresentar-se-ão com perímetro menor que 400 km, com estações - Referências de Nível - espaçadas de no máximo 3 km, no interior das linhas formadoras dos circuitos.
- Nas áreas metropolitanas desenvolver-se-ão em circuitos, condicionados em forma e dimensões ao processo de urbanização, mantendo-se as estações preferencialmente espaçadas de 1 km e de, no máximo, 3 km.
- Os resultados são utilizados no apoio cartográfico, no suporte e controle das grandes obras de engenharia e nos estudos científicos em geral.
- Espera-se que o fechamento dos circuitos antes do emprego dos métodos de ajustamento, seja inferior a 0,5 mm/km, considerando-se aplicadas as correções inerentes ao processo de medição.
- A qualidade dos trabalhos deverá ser controlada através das diferenças entre o nivelamento e o contranivelamento, seção a seção e acumuladas na linha, observando-se os valores limites de  $3 \text{ mm } \sqrt{k}$ , para os levantamentos de alta precisão, de  $6 \text{ mm } \sqrt{k}$  para os de precisão em áreas mais desenvolvidas, e de  $8 \text{ mm } \sqrt{k}$  para as áreas menos desenvolvidas e o de  $12 \text{ mm } \sqrt{k}$  para os levantamentos locais, sendo k igual a distância nivelada em quilômetros.

### 3.2.1 Instrumentação

Os equipamentos usados no nivelamento geométrico podem ser classificados em quatro categorias: níveis óticos, níveis de inclinação, níveis automáticos e níveis digitais. Mesmo se diferenciando em termos de projetos, todos os níveis, possuem duas componentes em comum: luneta para criar uma linha de visada e permitir que uma leitura seja realizada sobre uma mira graduada e um sistema para orientar a linha de visada em um plano horizontal (GHILANI & WOLF, 2013).

Portanto, diversos modelos de Níveis e Miras podem ser usados no nivelamento de estruturas geodésicas verticais, os quais se relacionam a precisão e exatidão exigida no levantamento.

Nesta Dissertação, foi usado um nível digital, que utiliza um compensador de pêndulo para se nivelar após o operador obter um nivelamento aproximado do nível com uma bolha circular.

O item seguinte apresenta mais informações sobre níveis digitais.

### 3.2.1.1 Níveis digitais

A automatização dos níveis, durante as últimas décadas, tem como causa a exigência cada vez maior sobre a precisão das medições e a produtividade das suas medições. Dois elementos distinguem o nível digital: a mira de código de barras ao invés da mira métrica e a câmera *Charge Complded Device* (CCD) para realizar as leituras (ANDOLFATO, 2010).

Os níveis digitais podem ser considerados como uma fusão de uma câmera digital e de um nível automático, ou seja, as leituras da mira são obtidas pela avaliação da imagem da mira codificada, que foi projetada na CCD (INGENSAND, 1999; ANDOLFATO, 2010).

Uma vantagem destes equipamentos consiste na eliminação de erros de leitura e automação na coleta e armazenamento de dados, onde se espera que eles tomem lugar nos manuais de procedimentos de nivelamentos geométricos (RADCLIFFE, 1999).

Os níveis digitais possuem os mesmos componentes mecânicos e ópticos de um instrumento óptico automático, mas diferem destes no que diz respeito à forma de leitura. Esta se fundamenta na decodificação de um código de barras, que substitui a graduação centimétrica nas miras convencionais (VEIGA, 2002).

Conforme a NBR 13133 (1994), os níveis são classificados segundo o desvio padrão de 1 km de duplo nivelamento, de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação de Níveis Ópticos (contexto Nacional).

Classes de Níveis	Desvio padrão
Precisão baixa	$> \pm 10$ mm/km
Precisão média	$\leq \pm 10$ mm/km
Precisão alta	$\leq \pm 03$ mm/km
Precisão muito alta	$\leq \pm 01$ mm/km

Fonte: NBR 13133,1994.

Além disso, têm-se os níveis classificados (Quadro 2) segundo a ISO 17123 – 2 (2001).

Quadro 2 - Classificação de Níveis Ópticos (contexto Internacional).

Classes de Níveis	Desvio padrão
Baixa Precisão	$> \pm 10$ mm/km
Média Precisão	$\leq \pm 10$ mm/km
Alta Precisão	$\leq \pm 03$ mm/km
Muito alta Precisão	$\leq \pm 01$ mm/km
Altíssima Precisão	$\leq \pm 0,5$ mm/km

Fonte: DEUMLICH (1982, p. 184)

Contudo, os níveis são susceptíveis a erros sistemáticos, até mesmo durante seu manuseio, a configuração geométrica de seus eixos, poderá se modificar, tendo assim, que se

submeter sempre a verificações para poder garantir os resultados das observações de campo e minimizar os inevitáveis erros aleatórios durante seu manuseio. Por isto, as medições são ordenadas de forma a evitar que pequenos erros influenciem os resultados das observações (DEUMILICH; STAIGER, 2002<sup>2</sup> apud SEIXAS et al., 2014).

As fontes de erros no nivelamento geométrico são discutido a seguir.

### 3.2.1.2 Fontes de erros

Conforme Ghilani & Wolf (2012), o processo de medição requer uma combinação de habilidade humana e equipamentos mecânicos precisos e exatos. Entretanto, não importa quão cuidadosamente é feita a medição, os dados levantados não são exatos e sempre irão conter erros. Na perspectiva de alcançar os melhores resultados é importante entender completamente os diferentes tipos de erros, as suas fontes e magnitudes. Estes esperados sob condições variáveis, assim como a sua forma de propagação.

Bomford (1983), destaca alguns possíveis causadores de erros no processo de nivelamento: a maré terrestre, refração atmosférica, erro de colimação, erro de verticalidade da mira e erro de graduação.

Além dos erros citados em (BOMFORD, 1983), Correia (2012), destaca também o erro sistemático denominado erro de índice, erro este devido à contagem do zero da mira.

O exemplo do erro de colimação, de acordo com Ghilani e Wolf, (2013), não causará erros no nivelamento geométrico, desde que a distância de ré e de vante estejam equidistante. Porém haverá erros caso as distâncias de ré e vante não estejam equidistantes, o que às vezes ocorre no nivelamento geométrico. Desta forma, existe a necessidade do emprego de métodos que possam verificar o erro de colimação do nível (cf. item 3.2.2 ).

Para minimizar os efeitos de alguns erros presentes no nivelamento geométrico devem ser observados alguns cuidados operacionais, tais como (IBGE, 1983): nivelamento e contranivelamento; posicionamento equidistante das miras em relação ao nível; limitação do comprimento da linha de visada.

---

<sup>2</sup> DEUMILICH, F.; STAIGER, R. **Instrumentenkunde der Vermessungstechnik**. Aufl. 9. Wichmann, 2002.

### 3.2.2 Calibração e verificação

De acordo com o VIM (2012), o processo de verificação fornece evidência objetiva de que um dado item satisfaz requisitos especificados, ou seja, confirmação de que as propriedades relativas ao desempenho ou aos requisitos legais são satisfeitas por um Sistema de Medição.

Sobre a Calibração, de acordo com a VIM (2012), é uma operação que estabelece, sob condições especificadas, em uma primeira etapa, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; em uma segunda etapa, utiliza-se esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção de um resultado de medição a partir de uma indicação.

Desta forma, uma calibração pode ser expressa por meio de uma declaração, uma função de calibração, um diagrama de calibração, uma curva de calibração ou uma tabela de calibração. Em alguns casos, pode consistir de uma correção aditiva ou multiplicativa da indicação com uma incerteza de medição associada (VIM, 2012).

O Bureau Internacional de Pesos e Medidas considera a calibração como um conjunto de operações que estabelece, em condições especificadas, a correlação entre valores de quantidades indicados por um instrumento de medida, ou sistema de medida, ou uma medida materializada e os verdadeiros convencionais da grandeza medida.

A norma alemã DIN 2257 de novembro de 1982 define calibração da seguinte forma (DIN 2257, 1982 apud FAGGION, 2011<sup>3</sup>):

“Calibração é a determinação da relação (ou coerência) entre a quantidade de saída e a quantidade de entrada; por exemplo, entre a indicação de um aparelho de medir ou de um equipamento de medição e o valor da quantidade de medição. Em regra, é averiguada a diferença entre a indicação real (ou instantânea) e o valor correto (ou valor nominal ou valor teórico).”

Conforme Möser et al., 2000<sup>4</sup> apud Faggion (2011), entende-se por calibração a exame (“*Chekup*”) de aparelhos de medição e a determinação de desvios desde o valor nominal (ou teórico) , ou então, a observância das fronteiras de erro. Não se efetua junto da calibração nenhuma intervenção e nenhuma alteração no aparelho de medição. Todavia,

<sup>3</sup> DIN. (1982) DIN 2257: Teil 1: Begriffe der Längenprüftechnik, Einheiten Tätigkeiten Prüfmittel. Berlin.

<sup>4</sup> MÖSER, M., POTTHOFF, H., SHULZ, H. U., HOFFMEISTER, H. , WANNINGER, L. INGESAND, H. (2000), Handbuch Ingenieurgeodäsie- Gruadiagen, 3. Anf.Heidelberg: Herbert Wichmann.

eventualmente, a possibilidade de eliminar os desvios mediante a fixação dos valores de correção existe.

Segundo Rueger & Brunner (2000), a calibração dos equipamentos define o comportamento das medições, como níveis digitais ou analógicos, estimando o desvio e incerteza no processo de nivelamento digital e analógico em comparação ao valor da sua respectiva precisão.

Para isso é importante seguir os procedimentos propostos de calibração de níveis. Segundo Espartel (1987), Kahmen & Faig (1988) e Deumlich & Staiger (2002) apud Souza (2012) os níveis de luneta são verificados e calibrados empregando-se diferentes métodos. Espartel (1987) apresenta o método de verificação denominado de nivelamento médio; Kahmen & Faig (1988), apresentam o método kukkamäki e Deumlich & Staiger (2002) apud Souza (2012) apresentam os métodos de nivelamento médio, Kukkamäki, Förstner e Näbauer. Neste trabalho dar-se-á ênfase aos métodos de verificação e calibração, utilizando o método do nivelamento médio empregado na ISO 17123-parte 2 (2001) e o método Kukkamäki empregado a partir de comandos automáticos nos níveis digitais.

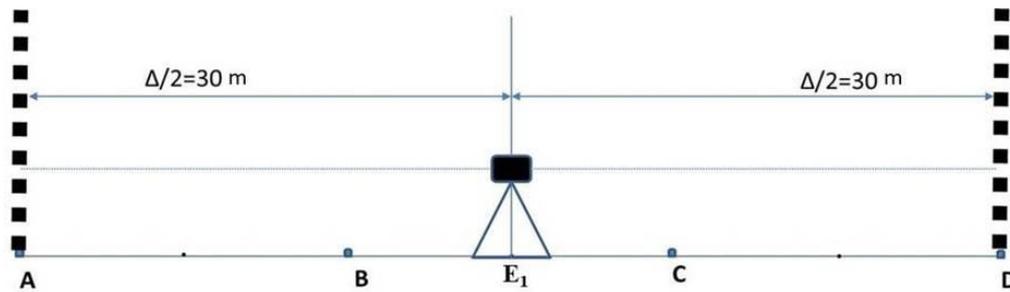
a) Método segundo a ISO 17123-parte 2 (2001)

A norma ISO 17123 – 2 (parte 2) apresenta os procedimentos de campo para teste em níveis de luneta, com o objetivo de avaliar e classificar o instrumento em questão, em relação a sua precisão. A verificação é realizada empregando-se dois procedimentos denominados de simples e completo.

O método simplificado é empregado na checagem da precisão de um nível óptico para ser usado em nivelamentos radiantes, para tarefas onde as linhas de nivelamento são desiguais.

Neste método são determinadas, em uma primeira etapa, diferenças de altitude entre dois pontos A e D, separados aproximadamente por 60 metros e equidistantes de 30m da estação E1 do nível (Figura 6). Esta configuração minimiza a influência da refração, curvatura terrestre e o erro do eixo de colimação. Nesta posição é observado um conjunto de 10 leituras, variando-se também para cada leitura ré e vante a altura do instrumento (ISO 17123 – parte 2, 2001).

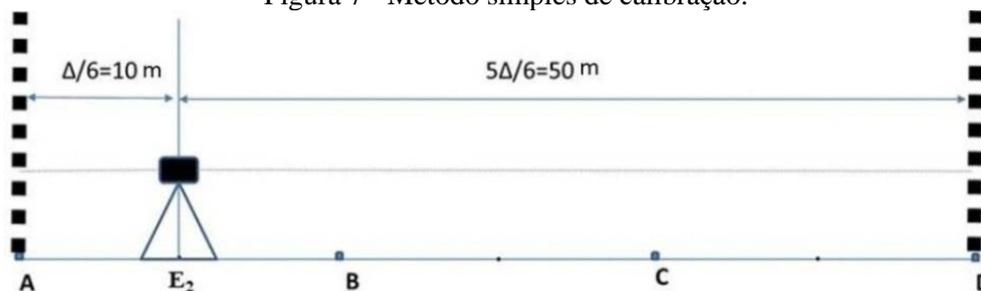
Figura 6 - Método simples de calibração.



Fonte: ISO 17123 – 2 (2001, P. 4)

Em uma segunda etapa o instrumento é deslocado de sua posição inicial E1 e instalado a 1/6 da distância entre A e D, ou seja, a 10m de A em E2. A Figura 7 ilustra o nível instalado a 10m do ponto A e 5/6 da distância entre A e D, ou seja, 50m do ponto D. Nesta posição é observado outro conjunto de 10 leituras, variando-se também para cada leitura ré e vante a altura do instrumento (ISO 17123 – parte 2, 2001).

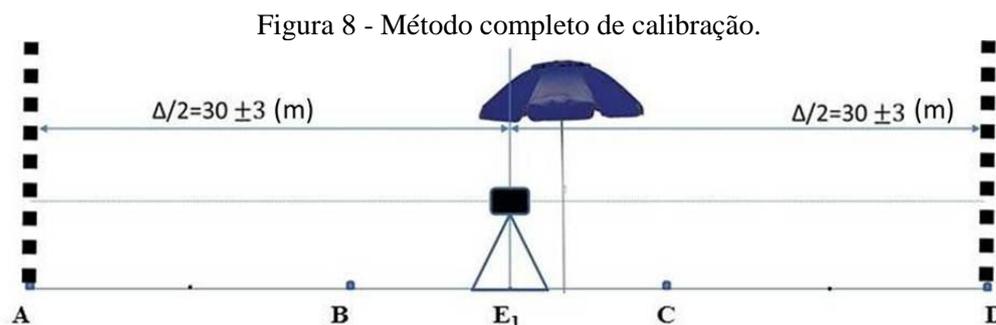
Figura 7 - Método simples de calibração.



Fonte: ISO 17123 – 2 (2001, P. 4).

O procedimento para o teste com o método completo deve ser adotado para determinar a melhor medição atingível de precisão de um determinado nível e respectivo acessório (Mira). Este método requer a adoção de alcance de comprimento igual em um lance (variação máxima de 10% entre o alcance da leitura ré e da leitura vante). Normalmente é usado para testes de nível de precisão alta, muito alta e altíssima, utilizado para aplicações em seções longitudinais em grandes levantamentos na Engenharia Civil (ISO 17123 – parte 2, 2001).

O procedimento para a realização deste método é semelhante ao método simples. O instrumento deverá ser instalado equidistante as miras A e D ( $\Delta/2=30\text{m} \pm 3\text{m}$ ), para minimizar o erro de refração, esfericidade da terra e o erro do eixo de colimação (Figura 8) (ISO 17123 – parte 2, 2001).



Fonte: ISO 17123 – 2 (2001, P. 6).

Portanto, são realizadas duas séries de medidas, a primeira com 20 observações (leitura Ré e Vante, respectivamente nas Miras A e D), variando-se a altura do instrumento, sendo que com 10 observações realizadas, troca-se o sentido das visadas nas miras, ou seja, a mira ré em A passa a ser vante e a mira vante em D passa a ser ré.

A norma estabelece uma série de testes estatísticos a serem empregados para o teste completo. Nestes, são empregados o desvio padrão experimental  $s$  do desnível medido na linha de teste. Perguntas que deverão ser respondidas com os testes são (ISO 17123 – 2, p. 9(2001)):

- ✓ O desvio padrão experimental  $s$  é menor ou igual ao indicado pelo fabricante ou outro valor indicado de desvio padrão ( $\sigma$ )?
- ✓ Os dois desvios padrão experimental,  $s$  e  $\sim s$  determinados a partir de dois grupos diferentes de medidas pertencem a mesma população?

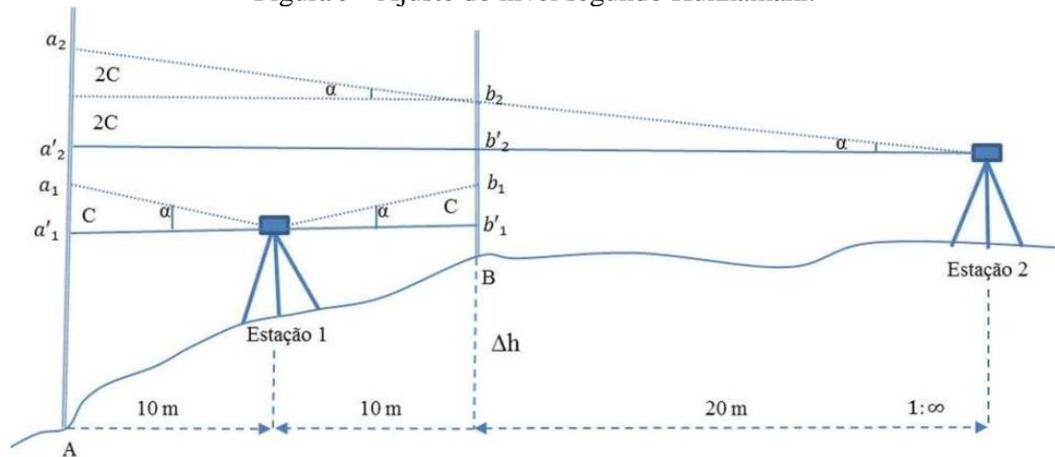
Os desvios padrão  $s$  e  $\sim s$  podem ser obtidos quando: duas amostras de medidas no mesmo instrumento, mas com observadores diferentes; duas amostras de medidas no mesmo instrumento, mas em diferentes épocas; duas amostras de medidas em diferentes instrumentos.

- ✓ A diferença ( $\delta$ ) obtida dos dois levantamentos compensados é igual à zero?

#### b) Método Kukkamäki

De acordo com Kahmen & Faig (1988, p. 327), o teste é composto por duas estações (I e II), onde a I está localizada a 9 metros de ambas as miras e a II está localizada a 40 m de A e 20 m da estação B, conforme é mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Ajuste do nível segundo Kukkamäki.



Fonte: KAHMEN & FAIG (1988).

No primeiro momento, instala-se o nível entre os dois pontos A e B, com distância de 10m para ré e vante, método de visadas iguais, e procede-se a leitura. Estas conterão o erro de colimação (C) vertical do nível igual, por estarem a distâncias iguais; logo após, o instrumento é instalado a 20m de B e 40m de A, e procede-se a leitura, visadas extremas. Neste caso, as leituras obtidas conterão erros proporcionais à distância da mira.

As leituras obtidas conterão erros proporcionais à distância da mira, que neste caso a leitura  $a_2$  será equivalente a  $4c$  e a leitura  $b_2$  a  $2c$ . Com isto, pode-se determinar o valor do erro  $c$ , Equação 7 e 8:

$$a_2 = \Delta h + b_2 + 2c = b_2 + a_1 - b_1 + 2c \quad (7)$$

Ou

$$2c = (a_2 - b_2) - (a_1 - b_1) \quad (8)$$

Posteriormente, obtêm-se as seguintes leituras, corrigidas do erro de colimação (C) Equação 9 e 10:

$$a'_2 = a_2 - 4c \quad (9)$$

Onde:

$$b'_2 = b_2 - 2c \quad (10)$$

Por fim, os seguintes valores devem ser obtidos, Equação 11:

$$a'_2 - b'_2 = a_1 - b_1 = \Delta h \quad (11)$$

### 3.3 DEFINIÇÃO DE PADRÕES DE REFERENCIA ALTIMÉTRICA

Segundo o VIM (2012), um padrão de medição de referência é estabelecido para a calibração de outros padrões de grandezas da mesma natureza em uma dada organização ou em um dado local.

Portanto, para a definição de padrões de referência altimétrica, os pontos devem se localizar em pontos estratégicos, segundo uma dada configuração geométrica otimizada, de modo que atenda a melhor propagação das incertezas aceitáveis das medições e observações, melhor rendimento dos pontos - objeto e instabilidade para medição de estruturas de referências ao longo do tempo (SILVA et al., 2004).

## 4 CONTROLE DE QUALIDADE DE REDES ALTIMÉTRICAS

No capítulo anterior foram abordados o método do nivelamento geométrico, a definição de Redes Geodésicas Altimétricas, as características técnicas do nível digital, a identificação de possíveis erros envolvidos na operacionalização em campo com níveis e descritos métodos de calibração para equipamentos do tipo Nível.

Neste capítulo será abordado o ajustamento de observações pelo MMQ, à detecção e identificação de erros nas observações, por meio de testes de hipóteses estatísticas, bem como, a lei de propagação de covariância para estimativa da precisão dos parâmetros ajustados. Finalizando-se com a abordagem sobre a análise de variâncias e o método ANOVA.

Conforme Camargo (1992), controle de qualidade em Ciências Geodésicas é amplo e complexo, pois objetiva estabelecer, melhorar e assegurar a qualidade de um produto ou serviço para certas condições de consumo ou utilização. Considerando os seguintes fatores: economia, tempo e confiabilidade.

Para Teunissen (2006), o controle da qualidade no nivelamento resume-se na verificação da consistência entre as observações e o modelo matemático, bem como identificar a presença de erros grosseiros e detectando os sistemático não modelado para que os mesmos sejam eliminados.

Neste trabalho a avaliação do controle de qualidade do nivelamento geométrico obedeceu aos seguintes aspectos (SEIXAS et al., 2014):

- A partir da verificação do nível de luneta empregado;
- Em loco em função das observações realizadas em campo e seus respectivos desvios;
- A partir do cálculo do erro de fechamento nos circuitos de nivelamento geométrico e respectivos perímetros realizados;
- A partir do emprego de visadas equidistantes, e
- Aplicando a correção do efeito da curvatura terrestre.

### 4.1 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES

As observações possuem repetitividade uma propriedade inerente a elas conhecidas como flutuações probabilísticas, ou seja, quando se repetem inúmeras vezes à medida de uma grandeza (observação) os  $n$  valores não são idênticos, mas estão dispersos em uma região ou

intervalo. Estas flutuações de acordo com Gemael et al. (2015) são classificadas como erros aleatórios, sendo inevitáveis no processo de medição.

Desse cenário surgiu o ajustamento das observações, que através da pluralidade de dados extraem um resultado, que seja único e que possa representar com maior confiança a grandeza medida. Em qualquer caso, o que se busca, em última análise, é isentar as observações das inconsistências, que as acompanham (GEMAEL et al., 2015). Portanto, o ajustamento das observações deve estabelecer uma relação entre observações e os parâmetros por meio de modelos matemáticos.

O modelo de ajustamento é uma forma matemática de se expressar uma realidade física com a melhor aproximação possível (DALMOLIN, 2004, p. 2).

O modelo matemático envolve tanto o modelo funcional quanto o modelo estocástico, que segundo Ghilani e Wolf (2012), o modelo funcional é um conjunto de equações que definem as condições do ajustamento, devendo ser conhecidas ou estipuladas e o modelo estocástico consiste na determinação da Matriz Variância Covariância e subsequentes dos pesos.

O modelo estocástico é importante para a análise da qualidade e confiabilidade do ajustamento. Portanto, um modelo matemático será, então, a realidade abstrata da realidade física do problema.

Sendo representados por observações diretas condicionadas ou indiretas, as observações diretas ocorrem quando as incógnitas do problema são as próprias grandezas mensuradas e as diretas condicionadas são observações diretas, que se relacionam por meio de equações de condição; ao contrario as observações indiretas não são diretamente grandezas medidas, mas se relacionam por meio de modelos matemáticos (GHILANI & WOLF, 2013).

Desta forma é importante que a maior parte das observações envolvidas em uma medição topográfica ou geodésica esteja de acordo com certas condições geométricas. O erro de fechamento, por exemplo, no nivelamento geométrico por circuitos fechados pode indicar a presença de erros sistemáticos e aleatórios. Partindo desse princípio, surgem diversos procedimentos para distribuir esses erros de fechamento para produzir condições geométricas matematicamente perfeitas.

No entanto, como os erros aleatórios nas medições estão em conformidade com leis matemáticas da probabilidade são normalmente distribuídos, o procedimento de ajustamento, mais apropriado deveria ser baseado nessas leis. Portanto, o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) tem essa funcionalidade estatística (GHILANI & WOLF, 2013). O MMQ impõe a condição de que a soma ponderada das observações seja minimizada.

Embora o MMQ seja o mais aconselhado, pode-se também fazer ajuste como: correções em proporção aos pesos atribuídos as observações, correções do mesmo tamanho a todos os valores observados, onde cada correção é igual ao erro de fechamento total dividido pelo número de observações; correções em proporção aos pesos atribuídos (GEMAEL et al., 2015).

Nesta dissertação será empregado o método proporcional à distância e o MMQ: modelo paramétrico para o ajustamento dos desníveis realizados pelo método do nivelamento geométrico.

#### 4.1.1 Método proporcional à distância

De acordo com Algarve (2004), o método proporcional à distância está relacionado a erros cometidos na medição da diferença de nível, sendo proporcional às distâncias de visadas entre ré e vante em um lance de nivelamento. Onde para a correção do erro de fechamento dos circuitos de uma rede de nivelamento, o erro deve ser distribuído nas observações, sendo proporcional ao comprimento de cada lance. Para a compensação do erro de fechamento é usado a Equação 12.

$$C_i = \frac{Ef}{\sum_{i=1}^n d_i} \times d_i \quad (12)$$

Onde:

$Ef$  – Erro de fechamento ( $Ef = \sum_i^n Dn_i$ )

$d_i$  – Comprimento do lance

$n_i$  – Números de lances

$Dn$  - Diferença de nível.

$\sum_i^n D_i$  Soma do comprimento de todos os lances

A diferença de nível ajustada é estabelecida por (Equação 13):

$$Dn_{Ajust} = Dn_i - Ci \quad (13)$$

O transporte da altitude do ponto de partida para os demais pontos é realizado através das diferenças de nível compensadas (ajustadas). No final, a altitude ajustada do ponto final deve ser igual a do ponto inicial, quando se tratar de um circuito de nivelamento.

#### 4.1.2 Ajustamento por Método dos Mínimos Quadrados

O resíduo é a diferença entre o valor observado de uma grandeza e o valor estimado para essa grandeza. Dessa forma, o MMQ se baseia em modelos matemáticos aplicados aos parâmetros incógnitos ou as observações. O MMQ é baseado na teoria matemática da probabilidade, é um critério, entre muitos outros que podem ser usados, sendo rigoroso, dependendo do ponto de vista do problema enfrentado. Além disso, permite o ajustamento simultâneo das observações, ponderando todas as observações de acordo com a sua precisão estimada. Consiste em minimizar a soma ponderada do quadrado dos erros aleatórios, ou seja, equivale ao critério de minimizar a soma dos quadrados dos resíduos (GEMAEL et al., 2015).

Nos experimentos relacionados ao método do nivelamento geométrico, ou seja, o ajustamento de redes altimétricas, utiliza-se tanto o modelo dos correlatos quanto o modelo paramétrico (GEMAEL, 1994).

O modelo dos correlatos do MMQ ou método de ajustamento das equações de condição, é o modelo matemático que caracteriza as observações condicionadas (GEMAEL, 1994), descrito pela (Equação 14):

$$F(L_a) = 0 \quad (14)$$

De acordo Gemael et al. (2015), o método dos correlatos não trata de parâmetros, abrange apenas valores observados ajustados, no qual  $f$  representa  $r$  funções e o vetor  $L_a$  tem dimensão  $nx1$ . Maiores detalhes sobre este modelo de ajustamento pelo MMQ podem ser vistos em (GEMAEL et al., 2015).

O modelo matemático do MMQ de ajustamento paramétrico (também chamado de modelo das equações de observações) baseia-se na formulação das equações de observações, ou seja, para cada observação, formula-se ao menos uma equação, então, obtém-se um conjunto de  $n$  equações com  $u$  parâmetros, Equação 15 (GEMAEL et al., 2015).

$$L_a = F(X_a) \quad (15)$$

Onde  $L_a$  é o vetor ( $nx1$ ) das observações ajustadas,  $X_a$  o vetor ( $ux1$ ) dos parâmetros ajustados e  $F$  uma função que relaciona  $L_a$  e  $X_a$ .

O ajustamento das observações pode ser processado pelo modelo paramétrico, quando os valores observados ajustados podem ser escritos como função explícita dos parâmetros ajustados, isto é, quando se verifica o modelo matemático (que pode ser linear ou não) (GEMAEL et al., 2015).

Nesta dissertação foi empregado o modelo paramétrico de ajustamento, em conformidade com (GEMAEL et al., 2015).

#### 4.1.2.1 Matriz dos pesos

Na aplicação dos modelos de ajustamento de uma rede de nivelamento, a matriz dos pesos traz uma importante influência na qualidade das observações ajustadas. A determinação da variância da unidade de peso a priori, pode ser arbitrada, por exemplo:  $\sigma_0^2 = 1$ , ou calculada a partir da precisão do equipamento, utilizado no levantamento, tendo-se assim, um a variância da unidade de peso a priori, Equação 16.

$$(\sigma_0^2) = (n_p \times \sqrt{k_i})^2 \quad (16)$$

Sendo:

$n_p$  Precisão vinculada às observações.

$k_i$  Distância nivelada em km.

Apresenta-se a seguir a matriz dos pesos ( $P_{n \times n}$ ), formados com variâncias proporcionais aos comprimentos das linhas do nivelamento, sendo uma das formas analisadas nesta Dissertação, caso clássico em ajustamento de Redes Geodésicas Altimétricas diretas (FARRET, 2006).

É usual no nivelamento geométrico atribuir pesos a cada uma das linhas iguais ao inverso das distâncias destas (GEMAEL, 1994). Devido a esse critério básico, o inverso das distâncias entre os pontos, para as distâncias maiores os pesos são menores (onde é mais provável de ter ocorrido maior erro). Assim:

Resultando na equação da matriz peso, Equação 17.

$$P_{n \times n} = Q_i^{-1} \quad n \times n \quad (17)$$

Refazendo a Equação 17, chega-se na Equação 18.

$$P_{n \times n} = \sigma_0^2 \cdot \begin{bmatrix} 1/\sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1/\sigma_2^2 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 1/\sigma_n^2 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (18)$$

#### 4.1.2.2 Método dos Mínimos Quadrados: modelo paramétrico

Nesse método, as equações de observação, são escritas relacionando os valores observados aos seus erros residuais e aos parâmetros desconhecidos (GEMAEL et al., 1994). Para isso, têm-se as seguintes Equações:

$$L_a = L_B + V = F(X_a) \quad (19)$$

$L_B$  : Vetor (nx1) dos valores observados;

$V$  : Vetor (nx1) dos resíduos;

$L_a$  : Vetor (nx1) dos valores observados ajustados

$$x_a = x_o + X$$

$X$  : Vetor de correção (ux1);

$x_o$  : Vetor (nx1), cujas componentes são os valores aproximados dos parâmetros;

$x_a$  : vetor dos parâmetros ajustados.

O modelo matemático linearizado do método dos paramétricos, Equação 20.

$$nV_1 = nA_{uu}X_1 + nL_1 \quad (20)$$

Onde: A é matriz de coeficiente para as incógnitas (Os elementos da matriz A são formados pelas derivadas parciais da equação de observação em relação aos parâmetros), X é a matriz de incógnitas, L é a matriz de observações e V é o vetor dos resíduos.

As equações normais que resultam de um conjunto de equações de observações igualmente ponderadas são dadas em forma de matrizes por (GEMAEL et al., 2015):

$$X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (21)$$

Onde:

$L = L_o - L_B$  é a diferença entre os valores estimados  $L_o$  e os valores observados  $L_B$ ; P é a matriz dos pesos.

A equação matricial para o cálculo de resíduos após o ajustamento seja ele ponderada ou não, é:

$$V = AX + L \quad (22)$$

Os detalhes do desenvolvimento matemático do modelo paramétrico, desde a linearização até a forma quadrática minimizada, podem ser encontradas na literatura específica, por exemplo, GEMAEL (1994), GEMAEL et al. (2015) e DALMOLIN (2004).

#### 4.1.3 Análise estatística para detecção e identificação de erros

Feito o ajustamento, o teste Qui-Quadrado  $\chi^2$  sobre a variância da unidade de peso a posteriori, este aplicado com o objetivo de validar o ajustamento. Desta forma, a análise da qualidade do Ajustamento é baseada na comparação entre  $\hat{\sigma}_0^2$  (variância da unidade de peso a posteriori) e  $\sigma_0^2$  (variância da unidade de peso a priori)(GEMAEL et al., 2015).

Todavia, a escolha de um fator de variância de peso a priori arbitrário, não afeta o resultado do ajustamento, pois esta escolha é feita antes do ajustamento para o cálculo da matriz dos pesos das observações (GEMAEL et al., 2015).

A variância da unidade de peso a priori pode ser calculada a partir da precisão do equipamento utilizado no levantamento ou estimada, Equação 16.

Para o cálculo da variância de peso a posteriori, utiliza-se a Equação 23.

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{gl} \quad (23)$$

Sendo:

$gl = n - u$  é o grau de liberdade;

V é a matriz dos resíduos das observações ajustadas;

P é a matriz dos pesos das observações.

A análise da qualidade do ajustamento é realizada aplicando-se o teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) conhecido também como Teste Global do Modelo (TGM) ou Teste n-dimensional (MIKHAIL & GRACIE, 1981; FRASER, 2003).

A distribuição Qui-Quadrada ( $\chi^2$ ) esta relacionada a uma família de distribuição de probabilidade. Portanto, se a variável aleatória tiver uma distribuição normal, então, a estatística da distribuição  $\chi^2$  será calculada pela Equação 24.

$$T = \chi^2_{\text{calculado}} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \cdot gl \quad (24)$$

A distribuição Qui-Quadrada  $\chi^2$  permite comparar a variância de uma amostra com a variância da população, em função de graus de liberdade da amostra (GEMAEL et al., 2015).

Normalmente em observações geodésicas, considera que vetor de observações tem uma Função de Distribuição de Probabilidade do tipo normal (FDP), com certa média e

variância, sendo que estes dois parâmetros a definem totalmente. Portanto, a hipótese nula, representada por  $H_0$ , será estatisticamente testada usando as observações realizadas, caso contrário, a hipótese nula  $H_0$  é rejeitada e aceita-se a hipótese alternativa,  $H_a$ , de que as observações não tem uma fdp normal (GEMAEL, 1994).

Portanto, as hipóteses testadas são  $H_0$  (hipótese nula) e a alternativa  $H_a$ . Pelas seguintes formulações proposta de hipóteses, conforme Oliveira & Dalmolin (2008):

Hipótese 1 - Se a hipótese básica ou nula  $H_0 : \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$  é testada contra a hipótese alternativa  $H_a : \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2$ . O teste bilateral é aplicado, fixando-se um determinado nível de significância  $\alpha$ . A hipótese nula  $H_0$  não é rejeitada, ao nível de significância  $\alpha$ , no teste estatístico, se:  $T < \chi_{(S;1-\alpha)}^2$ . Caso contrário,  $T > \chi_{(S;1-\alpha)}^2$ , significando que há problemas no ajustamento, ou seja, a hipótese alternativa  $H_a$  é rejeitada ao nível de significância de  $\alpha$  (SARTORIS, 2003);

Hipótese 2 - Se a hipótese básica ou nula  $H_0 : \hat{\sigma}_0^2 = \sigma_0^2$  for testada contra a hipótese alternativa  $H_a : \hat{\sigma}_0^2 > \sigma_0^2$ , o teste aplicado é o unilateral à direita. E, dado um determinado nível de significância  $\alpha$ , a hipótese  $H_0$  não será rejeitada se a estatística do teste calculada for  $T < \chi_{(S;1-\alpha)}^2$ .

Conforme Oliveira e Dalmolin (2008), Kavouras (1982), Ghilani e Wolf, (2012), Tunissen (2006) o Teste Global é utilizado para detectar erros grosseiros, normalmente espera-se que  $\hat{\sigma}_0^2 > \sigma_0^2$ . Isso, porque a suposição fundamental é que as observações contaminadas por erros sistemáticos resultem em resíduos padronizados de magnitudes significativamente altas. Desta forma, o teste mais adequado neste sentido é o teste unilateral.

Sendo o teste bi lateral recomendado quando se deseja definir o intervalo de confiança para o fator de variância (KAVOURAS, 1982).

Conforme Teunissen (2006), a variância de peso a posteriori pode ser considerada um estimador imparcial da verdadeira variância da unidade de peso, antes desconhecido. Com isso caso a hipótese nula, não seja rejeitada, ou seja, não há evidência de erros no modelo, o fator de variância a posteriori  $\hat{\sigma}_0^2$  pode substituir o fator de variância a priori  $\sigma_0^2$  nos cálculos das matrizes das covariâncias, das observações, resíduos.

Neste contexto, a escolha do nível de confiança para a análise estatística, ou seja, depende da precisão que se deseja estimar aos parâmetros testados, sendo comum a utilização dos níveis de confiança de 95% ou 99%. Evidentemente, com o aumento de confiança para o intervalo, isso implica no aumento de sua amplitude. Nesta Dissertação foi escolhida o nível de confiança de 95% nas devidas análises realizadas (GEMAEL et al., 2015).

A seguir são apresentadas as expressões para o cálculo das Matrizes Variâncias – Covariâncias, com relação ao modelo paramétrico.

Com o ajustamento aceito são calculadas as MVC (Matrizes Variâncias – Covariâncias) dos resíduos ( $\Sigma_V$ ), Equação 25.

$$\Sigma_V = \hat{\sigma}_0^2 (AN^{-1}A^T - P^{-1}) \quad (25)$$

A MVC dos valores observados ajustados ( $\Sigma_{L_a}$ ), Equação 26.

$$\Sigma_{L_a} = \hat{\sigma}_0^2 \cdot AN^{-1}A^T \quad (26)$$

Por fim, tem-se a MVC dos parâmetros ajustados ( $\Sigma_{X_a}$ ), Equação 27.

$$\Sigma_{X_a} = \hat{\sigma}_0^2 \cdot N^{-1} \quad (27)$$

Em cujas diagonais dessas MVC se encontram as variâncias, que a partir das raízes quadradas dessas variâncias são fornecidos os desvio padrão das altitudes ajustadas.

Complementando a análise sobre as observações e parâmetros ajustados pelo MMQ, foi aplicado nesta dissertação à análise de variâncias.

#### 4.1.4 Análise de variâncias

O teste básico para análise de variância é o teste Fisher (F) tendo em vista comparar variâncias das amostras ou os respectivos desvios padrão. A análise de variâncias conhecida também como ANOVA é um teste para igualdade de médias, que utilizam variâncias na tomada de decisão. Com a comparação de varias amostras, interessa-se em saber se a diferença entre elas são significativas ou se podem ser atribuídas ao acaso. Desta forma, testa-se a hipótese nula contra a hipótese alternativa, de que as médias não são todas iguais (GOMES, 1990).

O Quadro 3 representa os cálculos atribuídos na determinação da ANOVA.

Quadro 3 - ANOVA

Fonte de Variação	SQ	Gl	Quadrado Médio	Estatística F
Entre amostras	SQE	K-1	$\sigma_E^2 = QME = \frac{SQE}{K-1}$	$F = \frac{\sigma_E^2}{\sigma_R^2}$
Residual ou Dentre as amostras	SQR	N-K	$\sigma_R^2 = QMR = \frac{SQR}{N-K}$	
Total	SQT	N-1		

Fonte: GOMES (1990)

De acordo com o Quadro 3 os seguintes elementos estão envolvidos na análise de variâncias: K o número de amostras; N o número de elementos em todas as amostras; SQE a soma de quadrados entre as amostras. Sendo verdadeira a hipótese nula, pode-se estimar a variância, através das médias das K amostras e SQR a soma de quadrados residuais consiste em estimar as variâncias dentro de todas as amostras e em seguida estimar um único valor.

Desta forma, para a análise da ANOVA é necessário que as amostras sejam de mesma variância, tenham distribuição normal e sejam independentes (GOMES, 1990). Portanto, a decisão de aceitar ou rejeitar a hipótese nula, será pela comparação estatística da distribuição F (Snedecor) dada pela Equação 28.

$$F = \frac{\sigma_E^2}{\sigma_R^2} \quad (28)$$

Onde:  $\sigma_E^2$  é a variância entre as amostras e  $\sigma_R^2$  é a variância residual. Com o valor F tabelado correspondente ao nível de significância  $\alpha$  adotado.

Da mesma maneira que na distribuição t (t- Student) e  $\chi^2$  (Qui quadrada), a distribuição F (Snedecor) também depende do número de grau de liberdade gl, que neste caso possui dois: gl para o numerador (amostra 1) e gl para o denominador (amostra 2). A distribuição F é contínua e assimétrica à direita e as unidades desta distribuição são não negativas (MANN, 2006).

Todavia, a análise de variâncias testa a existência ou não de diferenças significativas entre K (K>2) médias populacionais. Entretanto, caso haja diferença, não se pode identificar quais médias diferem das demais na ANOVA. Para se determinar qual(is) o(s) par(es) de médias diferentes após a realização da ANOVA, é realizado o que se denomina teste não-planejado, teste a posteriori ou teste pos hoc. As mais conhecidas são: teste de Tukey, teste de Sheffé, teste de Duncam, teste de Bonferroni e Teste de Dunnet (GOMES, 1990).

Neste dissertação serão aplicados dois testes: o teste Tukey e o teste Sheffé. O primeiro está baseado na amplitude total (intervalo). Este teste pode ser utilizado para

comparar toda e qualquer diferença entre a média de duas amostras, e o segundo (teste Sheffé) é utilizado para fazer comparações das amostras, devendo ser utilizado quando o teste  $F$  for significativo (GOMES, 1990).

O teste Tukey é um dos testes de comparação de média mais utilizada, por ser bastante rigoroso e de fácil aplicação. Tem como base a DMS (Diferença Mínima Significativa). Calculada a partir da Equação 29 (GOMES, 1990):

$$DMS = q_{\alpha}(gl, N - gl) \sqrt{\frac{QME}{n}} \quad (29)$$

Onde: DMS é a diferença mínima significativa;  $q_{\alpha}$  é um valor tabelado (Tabela do Teste de Tukey);  $N$  número total de observações;  $gl$  grau de liberdade; QME é o quadrado médio do erro;  $n$  é o número de réplicas do tratamento (amostras).

Se a diferença entre as médias das amostras for maior ou igual que a diferença mínima significativa, rejeita-se a hipótese nula, significando assim, que existe uma diferença entre as amostras.

De acordo com Gomes (1990), o teste de Sheffé é de uso bem mais geral que o de Tukey e permite julgar qualquer contraste (diferença) e é expresso pela Equação 30.

$$S = \sqrt{(n-1) \cdot QMR \cdot F} \quad (30)$$

Onde: QMR é a diferença em questão,  $n$  é o número de amostras e  $F$  é o valor tabelado ao nível de significância  $\alpha$  de 5% ou 1%, correspondente aos números de grau de liberdade  $gl$ . Para esta dissertação foi adotado o nível de significância igual a 5%.

Estes testes podem ser realizados, por processos manuais, ou com a utilização de *softwares*. Como exemplos, têm-se:

*Software Excel* - Este *software* possibilita a operacionalização sobre a análise de variâncias, a partir da opção análise de dados. Para os demais testes, é necessário à criação de uma rotina de cálculos;

PAST - É um *software* estatístico (HARPER, 1999) das diversas funcionalidades deste *software*, têm-se a análise de variâncias e o teste Tukey;

*Software AstGeoTop* (GARNÉS, 2016) - Este *software* possui um módulo que realiza a análise de variâncias e o teste Sheffé (GARNÉS, 2012).

## 5 EXPERIMENTOS, RESULTADOS E ANÁLISES

De acordo com os estudos teóricos discutidos anteriormente, este capítulo aborda os experimentos, resultados e análises realizadas nesta Dissertação. A análise diz respeito a Rede de Referência Altimétrica medida em épocas distintas.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O desenvolvimento dos experimentos foi realizado no Campus Recife da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. Neste campus existem 9 (nove) RRNN, que fazem parte da RAAP do IBGE (IBGE, 2016), além de uma Rede de Referência Cadastral (RRC) da UFPE, esta composta por 07 (sete) pilares normalizados de acordo com (IBGE, 2008). Nas bases e pilares da RRC foram implantados pinos de superfícies semiesféricas e parafusos, respectivamente (Fotografia 1).

Fotografia 1 - Estruturas geodésicas altimétricas implantadas nas bases e nos pilares da RRC da UFPE. Foto: 30/09/2015.



A Figura 10 ilustra a localização da área de estudo e a localização dos marcos geodésicos da Rede de Referência Cadastral (EPS01, EPS02, EPS03, EPS04, EPS05, EPS06 e EPS07), assim como a localização das RRNN do IBGE (3641A, 3641B e 3640X) no Campus Recife. Além destes, ilustram-se as estruturas geodésicas altimétricas implantadas no prédio do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) (CTG01 e CTG02); as RRNN da Base de Verificação e Calibração de Níveis (A, B, C e D) e as RRNN auxiliares (RN04, RN05, RN06, RN07 e RN10) implantadas em meios fios dentro do Campus Recife.

Figura 10 - Área de estudo, Universidade Federal de Pernambuco, Campus Recife da UFPE



Nas bases dos pilares da RRC foram fixados pinos de superfícies semiesféricas denominados de RNEPS01, RNEPS02, RNEPS03, RNEPS04, RNEPS05, RNEPS06 e RNEPS07 utilizados como Referências de Nível e nos pilares da RRC foram fixados parafusos denominados de: P-EPS01, P-EPS02, P-EPS03, P-EPS04, P-EPS05, P-EPS06 e P-EPS07.

No prédio do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) foram fixadas as RRNN CTG01 e CTG02 na estrutura de dois pilares do Prédio. Estas são utilizadas para o controle e monitoramento de recalques do novo Prédio em construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustível – LITPEG/CTG e próximo ao prédio LITPEG em construção foram implantadas as RRNN A, B, C e D da Base de Verificação e Calibração de Níveis (SEIXAS & SEIXAS, 2015 ).

E entre meios fios pré-selecionados do *Campus Recife* foram fixadas as RRNN auxiliares denominadas RN04, RN05, RN06, RN07 e RN10. Implantadas a partir de um pino achatado, fixado à superfície com auxílio de uma massa Epóxi, Fotografia 2.

Fotografia 2 – RRNN Auxiliares. Fotos: 03/11/2015



## 5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### a) Materiais

Na obtenção dos dados de campo, processamento e respectiva análise, os seguintes equipamentos, acessórios e programas foram utilizados.

- Equipamentos: Nível digital de Alta Precisão. Segundo a NBR 13133 (1994), o Nível Digital Leica DNA-03, tem uma precisão de  $\pm 0,3$  mm por duplo quilometro nivelado.
- Acessórios: Mira de Ínvar utilizada em nivelamento geométrico de alta precisão. Em geral são réguas de 3m de comprimento, formadas por 4 partes: armação, fita de ínvar, nível esférico e alças. Nesta Dissertação foi utilizada uma mira de ínvar de código de barras de 2 m.

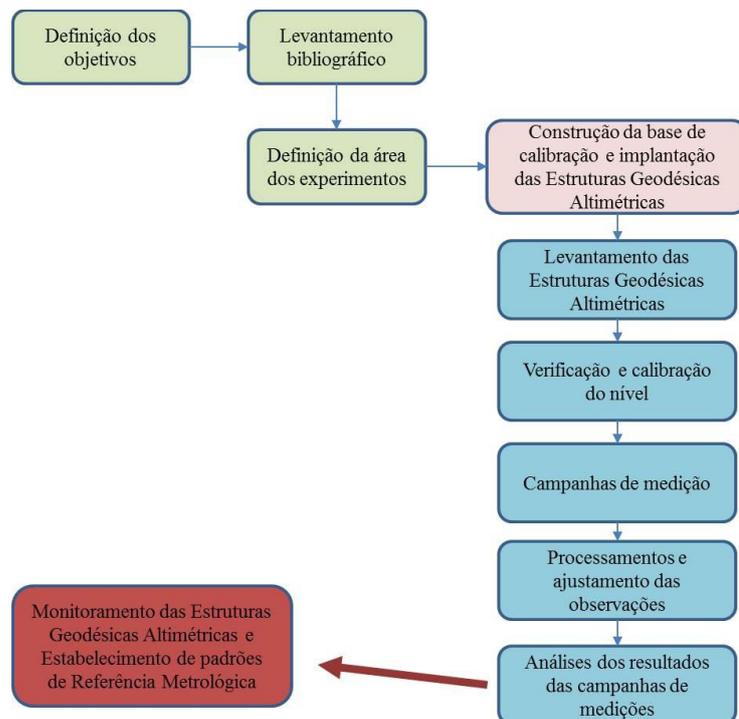
- Outros acessórios serviram de apoio aos procedimentos de medição, tais como: sapatas, trena, tripés, marreta, calculadora científica, prancheta, guarda sol e cones de trânsito.
- O processamento dos dados coletados foi realizado nos *softwares scilab* versão 5.5.2; *Excel 2010*, *adjust* versão 6.1 (WOLF & GHILANI, 2009), *AstGeoTop*, 2012 (GARNÉS, 2012), o software *PAS* versão 2.17c, 2013 (HAMMER & HAPER, 2001).

## b) Métodos

A dissertação foi desenvolvida a partir de uma sequência de procedimentos, estes buscando medições com alto grau de confiabilidade. Logo, foi construída uma base de calibração para níveis de luneta, assim como, a implantação de estruturas de referência altimétrica.

Fez-se uso de um nível digital, aplicando o método do nivelamento geométrico com visadas iguais (cf. item 3.2). Antes de cada medição ocorreu à verificação e calibração do nível (cf. item 3.2.2). Neste contexto, ocorreram seis campanhas de medição e com os dados coletados, foram realizados os processamentos e as respectivas análises das estruturas da RRA. Na Figura 11, ver-se o fluxograma da metodologia desenvolvida nesta Dissertação.

Figura 11 - Fluxograma da metodologia aplicada



### 5.3 CONSTRUÇÃO DE UMA BASE DE CALIBRAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS

A partir das especificações da norma ISO 17123 partes 2 (2001) foi realizada a construção de uma base de calibração para instrumentos do tipo níveis de luneta, localizada no Campus Recife da UFPE. Posteriormente, foram materializadas as estruturas geodésicas altimétricas, que definem a RRA.

#### Etapa 1 – Construção de uma base de calibração

A base de calibração foi construída próximo da parada de ônibus, localizada na frente do prédio em construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustível - LITPEG/CTG (Fotografia 3). Está sendo utilizada também para a calibração do nível digital, para o controle e monitoramento de recalques deste prédio (SEIXAS & SEIXAS, 2015).

Fotografia 3 - Alinhamento dos pinos semiesféricos da Base de Calibração. Foto: 22/09/2015.



Os procedimentos para a implantação seguiram as recomendações contidas na Norma Internacional ISO 17123 – parte 2 (2001). A base de calibração tem 60 m de comprimento, subdividida em trechos de 10 m. Foram implantados 4 pinos com superfícies semiesféricas a cada 20 m, denominados RN (A, B, C e D) e 3 pontos auxiliares (E1, E2 e E3) com pregos cravados equidistantes entre os pontos A e B, B e C, C e D, respectivamente.

A verificação do alinhamento dos pontos da base de verificação e calibração de níveis foi realizada a partir de uma estação total de 5” de precisão angular e 5mm + 5ppm de precisão linear. De acordo com a NBR 13133 (1994) esta estação total é classificada de média precisão (Fotografia 4 e 5).

Fotografia 4 - Alinhamento dos pontos A, B, C, D, E1, E2 e E3 da base de calibração. Foto: 22/09/2015.



A implantação dos pontos principais (A, B, C e D) e dos pontos auxiliares (E1, E2, E3) da base de calibração, foi realizada nos dias 21 e 22 de setembro de 2015, Fotografia 5.

Fotografia 5 - Implantação dos pontos da base de calibração. Foto: 21/09/2015



### Etapa 2 – Implantação das estruturas Geodésicas Altimétricas

As estruturas geodésicas altimétricas foram implantadas nos pilares da Rede de Referência Cadastral da UFPE no dia 30 de outubro de 2015 (Fotografia 6). Foram implantados respectivamente pinos de superfícies semiesféricas e parafusos cravados na base e estrutura dos pilares, que foram usados no processo de monitoramento das estruturas geodésicas altimétricas.

Fotografia 6 - Estruturas geodésicas altimétricas implantadas nas bases e nos pilares da Rede de Referência Cadastral da UFPE. Exemplo: Marco geodésico EPS05. Foto: 22/09/2015.



Feita a implantação da base de calibração e das estruturas da Rede de Referência Altimétrica da UFPE, teve início, então, as etapas de medição, processamentos e análises dos resultados. Visando um melhor entendimento, nos próximos itens, descrevem-se a metodologia utilizada, para aquisição e processamento dos experimentos realizados nesta Dissertação.

#### 5.4 LEVANTAMENTO DAS ESTRUTURAS GEODÉSICAS ALTIMÉTRICAS

Desta forma, têm-se 14 (quatorze) RRNN nas bases e nos pilares da RRC da UFPE, 3 (três) RRNN da RAAP do IBGE e 6 (seis) RRNN auxiliares e duas RRNN no prédio do CTG (CTG01 e CTG02), como descrito anteriormente (cf. item 5.1), as quais definem o campo de pontos observado por meio do método do nivelamento geométrico de alta precisão (Quadro 2).

Na Figura 12, tem-se em vista aérea a geometria da Rede Altimétrica medida.

Figura 12 - Geometria da Rede de Nivelamento, *Campus Recife – UFPE*.



Fonte: Google Earth, 2016.

As medições foram realizadas a partir do método do nivelamento geométrico. Utilizando o Nível Digital DNA 03 (precisão 0,3mm/Km) e uma mira de ínvar de 2 m, assim como sapatas para materialização dos pontos auxiliares durante o levantamento de campo (Fotografia 7). A operacionalização em campo foi feita por circuitos de nivelamento fechados, ou seja, partiu-se de uma Referência de Nível conhecida e retornou-se à mesma (Figura 12).

Fotografia 7 - Nível Digital DNA 03, mira de ínvar de 2 m e sapata para materialização dos pontos auxiliares durante o levantamento de campo. Foto: 28/02/2016



O nível DNA 03 foi configurado para realizar para cada medição (de ré e vante) 4 leituras sucessivas, sendo verificado as respectivas amplitudes para cada grupo de leituras e respectivas médias. Adotando-se uma amplitude menor ou igual á  $\pm 0,06\text{mm}$  para as 4 leituras sucessivamente realizadas. Nas medições o nível digital foi colocado equidistante entre as miras de ré e vante.

Para o controle e obtenção de resultados confiáveis no processo de aquisição dos dados mensurados, antes de cada medição foi realizada a verificação e calibração do nível digital (DNA 03).

### 5.4.1 Verificação e calibração do nível digital

#### 5.4.1.1 Calibração pela ISO 17123- parte 2 (2001)

Basicamente este procedimento busca (ISO, 2001):

- Indicar se a precisão dos níveis esta dentro da tolerância determinada;
- Estabelecer a qualidade do instrumento para uma tarefa específica, assim como satisfazer os requisitos de outras normas.

O princípio prático desse método é conferir a precisão de um nível para ser usado em um nivelamento de áreas, para tarefas onde as linhas de nivelamento são desiguais.

#### a) Método Simples

Conforme a ISO 17123 parte 2 (2001) em 31 de Outubro de 2015 e 07 de Novembro de 2016 foi realizado o método simples de calibração do equipamento de nível digital DNA 03 (Fotografia 8). No Apêndice A têm-se os dados levantados.

Fotografia 8 - Método simples de calibração do equipamento de nível digital DNA 03 (Leica). Foto: 31/10/2015



Portanto, de acordo com a norma (ISO, 2001), calcula-se a diferença entre as médias aritméticas dos dois conjuntos de 10 medidas ( $\bar{D}_1 - \bar{D}_2$ ). Em seguida, é verificado se o módulo desta diferença é menor que 2,5 vezes o desvio padrão empírico  $s$  (Equação 31):

$$|\bar{D}_1 - \bar{D}_2| < 2,5 \times s \quad (31)$$

Onde:  $s$  é o desvio padrão e 2,5 o valor que representa a estatística de 95% de confiança dos resultados obtidos.

Na Tabela 1 verificam-se os resultados obtidos na verificação e calibração do nível digital, conforme a norma ISO 17123 – 2 (2001), utilizando o método simples, em conformidade com os dados adquiridos (Apêndice A (Tabelas A.1 e A.2)).

Tabela 1 – Análise da verificação e calibração do nível digital utilizando o método simples da ISO 17123 parte 2 (2001).

Datas	Observações	Médias Aritméticas das Observações (m)	Desvio Padrão ( $s$ ) (m)	Estatística de 95% (m)	
31/10/2015	$\bar{D}_1$	-0,016474	0,000127	0,000318	Aceito
	$\bar{D}_2$	-0,016692			
	$\bar{D}_1 - \bar{D}_2$	0,000218			
07/11/2016	$\bar{D}_1$	-0,020089	0,000043	0,000108	Aceito
	$\bar{D}_2$	-0,020084			
	$\bar{D}_1 - \bar{D}_2$	-0,000005			

Conforme a Tabela 1, a diferença ( $\bar{D}_1 - \bar{D}_2$ ) obtida entre as amostras do dia 31 de outubro de 2015 foi de ( $\bar{D}_1 - \bar{D}_2$ ) = -0,000218 m, com um desvio padrão  $s = 0,000127$  m e as amostras do dia 07 de novembro 2016, foi de ( $\bar{D}_1 - \bar{D}_2$ ) = -0,000005 m, com um desvio padrão  $s = 0,000043$  m. Portanto, de acordo com o teste  $|\bar{D}_1 - \bar{D}_2| < 2,5 \times s$ , as medidas estão dentro do limite aceitável de acordo com a ISO 17123-2 (ISO, 2001).

#### b) Método Completo

O método completo, foi realizado no dia 30 de novembro de 2016. De acordo, com a norma ISO 17123-2 calculou-se a diferença entre as médias aritméticas dos dois conjuntos de 20 medidas ( $\bar{D}_1 - \bar{D}_2$ ). Em seguida, foi verificado se o módulo desta diferença foi menor que 2,89 vezes o desvio padrão ( $s$ ) (Tabela 2). Os dados brutos podem ser visualizados no Apêndice B (Tabela B.1).

Tabela 2 - Resultados da verificação e calibração do nível digital pelo método completo da ISO 17123-2 (2001).

Observações	Média aritmética (m)	Desvio padrão (m)	Estatística de 95% (m)
$\bar{D}_1$	-0,020469	0,000136	0,000394
$\bar{D}_2$	-0,020438		
$\bar{D}_1 - \bar{D}_2$	-0,000031		

Com relação ao teste estatístico, este considerou duas amostras de medidas realizadas com o mesmo instrumento, mas com observadores diferentes.

Em continuidade, o seguinte teste estatístico Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) foi realizado:

$$s \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(38)}{38}} = s \leq \sigma \sqrt{\frac{53,38}{38}} = \chi^2_{0,95}(38) = 53,38 = s \leq \sigma \sqrt{\frac{53,38}{38}} = s \leq \sigma \times 1,19$$

Sendo:

$\sigma$  O desvio padrão de referência para o teste, este igual a 0,3 mm (precisão do equipamento usado). Desta forma, conclui-se que, com 95% de confiança, a hipótese nula não deve ser rejeitada. Pois o valor do desvio padrão foi de 0,000136 m, sendo portanto, menor que o valor atribuído ao teste estatístico realizado  $\sigma \times 1,19$  igual á 0,000357 m. Maiores detalhes sobre as equações e etapas de processamento do método simples e completo de verificação e calibração de nível digital, podem ser observados na ISO 17123 parte 2 (2001).

#### 5.4.1.2 Verificação e calibração pelo método Kukkamäki – utilização dos comandos embutidos do nível digital

Antes de cada campanha de medição, foi aplicado o método Kukkamäki (cf. item 3.2.2b) a partir dos comandos embutidos do nível digital para verificar o erro de colimação (C). Quando necessário, foi feito o ajuste deste erro. Na Tabela 3, têm-se os respectivos valores dos resultados determinados para C. Demais informações podem ser verificadas no Apêndice C (Tabela C.1).

Tabela 3 - Resultados do erro de colimação c durante a verificação e ajuste do equipamento.

Medição	C (erro de colimação) (m)	Datas
1	0,00005	31 / 10 / 2015
2	-0,00007	27 / 01 / 2016
3	0,00001	11 / 05 / 2016
4	-0,00005	17 / 05 / 2016
5	0,000045	30 / 11 / 2016
6	-0,00003	07 / 12 / 2016

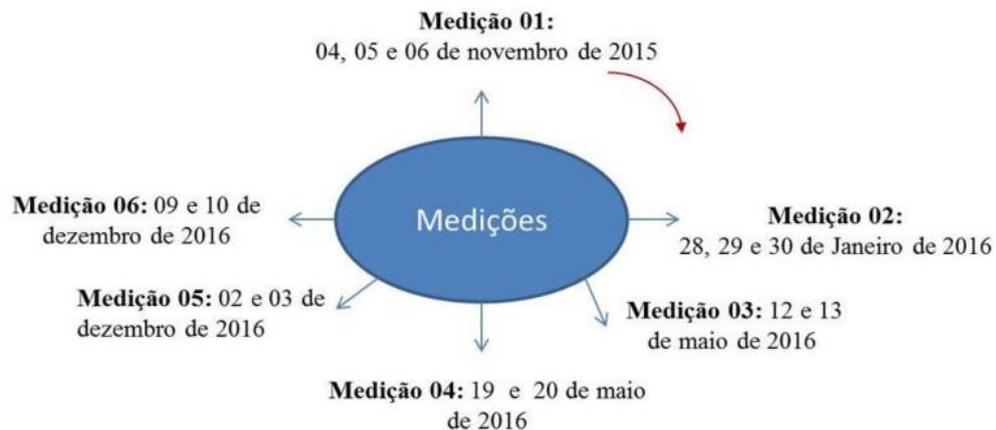
O erro de colimação, especificado na Tabela 3 é provocado pela falta de paralelismo entre a linha de visada e o plano formado pelo sistema de pêndulo.

Conforme discutidos nos itens (cf. item 3.2.1.2) métodos de determinação do erro de colimação para o equipamento de nível. Métodos estes, com o propósito de verificar o comportamento do equipamento, quando sujeito a variação de equidistância entre as linhas niveladas.

### 5.4.2 Campanhas de medição

Épocas das campanhas de medição estão ilustradas na Figura (13).

Figura 13 - Datas das campanhas de medição



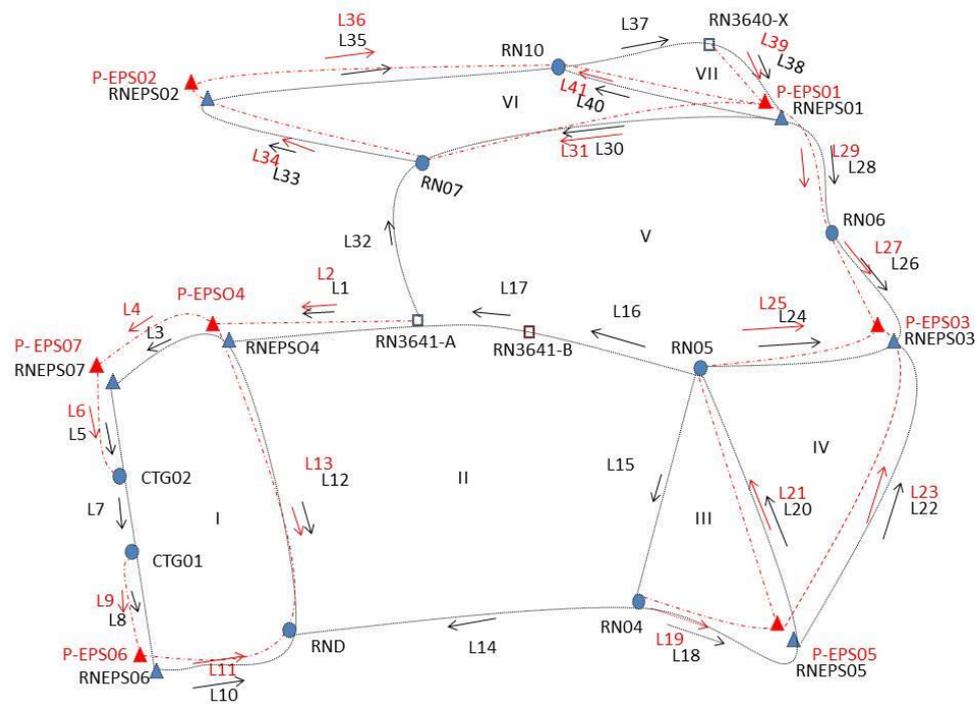
As medições foram realizadas partindo do referencial altimétrico definido pela RN 3641A (Anexo 1) com visadas de ré e vante, por caminamento no entorno do *Campus Recife* da UFPE, envolvendo todas as RRNN. O nível digital foi sempre posicionado a uma distância aproximadamente equidistante entre a mira de ré e de vante, colocada sobre a sapata durante o percurso até chegar às respectivas RRNN (Fotografia 9).

Fotografia 9 - O nível digital posicionado a uma distância aproximadamente equidistante entre a mira de ré e de vante. Foto: 03/11/2015



As medições da RRA implantada no *Campus Recife* da UFPE consideraram a geométrica, ilustrada na Figura 14. Nesta Figura, têm-se o sentido do levantamento, assim como as respectivas linhas niveladas.

Figura 14 - Rede de Referência Altimétrica, circuitos (I, II, III, IV, V, VI, VII), linhas de nivelamento geométrico (L1, L2, L3,..., L41) e sentido da medição realizada em campo.



Analisando a Figura 14, nota-se que a rede é constituída de 25 pontos, com 41 linhas niveladas e 07 circuitos fechados. A princípio sendo, a RN 3641A do IBGE, a RN de controle (com coordenada altimétrica injuncionada ( $11,0638 \text{ m} \pm 0,09 \text{ m}$ ) de maneira absoluta, materializando o referencial da rede implantada).

#### 5.4.2.1 Processamento

Conforme o levantamento realizado, os valores do erro de fechamento e perímetro dos circuitos nivelados foram calculados a partir dos desníveis e distâncias medidas em campo. Sempre foram visadas duas vezes os lances (a visada de ré, assim como de vante) para cada estação do equipamento de nível. A partir dessas informações a planilha com os dados coletados foram organizados em planilha do *Excel, 2010*.

A planilha contempla os seguintes itens: estação, ponto visado (P.V.), visada de ré (leitura 1, leitura 2 e leitura média), visada de vante (leitura 1, leitura 2 e leitura média), distância de ré (leitura 1, leitura 2 e leitura média), distância vante (leitura 1, leitura 2 e leitura média), desníveis e altitudes.

Em seguida, foi realizada uma análise sobre as leituras realizadas e calculados os valores do erro de fechamento, perímetro e a tolerância dos circuitos nivelados, de acordo

com os melhores resultados encontrados entre a primeira leitura, a segunda ou a leitura média (Apêndice D (Tabela D.1 e D.2)).

A Equação 32 representa o cálculo da tolerância aplicada para os circuitos da Rede de Referência Vertical. Com intuito de verificar possíveis erros grosseiros nas observações.

$$T_a = 3p_r \times \sqrt{K} \quad (32)$$

Sendo:

$p_r$  = precisão do equipamento ou uma precisão definida para o trabalho. Sendo, portanto, para está Dissertação adotado uma precisão para o fechamento dos circuitos de 0,3 mm / um duplo quilometro nivelado. Esta relacionada à precisão do equipamento utilizado.

$K$  = Distância nivelada em quilômetros.

Feita a análise preliminar sobre a tolerância das observações, a precisão das observações medidas foi calculada (Apêndice E (Tabela E.1)) conforme Equação 33.

$$P_e = \sqrt{\frac{(\text{erro}F)^2}{2K}} \quad (33)$$

Onde:  $P_e$  é a precisão; erroF é o erro de fechamento dos circuitos nivelados e  $k$  a distância nivelada em quilômetros (km) dos circuitos observados.

Com o erro de fechamento calculado, este será distribuído entre os desníveis medidos, proporcionalmente ao comprimento de cada lance (cf. item 4.1.1) para o ajustamento pelo método proporcional à distância. Portanto, com os desníveis compensados, podem-se calcular as altitudes ajustadas das estruturas geodésicas altimétricas medidas pelo método de nivelamento geométrico.

Pelo MMQ - modelo paramétrico, foram definidas as matrizes e vetores envolvidos, ou seja, a elaboração de uma sequência de cálculos e a análise dos resultados através do estudo da Matriz Variância – Covariância das observações ajustadas, dos resíduos e das altitudes ajustadas para todas as campanhas de medição. Também foi realizado o teste de hipóteses aplicado aos resultados encontrados das unidades de peso a priori e posteriori (cf. item 4.1.2.1 e 4.1.3).

Finalizando o MMQ, em seguida, foi realizada uma análise de variâncias das altitudes ajustadas (cf. item 4.1.4).

Com a metodologia de medição e processamento dos dados mensurados descritos anteriormente, os próximos itens apresentam os resultados alcançados e as respectivas análises em conformidade a cada campanha de medição. A seguir é realizada uma análise

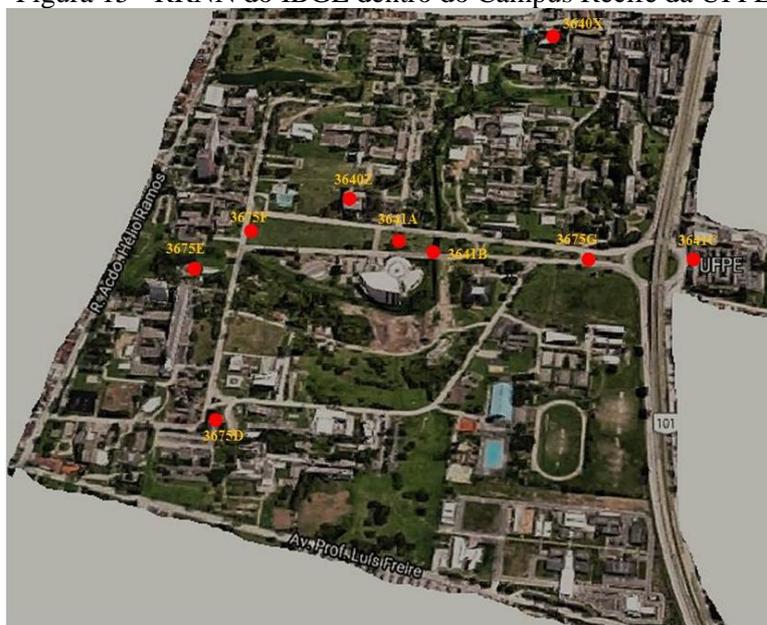
sobre a estabilidade de estruturas altimétricas da RAAP do IBGE, estas localizadas no *Campus Recife* da UFPE.

#### 5.4.2.2 Análise da qualidade da RAAP do IBGE e escolha da referência de nível padrão

No *Campus Recife* da UFPE existem 9 (nove) RRNN, que fazem parte da RAAP do IBGE (IBGE, 2016). Estas referências de acordo com o IBGE são denominadas de: 3641A, 3641B, 3641C, 3675D, 3675E, 3675F, 3675G, 3640X e 3640Z. As medições nesta dissertação contemplaram apenas as RRNN (3641A, 3641B e 3640X) (cf. item 5.1). Na Figura 15 é possível verificar a localização das RRNN no *Campus Recife* da UFPE.

As RRNN 3640Z e RN3641C não foram utilizadas, pois a primeira esta localizada na laje do prédio da Biblioteca Central e a segunda em frente ao prédio da Reitoria da UFPE. A exclusão das demais Referências de Nível (3675D, 3675E, 3675F, 3675G) ocorreu, pois as mesmas foram disponibilizadas no banco de dados geodésicos do IBGE, em junho de 2016, após a quarta campanha de medição.

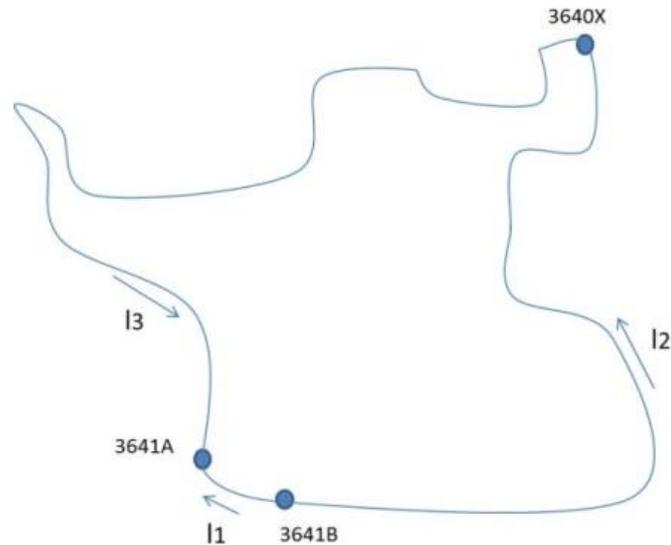
Figura 15 - RRNN do IBGE dentro do *Campus Recife* da UFPE



Fonte: Google Earth (2016).

O nivelamento geométrico com o nível digital envolveu 3 Referências de Nível ( 3641A, 3641B e 3640X), formando um circuito fechado composto por três linhas niveladas. A Figura 16 ilustra o esboço das linhas de nivelamento das RRNN da RAAP do IBGE medidas. As setas indicam o sentido de elevação do terreno.

Figura 16 – Esboço das linhas de nivelamento *l1*, *l2* e *l3* levantadas a partir das RRNN da RAAP do IBGE.



A Tabela 4 apresenta o erro de fechamento, o perímetro e a tolerância para o circuito independente formado das seis campanhas de medição, cujas épocas estão descritas na Figura 13.

Tabela 4 - Erros de fechamento, perímetros e a tolerâncias dos circuitos realizados pelo método do nivelamento geométrico ( RRNN do IBGE).

Circuitos	Leitura	Erro de fechamento (m)	Perímetro (m)	Tolerância (m)	Data de leituras
I	2º	0,00028	2348,960	0,00138	04, 05 e 06/11/2015
I	2º	0,00027	2059,709	0,00129	28, 29 e 30/01/2016
I	2º	-0,00066	2122,420	0,00131	12 e 13/05/2016
I	2º	-0,00094	2125,610	0,00131	19 e 20/05/2016
I	2º	-0,00028	2120,58	0,00131	02 e 03/12/2016
I	2º	-0,00054	2092,65	0,00130	09 e 10/12/2016

Para o ajustamento da rede de nivelamento, utilizaram-se como observações as diferenças de nível brutas ( $\Delta h$ ) com suas respectivas distâncias em quilômetros (Km), apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Diferenças de nível entre as RRNN do IBGE

Saída	Chegada	Linhas niveladas	Medição 01		Medição 02		Medição 03	
			$\Delta h$ (m)	Dist. (km)	$\Delta h$ (m)	Dist. (km)	$\Delta h$ (m)	Dist. (km)
3641B	3641A	<i>l1</i>	2,15894	0,08489	2,15800	0,08585	2,15858	0,10166
3641B	3640X	<i>l2</i>	0,88018	1,18365	0,87937	1,15419	0,87727	1,18221
3640X	3640A	<i>l3</i>	1,27904	1,08042	1,27890	0,82007	1,28065	0,83855

Saída	Chegada	Linhas niveladas	Medição 04		Medição 05		Medição 06.	
			$\Delta h$ (m)	Dist. (km)	$\Delta h$ (m)	Dist. (km)	$\Delta h$ (m)	Dist. (km)
3641B	3641A	<i>l1</i>	2,15881	0,09373	2,15711	0,09358	2,15708	0,09387
3641B	3640X	<i>l2</i>	0,87688	1,19038	0,87471	1,14502	0,87415	1,17749
3640X	3640A	<i>l3</i>	1,28099	0,8415	1,28186	0,85405	1,28265	0,84922

Desta forma, as informações altimétricas das campanhas de medição foram ajustadas pelo MMQ – modelo paramétrico (cf. item 4.1.2.2) com um nível de confiança de 95% de confiança. Seguindo - se com a análise da qualidade com o Teste Global do Modelo (TGM) (cf. item 4.1.3) (Teste Qui Quadrado  $\chi^2$ ). Foi definida a matriz dos coeficientes para as incógnitas (A), a partir do modelo matemático do MMQ - modelo paramétrico, Equação 34.

$$\begin{aligned} l_1^a &= H_{3641A}^a - H_{3641B}^a \\ l_2^a &= H_{3640X}^a - H_{3641B}^a \\ l_3^a &= H_{3641A}^a - H_{3640X}^a \end{aligned} = A = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -1 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (34)$$

A matriz dos pesos (P) foi determinada pelo inverso do comprimento das linhas niveladas em km (cf. item 4.1.2.1). Na sequência do ajustamento é obtido o vetor  $n^{X1}$  das correções aos parâmetros aproximados dados pela Equação (21). O vetor dos resíduos  $n^{V1}$  é obtido multiplicando o vetor das correções  $n^{X1}$  pela matriz  $n^{An}$  e somando-se a esse produto o vetor  $3^{L1}$  dado pela Equação (22):

A partir dos resíduos e da matriz dos pesos, pode-se calcular a variância da unidade de peso a posteriori  $\hat{\sigma}_0^2$ , cujo valor informa a variância das unidades de peso após o ajustamento e que é esperado ser igual à variância a priori  $\sigma_0^2$  (Equação 23 ).

Portanto, a partir de uma sequência de cálculos utilizada no ajustamento pelo MMQ - modelo paramétrico foi obtido a Matriz Variância – Covariância das observações ajustadas, dos resíduos e das altitudes ajustadas em relação à primeira, segunda, terceira, quarta, quinta e sexta campanhas de medição. A variância da observação de peso unitário a priori ( $\sigma_0^2$ ) foi definida a partir da precisão do equipamento (0,3 mm) utilizado no levantamento (Equação 16), está igual a  $(\sigma_0^2) = (0,3 \times 10^{-3} \cdot \sqrt{k_i})^2 = (\sigma_0^2) = 0,09 \times 10^{-6} \cdot k_i = \sigma_0^2 = 9 \times 10^{-8}$ .

Com base nestes experimentos, obteve-se a variância da unidade de peso unitário a posteriori  $\hat{\sigma}_0^2$  (Tabela 6), calculada a partir da Equação 23.

Tabela 6 – Variância da unidade de peso unitário a posteriori das campanhas de medição.

Campanhas	1°	2°	3°
$\hat{\sigma}_0^2$	$4,149 \times 10^{-8}$	$3,589 \times 10^{-8}$	$2 \times 10^{-7}$
Campanhas	4°	5°	6°
$\hat{\sigma}_0^2$	$4 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-7}$	$3,915 \times 10^{-8}$

Por fim, a análise de qualidade do ajustamento foi baseada na comparação entre  $\hat{\sigma}_0^2$  (variância da unidade de peso a posteriori) e  $\sigma_0^2$  (variância da unidade de peso a priori) e o respectivo grau de liberdade ( $gl=1$ ) (Equação 24). Verificou-se que os valores obtidos nas campanhas de medição estão dentro da região de aceitação para a hipótese nula, ao nível de significância 95%, conforme o teste bilateral e unilateral de hipótese.

Desta forma, conclui-se que o valor da variância de referência conhecida (variância a priori), é estatisticamente igual a variância da unidade de peso unitário a posteriori. Portanto, a magnitude dos resíduos é compatível com a precisão assumida para as observações.

Com o ajustamento aceito foram calculadas as MVC dos resíduos ( $\sum v$ ), dos valores observados ajustados ( $\sum la$ ) e das altitudes ajustadas ( $\sum xa$ ). Em Cujas diagonais se encontram as variâncias. A partir destas são extraídas as raízes quadradas, fornecendo o desvio padrão.

O cálculo da Matriz Variância-Covariância dos resíduos é realizado aplicando-se a Equação 25, conforme o modelo paramétrico de ajustamento. Os resíduos com seus respectivos desvios padrão são dados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resíduos e respectivos desvios padrão ( $\sigma$ )

Resíduos	Medição 01		Medição 02	
	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)
$v_1$	0,00001	$\pm 0,00070$	0,00001	$\pm 0,00064$
$v_2$	-0,00014	$\pm 0,00010$	-0,00015	$\pm 0,00011$
$v_3$	-0,00013	$\pm 0,00012$	-0,00011	$\pm 0,00016$
Resíduos	Medição 03		Medição 04	
	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)
$v_1$	-0,00003	$\pm 0,000145$	-0,00004	$\pm 0,000217$
$v_2$	0,00037	$\pm 0,00026$	0,00053	$\pm 0,00038$
$v_3$	0,00026	$\pm 0,00039$	0,00037	$\pm 0,00055$
Resíduos	Medição 05		Medição 06	
	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)
$v_1$	-0,00002	$\pm 0,000122$	-0,00001	$\pm 0,00064$
$v_2$	0,00029	$\pm 0,00022$	0,00015	$\pm 0,00011$
$v_3$	0,00022	$\pm 0,00030$	0,00011	$\pm 0,00016$

Fonte: Scilab 5.5.2

A Tabela 8 apresenta as observações ajustadas das campanhas de medição e os respectivos desvios padrão destas, desvios estes determinados a partir da Matriz Covariâncias das observações, calculada conforme a Equação 26.

Tabela 8 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão.

Medição 01			Medição 02		
Observações	$\Delta H$ (m)	$\sigma$ (m)	Observações	$\Delta H$ (m)	$\sigma$ (m)
$l_1^a$	2,15895	$\pm 0,00006$	$l_1^a$	2,15801	$\pm 0,00005$
$l_2^a$	0,88004	$\pm 0,00016$	$l_2^a$	0,87922	$\pm 0,00014$
$l_3^a$	1,27891	$\pm 0,00016$	$l_3^a$	1,27879	$\pm 0,00013$

Medição 03			Medição 04		
Observações	$\Delta H$ (m)	$\sigma$ (m)	Observações	$\Delta H$ (m)	$\sigma$ (m)
$l_1^a$	2,15855	$\pm 0,00014$	$l_1^a$	2,15877	$\pm 0,00020$
$l_2^a$	0,87764	$\pm 0,00034$	$l_2^a$	0,87741	$\pm 0,00048$
$l_3^a$	1,28091	$\pm 0,00033$	$l_3^a$	1,28136	$\pm 0,00048$

Medição 05			Medição 06		
Observações	$\Delta H$ (m)	$\sigma$ (m)	Observações	$\Delta H$ (m)	$\sigma$ (m)
$l_1^a$	2,15709	$\pm 0,00011$	$l_1^a$	2,15707	$\pm 0,00006$
$l_2^a$	0,87501	$\pm 0,00027$	$l_2^a$	0,87431	$\pm 0,00014$
$l_3^a$	1,28208	$\pm 0,00026$	$l_3^a$	1,28276	$\pm 0,00014$

Fonte: *Scilab 5.5.2*

A Tabela 9 apresenta as altitudes ajustadas e respectivos desvios padrão, estes calculados a partir da Matriz das Covariâncias das altitudes ajustadas Equação 27.

Tabela 9 – Altitudes ajustadas e respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ).

Referência de nível	Medição 01		Medição 02	
	$\Delta h$ (m)	$\sigma$ (m)	$\Delta h$ (m)	$\sigma$ (m)
3641 <sup>a</sup>	11,0638	-	11,0638	-
3641B	8,9048	$\pm 0,00006$	8,9058	$\pm 0,00005$
3640X	9,7849	$\pm 0,00016$	9,7850	$\pm 0,00013$

Referência de nível	Medição 03		Medição 04	
	$\Delta h$ (m)	$\sigma$ (m)	$\Delta h$ (m)	$\sigma$ (m)
3641 <sup>a</sup>	11,0638	-	11,0638	-
3641B	8,9053	$\pm 0,00014$	8,9050	$\pm 0,00020$
3640X	9,7829	$\pm 0,00033$	9,7824	$\pm 0,00048$

Referência de nível	Medição 05		Medição 06	
	$\Delta h$ (m)	$\sigma$ (m)	$\Delta h$ (m)	$\sigma$ (m)
3641 <sup>a</sup>	11,0638	-	11,0638	-
3641B	8,9067	$\pm 0,00011$	8,9067	$\pm 0,00006$
3640X	9,7817	$\pm 0,00027$	9,7810	$\pm 0,00014$

Fonte: *Scilab 5.5.2*

Para a confiabilidade do processo de ajuste pelo MMQ, os dados referentes às campanhas de medição, foram processados pelo programa *adjust (2009\*)* tendo resultados iguais aos alcançados utilizando a programação *scilab*.

A realização das seis campanhas de medição permitiu analisar as variâncias obtidas e averiguar se suas diferenças são significativas em 5% (cf. item 4.1.4).

A Tabela 10 apresenta a análise de variâncias das 6 campanhas de medição realizadas. Utilizando-se a função ANOVA fornecida no software *Excel 2010*.

Tabela 10 – Análise de variâncias das altitudes ajustadas (Excel, 2010)

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-p	f crítico
Entre grupos	2e-14	5	4e-15	1,2102	0,4052	4,3874
Dentro dos grupos	2e-14	6	3e-15			
Total	4e-14	11				

Fonte: Excel (2010)

Na Tabela 10 ver-se que o valor de  $F$  é menor que o valor  $f$ - crítico, assim como o valor-p, conclui-se com isso que  $F$  não é significativo, ou seja, as amostras testadas não se diferenciam significativamente em 5%. Onde  $F$  é obtido pela divisão do quadrado médio entre os grupos e dentro dos grupos. Na Tabela 11 o resultado da ANOVA pelo *software* AstGeoTop (2016), utilizando-se o módulo estatístico - análise de grupos de amostras (GARNÉS, 2012).

Tabela 11 - Análise de variâncias das medições.

Fonte de variação	S.Q.	Gl	Q.M.	Estat-F	f-crítico
Entre grupos	0	5	0	1,208	4,388
Dentro dos grupos	0	6	0		
Total	0	11			

Conforme a análise sobre as variâncias das épocas de medição nas Tabelas 10 e 11, não houve diferença entre as amostras analisadas. Portanto, a estatística  $F$  não foi rejeitada ao nível de significância de 5%. Além disso, para esses grupos de amostras foi aplicado o teste Scheffé e Tukey conforme item (4.1.4). Embora o teste Scheffé, deva ser utilizado quando o teste  $F$  for significativo (Tabela 12).

Tabela 12 - Análise das diferenças pelo método de Scheffé. Unidades em centésimo de milímetro

GRUPOS		DALFA	MED_I - MED_J	CONCLUSÃO
AMOSTRA1	AMOSTRA2	0,026	0,000	NÃO DIFEREM
AMOSTRA1	AMOSTRA3	0,026	0,005	NÃO DIFEREM
AMOSTRA1	AMOSTRA4	0,026	0,011	NÃO DIFEREM
AMOSTRA1	AMOSTRA5	0,026	0,003	NÃO DIFEREM
AMOSTRA1	AMOSTRA6	0,026	0,000	NÃO DIFEREM
AMOSTRA2	AMOSTRA3	0,026	0,005	NÃO DIFEREM
AMOSTRA2	AMOSTRA4	0,026	0,011	NÃO DIFEREM
AMOSTRA2	AMOSTRA5	0,026	0,003	NÃO DIFEREM
AMOSTRA2	AMOSTRA6	0,026	0,000	NÃO DIFEREM
AMOSTRA3	AMOSTRA4	0,026	0,006	NÃO DIFEREM
AMOSTRA3	AMOSTRA5	0,026	0,002	NÃO DIFEREM
AMOSTRA3	AMOSTRA6	0,026	0,005	NÃO DIFEREM
AMOSTRA4	AMOSTRA5	0,026	0,008	NÃO DIFEREM
AMOSTRA4	AMOSTRA6	0,026	0,011	NÃO DIFEREM
AMOSTRA5	AMOSTRA6	0,026	0,003	NÃO DIFEREM

Fonte: AstGeoTop (2012).

Na Tabela 13 tem-se o resultado do teste Tukey.

Tabela 13 - Teste Tukey.

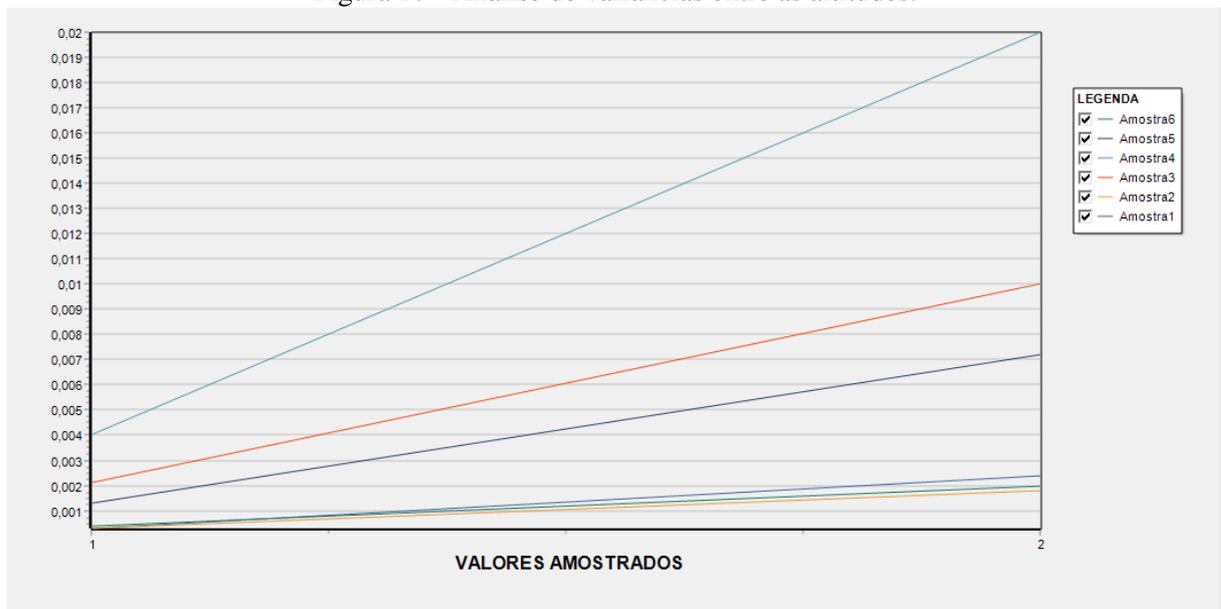
	A	B	C	D	E	F
A		1	0,9448	0,4618	0,9927	1
B	0,0772		0,9304	0,4377	0,9887	1
C	1,209	1,287		0,8724	0,9992	0,9379
D	2,741	2,818	1,531		0,723	0,4497
E	0,7463	0,8235	0,4632	1,994		0,9908
F	0,0386	0,0386	1,248	2,779	0,7849	

Fonte: PAST (2013)

Na Tabela 13, tem-se a análise Tukey, descrita (cf. item 4.1.4). O teste Tukey faz uma comparação de média, tendo como referência DMS (Diferença Mínima Significativa). Portanto, a Tabela 14 apresenta os dados referentes ao teste Tukey, processados pelo software PAST. Observa com isso, que: A, B, C, D, E e F representam as amostras testadas.

De acordo, com os dados destas Tabelas 12 e 13, conclui-se que não ocorreram alterações entre as altitudes das RRNN medidas em épocas distintas (PAST, 2013) Figura 17.

Figura 17 - Análise de variâncias entre as altitudes.



Fonte: AstGeoTop (2012).

Embora, não se tenha encontrado diferença entre as épocas de medição das RRNN da RAAP. Os valores de altitudes calculados e ajustados foram comparados com as altitudes das RRNN da RAAP de acordo com o relatório do Banco de Dados Geodésicos Altimétricos do IBGE (IBGE, 2016). De acordo com este relatório as RRNN 3641B e 3640X possuem,

respectivamente, uma altitude ortométrica de 8,9064 m  $\pm$ 0,09 m e 9,8373 m  $\pm$ 0,09 m (IBGE, 2016).

Quando se compara o valor da altitude ajustada, com as informações dessas mesmas altitudes no Banco de Dados Geodésicos do IBGE, a altitude da RN 3640X é discrepante em 0,0549 m, diferentemente a RN 3641B discrepante em 0,0016 m.

Todavia, os dados das RRNN da RAAP/IBGE (3641A e 3641B) foram atualizados em 2014, mas isso não ocorreu com a RN 3640X, que teve como última atualização 15 de junho de 2011 de acordo com o IBGE (2016).

Portanto, feito a análise das RRNN do IBGE localizadas no *Campus* Recife da UFPE, tem-se que o resultado temporal dos dados medidos, pelo método do nivelamento geométrico, analisados pelo MMQ e a análise de variâncias, tiveram resultados satisfatórios. Verifica-se com isso que não foi detectada instabilidade das estruturas de referência altimétrica durante as seis campanhas realizadas.

O resultado da análise entre as altitudes ajustadas e as informações das altitudes, conforme a RAAP do IBGE, demonstrou que, dentre das RRNN analisadas, não se aconselha o uso da RN 3640X, por sua altitude especificada no relatório do IBGE não estar em conformidade com as demais altitudes RN 3641A e RN 3641B.

A obstrução das estruturas da RAAP é frequente. Isto pode ser comprovado a partir dos relatórios do Banco de Dados Geodésicos do IBGE. Nestes relatórios, têm-se informações do provável estado dessas estruturas. Estas informações podem estar incoerentes, havendo a necessidade de ir in loco para uma real confirmação. Por exemplo, a RN 3641B, antes da sua atualização em 2014, sua altitude não era confiável, pois a mesma, foi obstruída devido a um acidente automobilístico na sua localização em julho 2015. Além disso, é importante antes de se considerar uma estrutura de referência altimétrica, avaliar a real condição de estabilidade, o que foi feito nessa dissertação.

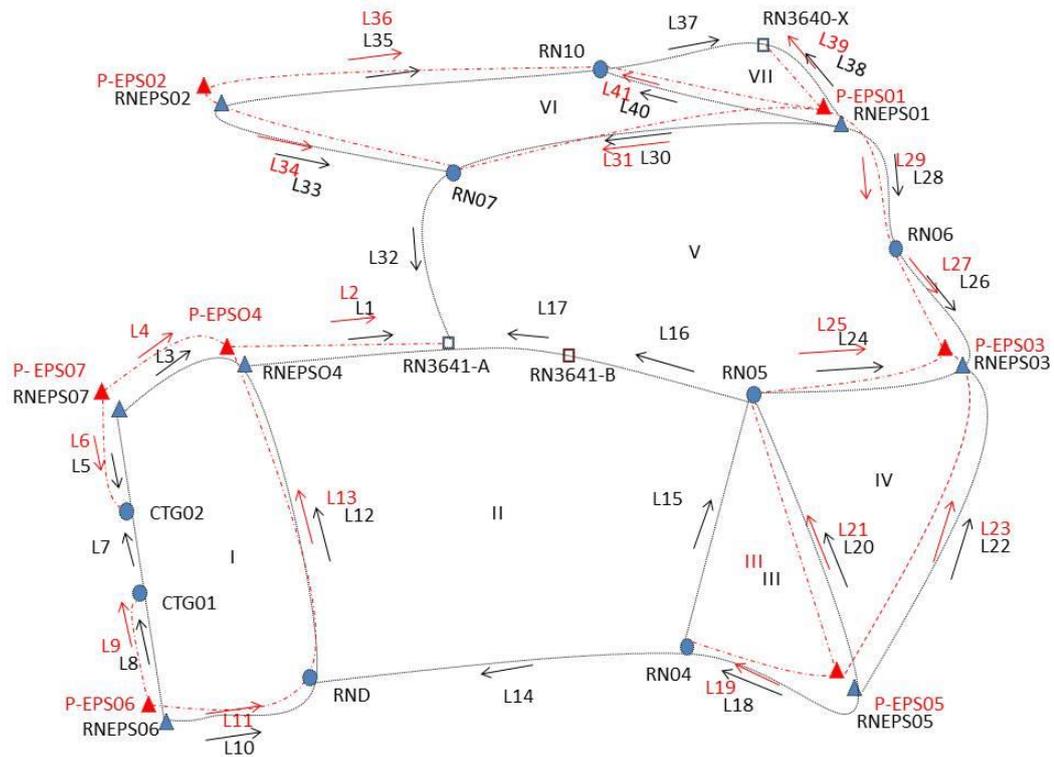
#### 5.4.2.3 Análise dos resultados - primeira campanha de medição – Novembro de 2015

Neste item serão apresentados os resultados da primeira campanha de medição, realizada no dia 04, 05 e 06 de Novembro de 2015, envolvendo todas as referências de nível (cf. item 5.1).

Os dados serão analisados por dois métodos de ajustamento distintos: proporcional a distancia e MMQ - modelo paramétrico. Além disso, será realizada a análise da qualidade dos dados.

No ajustamento foram definidas duas redes altimétricas, uma referente aos pinos de superfícies semiesféricas e outra referente aos parafusos. Na Figura 18 estão ilustradas ambas as redes, onde as linhas em azul se referem aos Pinos de superfícies semiesféricas e as linhas em vermelho aos parafusos.

Figura 18 - Esboço da rede de nivelamento geométrico: em vermelho tem-se a rede referente à medição dos parafusos e azul a rede referente à medição dos pinos de superfícies semiesféricas.



Desta maneira a rede foi processada em duas situações distintas, ou seja, com os pinos de superfícies semiesféricas (com 18 referências altimétricas (com a RN 3641A, referência de controle da RRA), 24 linhas niveladas e 7 circuitos). O mesmo ocorreu para a Rede com relação aos parafusos.

Os dados referentes a essa campanha de medição 01 e as demais, estão representados no Apêndice (F).

#### 5.4.2.3.1 Método proporcional à distância

A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos para as altitudes pelo método proporcional à distância. Neste caso, foram gerados dois resultados, um relacionado à composição da rede em relação aos pinos de superfícies semiesféricas e outra relacionado à composição da rede em relação aos parafusos (cf. item 4.1.1).

Tabela 14 – Altitudes ajustadas das estruturas altimétricas, pelo método proporcional á distância (Novembro de 2015)

RRNN	Altitudes (Pinos de superfícies semiesféricas) (m)	Altitudes (Parafusos) (m)
EPS04	9,13490	9,28250
EPS07	8,82677	8,95069
CTG02	9,77071	9,77071
CTG01	9,73611	9,73612
EPS06	8,80257	8,92054
RN-D	9,08729	9,08731
RN04	8,07092	8,07092
RN05	8,77278	8,77273
3641-B	8,90486	8,90485
EPS05	7,30607	7,40703
EPS03	9,42074	9,54336
RN06	8,36106	8,36107
EPS01	6,97041	7,09745
RN07	8,87315	8,87325
EPS02	8,53681	8,64129
RN10	9,05124	9,05122
3640-X	9,78482	9,78487

Estas altitudes foram obtidas a partir do processo de distribuição do erro encontrado nos circuitos de nivelamentos realizados, tendo como referência a RN 3641A com uma altitude de 11,0638 m (IBGE, 2016) para a primeira campanha de medição, assim como os valores dos erros de fechamento e perímetros dos circuitos nivelados (Apêndice D).

#### 5.4.2.3.2 Métodos dos Mínimos Quadrados: modelo paramétrico

Após a análise dos dados observados, as duas redes consideradas separadamente foram ajustadas pelo MMQ - modelo paramétrico (cf. item 4.1.2). Considerando a RN 3641A a referência absoluta, com uma altitude de 11,0638 m  $\pm$ 0,09m (IBGE, 2016).

Seguindo o princípio do MMQ: modelo paramétrico (cf. item 4.1.2.2), foram obtidos os resíduos ajustados, observações ajustadas e altitudes ajustadas da Rede de Referência Vertical densificada no Campus Recife.

A seguir é apresentado o modelo matemático que representa os coeficientes das equações de observações que definem a matriz A com 24 linhas e 17 colunas (Equação 35), MMQ - modelo paramétrico, para a RRA dos pinos de superfícies semiesféricas e RRA dos parafusos.

## Pinos de superfícies semiesféricas

$$\begin{aligned}
I_1^a &= H_{3641A}^a - H_{EPS04}^a \\
I_3^a &= H_{EPS04}^a - H_{EPS07}^a \\
I_5^a &= H_{CTG02}^a - H_{EPS07}^a \\
I_7^a &= H_{CTG02}^a - H_{CTG01}^a \\
I_8^a &= H_{CTG01}^a - H_{EPS06}^a \\
I_{10}^a &= H_D^a - H_{EPS06}^a \\
I_{12}^a &= H_{EPS04}^a - H_D^a \\
I_{14}^a &= H_D^a - H_{RN04}^a \\
I_{15}^a &= H_{RN05}^a - H_{RN04}^a \\
I_{16}^a &= H_{3641B}^a - H_{RN05}^a \\
I_{17}^a &= H_{3641A}^a - H_{3641B}^a \\
I_{18}^a &= H_{RN04}^a - H_{EPS05}^a \\
I_{20}^a &= H_{RN05}^a - H_{EPS05}^a \\
I_{22}^a &= H_{EPS03}^a - H_{EPS05}^a \\
I_{24}^a &= H_{EPS03}^a - H_{RN05}^a \\
I_{26}^a &= H_{EPS03}^a - H_{RN06}^a \\
I_{28}^a &= H_{RN06}^a - H_{EPS01}^a \\
I_{30}^a &= H_{RN07}^a - H_{EPS01}^a \\
I_{32}^a &= H_{3641A}^a - H_{RN07}^a \\
I_{33}^a &= H_{RN07}^a - H_{EPS02}^a \\
I_{35}^a &= H_{RN10}^a - H_{EPS02}^a \\
I_{37}^a &= H_{3640X}^a - H_{RN10}^a \\
I_{38}^a &= H_{3640X}^a - H_{EPS01}^a \\
I_{40}^a &= H_{RN10}^a - H_{EPS01}^a
\end{aligned}$$

## Parafusos

$$\begin{aligned}
I_2^a &= H_{3641A}^a - H_{P-EPS04}^a \\
I_4^a &= H_{P-EPS04}^a - H_{P-EPS07}^a \\
I_6^a &= H_{CTG02}^a - H_{P-EPS07}^a \\
I_7^a &= H_{CTG02}^a - H_{CTG01}^a \\
I_9^a &= H_{CTG01}^a - H_{P-EPS06}^a \\
I_{11}^a &= H_D^a - H_{P-EPS06}^a \\
I_{13}^a &= H_{P-EPS04}^a - H_D^a \\
I_{14}^a &= H_D^a - H_{RN04}^a \\
I_{15}^a &= H_{RN05}^a - H_{RN04}^a \\
I_{16}^a &= H_{3641B}^a - H_{RN05}^a \\
I_{17}^a &= H_{3641A}^a - H_{3641B}^a \\
I_{19}^a &= H_{RN04}^a - H_{P-EPS05}^a \\
I_{21}^a &= H_{RN05}^a - H_{P-EPS05}^a \\
I_{23}^a &= H_{P-EPS03}^a - H_{P-EPS05}^a \\
I_{25}^a &= H_{P-EPS03}^a - H_{RN05}^a \\
I_{27}^a &= H_{P-EPS03}^a - H_{RN06}^a \\
I_{29}^a &= H_{RN06}^a - H_{P-EPS01}^a \\
I_{31}^a &= H_{RN07}^a - H_{P-EPS01}^a \\
I_{32}^a &= H_{3641A}^a - H_{RN07}^a \\
I_{34}^a &= H_{RN07}^a - H_{P-EPS02}^a \\
I_{36}^a &= H_{RN10}^a - H_{P-EPS02}^a \\
I_{37}^a &= H_{3640X}^a - H_{RN10}^a \\
I_{39}^a &= H_{3640X}^a - H_{P-EPS01}^a \\
I_{41}^a &= H_{RN10}^a - H_{P-EPS01}^a
\end{aligned}$$

(35)

A Matriz dos pesos (P) foi obtida pela Equação 17, a partir do inverso do comprimento em quilômetros de cada linha nivelada. P é uma matriz quadrada e simétrica com 24 linhas e 24 colunas (pinos de superfícies semiesféricas ou parafusos). Por serem atribuídas às observações independentes é uma matriz diagonal.

Na sequência do ajustamento é obtido o vetor  $17^{X1}$  das correções aos parâmetros aproximados dados pela Equação (21) e o vetor dos resíduos  $24^{V1}$  é obtido multiplicando o vetor das correções  $17^{X1}$  pela matriz  $24^{A17}$  e somando-se a esse produto o vetor  $24^{L1}$  dado pela Equação (22).

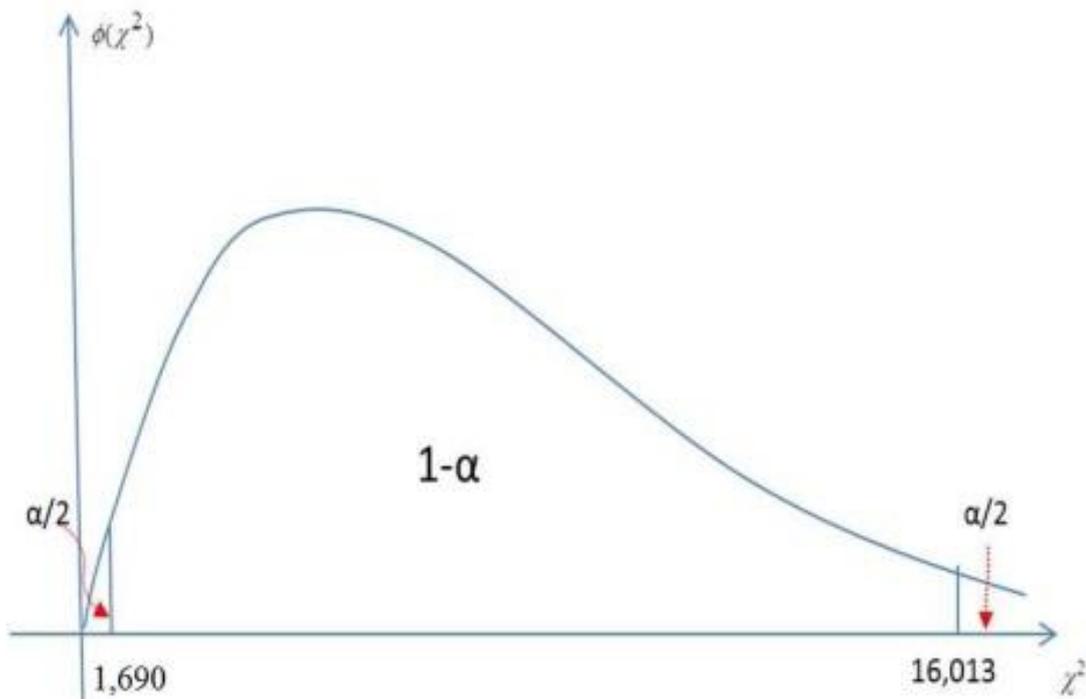
A partir dos resíduos e da matriz dos pesos, pode-se calcular a variância da unidade de peso a posteriori  $\hat{\sigma}_0^2$ , cujo valor informa a variância das unidades de peso após o ajustamento e que é esperado ser igual à variância da unidade de peso a priori  $\sigma_0^2$  (Equação 23).

A variância da unidade de peso a priori ( $\sigma_0^2$ ) foi determinado pela Equação 16 este relacionado à uma precisão de 0,3 mm do equipamento utilizado,  $\sigma_0^2 = 9 \times 10^{-8}$ .

Com base neste experimento, obtiveram-se as respectivas variâncias da unidade de peso unitário a posteriori,  $\hat{\sigma}_0^2 = 4,406 \times 10^{-8}$  (pinos de superfícies semiesféricas) e  $\hat{\sigma}_0^2 = 6,784 \times 10^{-8}$  (Parafusos), calculadas a partir da Equação 23. Assim, com o  $gl=7$  foi realizado o teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) e uma análise da qualidade do ajustamento (Equação 24)

Portanto, de acordo com os testes de hipóteses realizados,  $\chi^2$  teórico com  $\alpha=5\%$  ( $0,5\alpha = 0,025$ ;  $1-0,5\alpha = 0,975$ ), verificou-se que o ajustamento realizado está dentro do intervalo de confiança estabelecido pela distribuição Qui-Quadrado ( $\chi^2 = 3,4268$  e  $\chi^2 = 5,2764$ ) (Equação 24) ao nível de confiança de 95%, ou seja, a hipótese básica não é rejeitada ao nível de significância de 5%, Figura 19 .

Figura 19 - Análise estatística (teste Bilateral).



Com o teste aceito foram calculadas as Matrizes Variância-Covariância (MVC) dos resíduos, das observações ajustadas e das altitudes ajustadas pelo MMQ - modelo paramétrico.

O cálculo da Matriz Variância-Covariância dos resíduos é realizado aplicando-se a Equação 25. Os resíduos e respectivos desvios padrão na Tabela 15.

Tabela 15 - Resíduos e seus respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ) ( Campanha de medição 01 - Novembro de 2015).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Resíduos	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)	Resíduos	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)
v1	0,00011	$\pm 0,00035$	v2	0,00011	$\pm 0,00044$
v3	0,00003	$\pm 0,00055$	v4	0,00001	$\pm 0,00068$
v5	- 0,00003	$\pm 0,00054$	v6	- 0,00001	$\pm 0,00067$
v7	0,00000	$\pm 0,00163$	v7	0,00000	$\pm 0,00202$
v8	0,00005	$\pm 0,00041$	v9	0,00002	$\pm 0,00051$
v10	- 0,00005	$\pm 0,00042$	v11	- 0,00002	$\pm 0,00052$
v12	0,00004	$\pm 0,00037$	v13	0,00008	$\pm 0,00046$
v14	0,00017	$\pm 0,00028$	v14	0,00017	$\pm 0,00034$
v15	- 0,00004	$\pm 0,00034$	v15	- 0,00008	$\pm 0,00042$
v16	- 0,00001	$\pm 0,00047$	v16	0,00003	$\pm 0,00059$
v17	0,00000	$\pm 0,00072$	v17	0,00001	$\pm 0,00089$
v18	0,00009	$\pm 0,00034$	v19	0,00005	$\pm 0,00043$
v20	- 0,00007	$\pm 0,00026$	v21	- 0,00001	$\pm 0,00032$
v22	- 0,00009	$\pm 0,00023$	v23	- 0,00008	$\pm 0,00028$
v24	- 0,00002	$\pm 0,00059$	v25	- 0,00005	$\pm 0,00073$
v26	0,00010	$\pm 0,00035$	v27	0,00016	$\pm 0,00044$
v28	0,00009	$\pm 0,00038$	v29	0,00014	$\pm 0,00047$
v30	- 0,00006	$\pm 0,00041$	v31	- 0,00011	$\pm 0,00050$
v32	- 0,00012	$\pm 0,00032$	v32	- 0,00018	$\pm 0,00040$
v33	- 0,00002	$\pm 0,00036$	v34	- 0,00001	$\pm 0,00044$
v35	0,00003	$\pm 0,00031$	v36	0,00001	$\pm 0,00038$
v37	- 0,00001	$\pm 0,00042$	v37	0,00003	$\pm 0,00052$
v38	0,00001	$\pm 0,00041$	v39	- 0,00003	$\pm 0,00051$
v40	- 0,00003	$\pm 0,00045$	v41	0,00002	$\pm 0,00056$

Os resíduos ajustados, conforme valores apresentados na Tabela 15 foram respectivamente inferiores e iguais a  $\pm 0,00017$  m e  $\pm 0,00018$  m. Portanto, era esperado que o

teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) fosse ‘não rejeitado, visto que a magnitude dos resíduos é compatível com a precisão das observações, ou seja, os resíduos possuem uma ordem de grandeza coerente com o respectivo desvio padrão das observações originais.

Na Tabela 16 verificam-se as respectivas observações ajustadas e os desvios padrão dessas observações, determinados pela Matriz das Covariâncias (Equação 26).

Tabela 16 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ) ( Campanha de medição 01 - Novembro de 2015).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Observações	$\Delta H^a$ (m)	$\sigma$ (m)	Observações	$\Delta H^a$ (m)	$\sigma$ (m)
$l_1^a$	1,92894	$\pm 0,00011$	$l_2^a$	1,78135	$\pm 0,00013$
$l_3^a$	0,30814	$\pm 0,00007$	$l_4^a$	0,33182	$\pm 0,00009$
$l_5^a$	0,94392	$\pm 0,00008$	$l_6^a$	0,82001	$\pm 0,00009$
$l_7^a$	0,03459	$\pm 0,00003$	$l_7^a$	0,03459	$\pm 0,00003$
$l_8^a$	0,93357	$\pm 0,00009$	$l_9^a$	0,81560	$\pm 0,00011$
$l_{10}^a$	0,28475	$\pm 0,00009$	$l_{11}^a$	0,16677	$\pm 0,00011$
$l_{12}^a$	0,04764	$\pm 0,00009$	$l_{13}^a$	0,19524	$\pm 0,00011$
$l_{14}^a$	1,01623	$\pm 0,00012$	$l_{14}^a$	1,01623	$\pm 0,00015$
$l_{15}^a$	0,70187	$\pm 0,00009$	$l_{15}^a$	0,70183	$\pm 0,00012$
$l_{16}^a$	0,13200	$\pm 0,00008$	$l_{16}^a$	0,13204	$\pm 0,00010$
$l_{17}^a$	2,15894	$\pm 0,00006$	$l_{17}^a$	2,15895	$\pm 0,00007$
$l_{18}^a$	0,76475	$\pm 0,00010$	$l_{19}^a$	0,66381	$\pm 0,00012$
$l_{20}^a$	1,46662	$\pm 0,00010$	$l_{21}^a$	1,36564	$\pm 0,00012$
$l_{22}^a$	2,11458	$\pm 0,00011$	$l_{23}^a$	2,13626	$\pm 0,00013$
$l_{24}^a$	0,64796	$\pm 0,00007$	$l_{25}^a$	0,77062	$\pm 0,00008$
$l_{26}^a$	1,05970	$\pm 0,00011$	$l_{27}^a$	1,18232	$\pm 0,00013$
$l_{28}^a$	1,39068	$\pm 0,00010$	$l_{29}^a$	1,26365	$\pm 0,00013$
$l_{30}^a$	1,90271	$\pm 0,00009$	$l_{31}^a$	1,77575	$\pm 0,00011$
$l_{32}^a$	2,19065	$\pm 0,00011$	$l_{32}^a$	2,19059	$\pm 0,00014$
$l_{33}^a$	0,33636	$\pm 0,00010$	$l_{34}^a$	0,23196	$\pm 0,00012$
$l_{35}^a$	0,51446	$\pm 0,00011$	$l_{36}^a$	0,40998	$\pm 0,00013$
$l_{37}^a$	0,73360	$\pm 0,00008$	$l_{37}^a$	0,73364	$\pm 0,00010$
$l_{38}^a$	2,81441	$\pm 0,00008$	$l_{39}^a$	2,68742	$\pm 0,00010$
$l_{40}^a$	2,08081	$\pm 0,00007$	$l_{41}^a$	1,95377	$\pm 0,00009$

Observam-se na Tabela 16 que os desvios padrão das observações foram inferiores ou iguais a  $\pm 0,00012$  m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e  $\pm 0,00015$  m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos.

A Tabela 17 apresenta as respectivas altitudes ajustadas das estruturas altimétricas densificadas no Campus Recife da UFPE, com seus respectivos desvios padrão. Estes calculados pela Matriz Covariância das Altitudes, obtida pela Equação 27.

Tabela 17 – Altitudes ajustadas da rede de referência altimétrica, Campus Recife da UFPE e respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ) (Campanha de medição 01 - Novembro de 2015).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Referência de Nível	H <sup>a</sup> (m)	$\sigma$ (m)	Referência de Nível	H <sup>a</sup> (m)	$\sigma$ (m)
RNEPS04	9,13486	$\pm 0,00011$	P-EPS04	9,28245	$\pm 0,00013$
RNEPS07	8,82672	$\pm 0,00013$	P-EPS07	8,95062	$\pm 0,00016$
CTG02	9,77063	$\pm 0,00014$	CTG02	9,77063	$\pm 0,00017$
CTG01	9,73604	$\pm 0,00014$	CTG01	9,73604	$\pm 0,00017$
RNEPS06	8,80247	$\pm 0,00014$	P-EPS06	8,92044	$\pm 0,00017$
RN-D	9,08722	$\pm 0,00012$	RN-D	9,08721	$\pm 0,00015$
RN04	8,07099	$\pm 0,00012$	RN04	8,07098	$\pm 0,00015$
RN05	8,77286	$\pm 0,00009$	RN05	8,77281	$\pm 0,00011$
RN3641-B	8,90486	$\pm 0,00006$	RN3641-B	8,90485	$\pm 0,00007$
RNEPS05	7,30624	$\pm 0,00013$	P-EPS05	7,40717	$\pm 0,00016$
RNEPS03	9,42082	$\pm 0,00011$	P-EPS03	9,54344	$\pm 0,00013$
RN06	8,36112	$\pm 0,00013$	RN06	8,36112	$\pm 0,00016$
RNEPS01	6,97044	$\pm 0,00013$	P-EPS01	7,09747	$\pm 0,00016$
RN07	8,87315	$\pm 0,00011$	RN07	8,87321	$\pm 0,00014$
RNEPS02	8,53679	$\pm 0,00014$	P-EPS02	8,64125	$\pm 0,00018$
RN10	9,05125	$\pm 0,00014$	RN10	9,05124	$\pm 0,00017$
RN3640-X	9,78485	$\pm 0,00015$	RN3640-X	9,78488	$\pm 0,00018$

Para o controle do processo de ajustamento pelo MMQ, os dados referentes, a esta e as demais campanhas de medição, foram processados também pelo software *Adjust* (2009)(Anexo 2), tendo resultados iguais aos alcançados, utilizando a programação Scilab.

A Tabela 18 apresenta as discrepâncias entre as altitudes ajustadas obtidas pelo método proporcional à distância e pelo MMQ - modelo paramétrico.

Tabela 18 – Diferenças entre as altitudes ajustadas pelo método proporcional a distância e pelo MMQ – modelo paramétrico ( Campanha de medição 01 - Novembro de 2015).

RRNN	Discrepâncias	
	Pinos de Superfícies semiesféricas (m)	Parafusos (m)
EPS04	0,00004	0,00005
EPS07	0,00005	0,00007
CTG02	0,00008	0,00008
CTG01	0,00007	0,00008
EPS06	0,00010	0,00010
RN-D	0,00007	0,00010
RN04	-0,00007	-0,00006
RN05	-0,00008	-0,00008
3641-B	0,00000	0,00000
EPS05	-0,00017	-0,00014
EPS03	-0,00008	-0,00008
RN06	-0,00006	-0,00005
EPS01	-0,00003	-0,00002
RN07	0,00000	0,00004
EPS02	0,00002	0,00004
RN10	-0,00001	-0,00002
3640-X	-0,00003	-0,00001

Analisando a Tabela 18 nota-se que a diferença encontrada das altitudes ajustadas pelo método proporcional à distância, em que foi realizada a partir dos erros de fechamento dos circuitos nivelados e os comprimentos das linhas niveladas, comparado com as altitudes ajustadas obtidas pelo MMQ - modelo paramétrico, as discrepâncias em modulo foram inferiores e iguais a 0,00017 m e 0,00014 m, respectivamente. Portanto, verifica-se que há uma correlação dos resultados obtidos, demonstrado que ambos os processos possuem coerência.

Na Tabela 19 pode-se verificar as altitudes ajustadas das estruturas geodésicas altimétricas implantadas na UFPE, estas ajustadas pelo MMQ - modelo paramétrico, com a integração de ambas as redes (Pinos de superfícies semiesféricas e parafusos). Considerando o modelo matemático apresentado na Equação 36.

$$\begin{aligned}
H_{3641A}^a - H_{EPS04}^a &= 0 \\
H_{3641A}^a - H_{P-EPS04}^a &= 0 \\
H_{EPS04}^a - H_{EPS07}^a &= 0 \\
H_{P-EPS04}^a - H_{P-EPS07}^a &= 0 \\
H_{CTG02}^a - H_{EPS07}^a &= 0 \\
H_{CTG02}^a - H_{P-EPS07}^a &= 0 \\
H_{CTG02}^a - H_{CTG01}^a &= 0 \\
H_{CTG01}^a - H_{EPS06}^a &= 0 \\
H_{CTG01}^a - H_{P-EPS06}^a &= 0 \\
H_D^a - H_{EPS06}^a &= 0 \\
H_D^a - H_{P-EPS06}^a &= 0 \\
H_{EPS04}^a - H_D^a &= 0 \\
H_{P-EPS04}^a - H_D^a &= 0 \\
H_D^a - H_{RN04}^a &= 0 \\
H_{RN05}^a - H_{RN04}^a &= 0 \\
H_{3641B}^a - H_{RN05}^a &= 0 \\
H_{3641A}^a - H_{3641B}^a &= 0 \\
H_{RN04}^a - H_{EPS05}^a &= 0 \\
H_{RN04}^a - H_{P-EPS05}^a &= 0 \\
H_{RN05}^a - H_{EPS05}^a &= 0 \\
H_{RN05}^a - H_{P-EPS05}^a &= 0 \\
H_{EPS03}^a - H_{EPS05}^a &= 0 \\
H_{P-EPS03}^a - H_{P-EPS05}^a &= 0 \\
H_{EPS03}^a - H_{RN05}^a &= 0 \\
H_{P-EPS03}^a - H_{RN05}^a &= 0 \\
H_{EPS03}^a - H_{RN06}^a &= 0 \\
H_{P-EPS03}^a - H_{RN06}^a &= 0 \\
H_{RN06}^a - H_{EPS01}^a &= 0 \\
H_{RN06}^a - H_{P-EPS01}^a &= 0 \\
H_{RN07}^a - H_{EPS01}^a &= 0 \\
H_{RN07}^a - H_{P-EPS01}^a &= 0 \\
H_{3641A}^a - H_{RN07}^a &= 0 \\
H_{RN07}^a - H_{EPS02}^a &= 0 \\
H_{RN07}^a - H_{P-EPS02}^a &= 0 \\
H_{RN08}^a - H_{EPS02}^a &= 0 \\
H_{RN08}^a - H_{P-EPS02}^a &= 0 \\
H_{3640X}^a - H_{RN08}^a &= 0 \\
H_{3640X}^a - H_{EPS01}^a &= 0 \\
H_{3640X}^a - H_{P-EPS01}^a &= 0 \\
H_{RN08}^a - H_{EPS01}^a &= 0 \\
H_{RN08}^a - H_{P-EPS01}^a &= 0
\end{aligned}$$

(36)

A Matriz dos pesos (P) é obtida pela Equação 17, a partir do inverso do comprimento em quilômetros de cada linha nivelada. P é uma matriz quadrática e simétrica com 41 linhas e 41 colunas.

Na sequência do ajustamento é obtido o vetor  ${}^{24}X_1$  das correções aos parâmetros aproximados dados pela Equação (21) e o vetor dos resíduos  ${}^{41}V_1$  é obtido multiplicando o vetor das correções  ${}^{24}X_1$  pela matriz  ${}^{41}A^{24}$  e somando-se a esse produto o vetor  ${}^{41}L_1$  dado pela Equação (22).

A partir dos resíduos e da matriz dos pesos, pode-se calcular a variância da unidade de peso a posteriori  $\hat{\sigma}_0^2$ , cujo valor informa a variância das unidades de peso após o ajustamento e que é esperado ser igual à variância da unidade de peso a priori  $\sigma_0^2$  (Equação 23 ). A Tabela 19 apresenta as altitudes ajustadas das RRNN da RRA no Campus Recife da UFPE.

Tabela 19 – Altitudes ajustadas pinos de superfícies semiesféricas e parafusos – ajustamento simultâneo.

Referência de Nível	H <sup>a</sup> (m)	Desvio Padrão (m)
RNEPS04	9,13489	±0,00003
P-EPS04	9,28248	±0,00003
RNEPS07	8,82675	±0,00004
P-EPS07	8,95066	±0,00004
CTG02	9,77067	±0,00004
CTG01	9,73608	±0,00004
RNEPS06	8,80251	±0,00004
P-EPS06	8,92049	±0,00004
RN-D	9,08727	±0,00003
RN04	8,07096	±0,00004
RN05	8,77282	±0,00003
RN3641-B	8,90485	±0,00002
RNEPS05	7,30621	±0,00004
P-EPS05	7,40717	±0,00004
RNEPS03	9,42080	±0,00004
P-EPS03	9,54345	±0,00004
RN06	8,36115	±0,00004
RNEPS01	6,97050	±0,00004
P-EPS01	7,09751	±0,00004
RN07	8,87326	±0,00004
RNEPS02	8,53687	±0,00005
P-EPS02	8,64131	±0,00005
RN10	9,05130	±0,00004
RN3640-X	9,78493	±0,00004

Na Tabela 20 ver-se as respectivas discrepâncias entre as altitudes ajustadas dos pinos de superfícies semiesféricas e parafusos, estas integrando todas as estruturas (Tabela 19) e as altitudes ajustadas em modelos separados (pinos de superfícies semiesféricas e parafusos), Tabela 17.

Tabela 20 – Discrepâncias entre as altitudes ajustadas - rede simultânea x redes separadas

Referência de Nível	Discrepâncias (m)
RNEPS01	0,00006
P-EPS01	0,00004
RNEPS02	0,00008
P-EPS02	0,00006
RNEPS03	-0,00002
P-EPS03	0,00001
RNEPS04	0,00003
P-EPS04	0,00003
RNEPS05	-0,00003
P-EPS05	0,00000
RNEPS06	0,00004
P-EPS06	0,00005
RNEPS07	0,00003
P-EPS07	0,00004

De acordo, com a Tabela 20 a maior discrepância verificada foi para a RNEPS02 com 0,00008m.

O processamento da primeira campanha de medição, esta realizada nos dias 04, 05 e 06 de Novembro de 2015, teve resultados coerentes com os métodos de ajustamentos realizados. Isso pode ser verificado pelos resíduos ajustados e pelos respectivos desvios padrão das altitudes e observações ajustadas das estruturas da RRA.

As RRNN 3641B e 3640X da RAAP, foram novamente medidas e calculadas apresentando uma discrepância de 0,00154 m e 0,05245 m respectivamente, em contrapartida as altitudes ajustadas definidas nos relatórios geodésicos altimétrico do IBGE (IBGE, 2016); e uma discrepância de 0,00006 m e 0,00005 m respectivamente, quando comparadas em relação a Tabela 9 (cf. item 5.4.2.2).

#### 5.4.2.3.3 Escolha da referência de nível padrão

Desta maneira, os resultados obtidos da primeira campanha de medição (Novembro de 2015) foram definidos como referência padrão metrológica para o estudo temporal das estruturas de referência altimétrica densificadas no Campus Recife da UFPE, ou seja, com as

altitudes ajustadas da primeira campanha de medição, foi possível analisar o comportamento das demais cinco campanhas de medição realizadas.

Além disso, a RN CTG01 (9,73604 m  $\pm$ 0,00014 m) (Tabela 17) passou a ser considerada a referência padrão para as análises das campanhas a serem realizadas (2 a 6). Pois esta RN faz parte do estudo de monitoramento de recalques do edifício em construção LITPEG (SEIXAS: SEIXAS, 2015), além das medições realizadas nesta dissertação.

#### 5.4.2.4 Análise dos resultados - segunda campanha de medição – Janeiro de 2016

Em conformidade com a análise dos resultados realizada no item 5.4.2.3 foi realizada neste item 5.4.2.4 a análise dos resultados referente à campanha de medição realizada no dia 28, 29 e 30 de Janeiro de 2016 (Segunda campanha de medição), utilizando as mesmas considerações apresentadas anteriormente e a RN CTG01 como padrão de referência altimétrica.

Os dados referentes a essa campanha de medição 02, estão apresentados no Apêndice F.

##### 5.4.2.4.1 Método proporcional à distância

A Tabela 21 apresenta as altitudes obtidas pelo método proporcional à distância.

Tabela 21 – Altitudes ajustadas obtidas pelo método proporcional à distância (Campanha de medição 02 - Janeiro de 2016).

RRNN	Altitudes (m) (Pinos de superfícies semiesféricas)	Altitudes (m) (Parafusos)
EPS04	9,13430	9,28160
EPS07	8,82556	8,94866
CTG02	9,77066	9,77065
EPS06	8,80073	8,91915
RN-D	9,08483	9,08452
RN04	8,06709	8,06683
RN05	8,77230	8,77203
3641-B	8,90435	8,90410
3641-A	11,06236	11,06210
EPS05	7,30447	7,40495
EPS03	9,41978	9,54180
RN06	8,36128	8,36081
EPS01	6,96927	7,09631
RN07	8,87274	8,87248
EPS02	8,53652	8,64086
RN10	9,05002	9,04976
3640-X	9,78360	9,78333

Estas altitudes foram obtidas a partir do processo de distribuição do erro encontrado nos circuitos de nivelamentos realizados, tendo como referência a RN CTG01 com uma

altitude de 9,73604 m (Tabela 17), assim como os valores dos erros de fechamento e perímetros dos circuitos nivelados (Apêndice D).

#### 5.4.2.4.2 Métodos dos Mínimos Quadrados: modelo paramétrico

A variância da unidade de peso unitário a priori foi definida a partir da precisão do equipamento ( $\sigma_0^2$ ) é  $\sigma_0^2 = 9 \times 10^{-8}$ . Portanto, aplicando o MMQ: modelo paramétrico, obteve-se a variância da unidade de peso unitário a posteriori, das redes para os pinos de superfícies semiesféricas e parafusos, respectivamente,  $\hat{\sigma}_0^2 = 4,333 \times 10^{-8}$  e  $\hat{\sigma}_0^2 = 3,248 \times 10^{-8}$ , calculadas a partir da Equação 23. O teste estatístico Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) foi realizado, com o grau de liberdade igual à  $gl=7$ .

De acordo com os testes de hipóteses, verificou-se que o ajustamento realizado está dentro do intervalo de confiança estabelecido pela distribuição Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) (3,3701 e 2,5262) (Equação 24) ao nível de confiança de 95%, Figura 19.

Na Tabela 22 ver-se os valores dos resíduos ajustados e seus respectivos desvios padrão (Equação 25).

Tabela 22 - Resíduos e seus respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ) ( Campanha de medição 02 - Janeiro de 2016).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Resíduos	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)	Resíduos	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)
$v_1$	0,00007	$\pm 0,00035$	$v_2$	0,00005	$\pm 0,00030$
$v_3$	0,00004	$\pm 0,00054$	$v_4$	-0,00002	$\pm 0,00047$
$v_5$	-0,00004	$\pm 0,00053$	$v_6$	0,00002	$\pm 0,00046$
$v_7$	0,00001	$\pm 0,00015$	$v_7$	0,00000	$\pm 0,00108$
$v_8$	0,00007	$\pm 0,00041$	$v_9$	-0,00003	$\pm 0,00035$
$v_{10}$	-0,00007	$\pm 0,00041$	$v_{11}$	0,00003	$\pm 0,00035$
$v_{12}$	-0,00003	$\pm 0,00037$	$v_{13}$	0,00007	$\pm 0,00032$
$v_{14}$	0,00010	$\pm 0,00027$	$v_{14}$	0,00007	$\pm 0,00024$
$v_{15}$	-0,00007	$\pm 0,00033$	$v_{15}$	-0,00005	$\pm 0,00029$
$v_{16}$	-0,00001	$\pm 0,00047$	$v_{16}$	0,00001	$\pm 0,00041$
$v_{17}$	0,00000	$\pm 0,00071$	$v_{17}$	0,00000	$\pm 0,00061$
$v_{18}$	0,00001	$\pm 0,00034$	$v_{19}$	0,00000	$\pm 0,00030$
$v_{20}$	0,00002	$\pm 0,00026$	$v_{21}$	0,00003	$\pm 0,00022$
$v_{22}$	-0,00004	$\pm 0,00023$	$v_{23}$	-0,00005	$\pm 0,00020$
$v_{24}$	-0,00001	$\pm 0,00059$	$v_{25}$	-0,00001	$\pm 0,00051$
$v_{26}$	0,00006	$\pm 0,00035$	$v_{27}$	0,00005	$\pm 0,00030$
$v_{28}$	0,00005	$\pm 0,00038$	$v_{29}$	0,00005	$\pm 0,00033$
$v_{30}$	-0,00016	$\pm 0,00032$	$v_{31}$	-0,00016	$\pm 0,00027$
$v_{32}$	-0,00007	$\pm 0,00032$	$v_{32}$	-0,00006	$\pm 0,00027$
$v_{33}$	0,00007	$\pm 0,00037$	$v_{34}$	0,00007	$\pm 0,00032$
$v_{35}$	-0,00010	$\pm 0,00030$	$v_{36}$	-0,00010	$\pm 0,00026$
$v_{37}$	-0,00007	$\pm 0,00041$	$v_{37}$	-0,00007	$\pm 0,00036$
$v_{38}$	0,00007	$\pm 0,00040$	$v_{39}$	0,00008	$\pm 0,00035$
$v_{40}$	-0,00001	$\pm 0,00045$	$v_{41}$	-0,00001	$\pm 0,00039$

Os resíduos ajustados foram inferiores e iguais à 0,00016 m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e 0,00016 m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos.

Na Tabela 23 verificam-se as respectivas observações ajustadas e os desvios padrão dessas observações, determinados pela Matriz das Covariâncias (Equação 26).

Tabela 23 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão ( $\sigma$ ) (Campanha de medição 02 - Janeiro de 2016).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Observações	$\Delta H^a$ (m)	$\sigma$ (m)	Observações	$\Delta H^a$ (m)	$\sigma$ (m)
$l_1^a$	1,92809	$\pm 0,00011$	$l_2^a$	1,78050	$\pm 0,00009$
$l_3^a$	0,30874	$\pm 0,00007$	$l_4^a$	0,331295	$\pm 0,00006$
$l_5^a$	0,94509	$\pm 0,00007$	$l_6^a$	0,82199	$\pm 0,00006$
$l_7^a$	0,03462	$\pm 0,00003$	$l_7^a$	0,03461	$\pm 0,00003$
$l_8^a$	0,93532	$\pm 0,00009$	$l_9^a$	0,81690	$\pm 0,00008$
$l_{10}^a$	0,28414	$\pm 0,00009$	$l_{11}^a$	0,16537	$\pm 0,00008$
$l_{12}^a$	0,04946	$\pm 0,00009$	$l_{13}^a$	0,19711	$\pm 0,00008$
$l_{14}^a$	1,01766	$\pm 0,00012$	$l_{14}^a$	1,01763	$\pm 0,00010$
$l_{15}^a$	0,70522	$\pm 0,00009$	$l_{15}^a$	0,70524	$\pm 0,00008$
$l_{16}^a$	0,13198	$\pm 0,00008$	$l_{16}^a$	0,13200	$\pm 0,00007$
$l_{17}^a$	2,15800	$\pm 0,00006$	$l_{17}^a$	2,15800	$\pm 0,00005$
$l_{18}^a$	0,76259	$\pm 0,00010$	$l_{19}^a$	0,66184	$\pm 0,00008$
$l_{20}^a$	1,46781	$\pm 0,00010$	$l_{21}^a$	1,36708	$\pm 0,00008$
$l_{22}^a$	2,11529	$\pm 0,00011$	$l_{23}^a$	2,13684	$\pm 0,00009$
$l_{24}^a$	0,64748	$\pm 0,00007$	$l_{25}^a$	0,76976	$\pm 0,00006$
$l_{26}^a$	1,05850	$\pm 0,00011$	$l_{27}^a$	1,18098	$\pm 0,00009$
$l_{28}^a$	1,39201	$\pm 0,00010$	$l_{29}^a$	1,26450	$\pm 0,00009$
$l_{30}^a$	1,90340	$\pm 0,00010$	$l_{31}^a$	1,77610	$\pm 0,00009$
$l_{32}^a$	2,18961	$\pm 0,00011$	$l_{32}^a$	2,18962	$\pm 0,00010$
$l_{33}^a$	0,33620	$\pm 0,00010$	$l_{34}^a$	0,23162	$\pm 0,00008$
$l_{35}^a$	0,51363	$\pm 0,00011$	$l_{36}^a$	0,40903	$\pm 0,00009$
$l_{37}^a$	0,73352	$\pm 0,00008$	$l_{37}^a$	0,73352	$\pm 0,00007$
$l_{38}^a$	2,81434	$\pm 0,00008$	$l_{39}^a$	2,68704	$\pm 0,00007$
$l_{40}^a$	2,08082	$\pm 0,00007$	$l_{41}^a$	1,95352	$\pm 0,00006$

Observam-se na Tabela 23 que os desvios padrão das observações foram inferiores e iguais 0,00012 m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e  $\pm 0,00010$  m para o ajustamento da rede considerando os parafusos.

A Tabela 24 apresenta as respectivas altitudes ajustadas das estruturas altimétricas densificadas no Campus Recife da UFPE, com seus respectivos desvios padrão. Estes calculados pela Matriz Covariância das Altitudes, obtida pela Equação 27.

Tabela 24 – Altitudes ajustadas da rede de referência altimétrica, Campus Recife da UFPE e respectivos desvios padrão ( Campanha de medição 02 - Janeiro de 2016).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Referência de Nível	H <sup>a</sup> (m)	$\sigma$ (m)	Referência de Nível	H <sup>a</sup> (m)	$\sigma$ (m)
RNEPS04	9,13428	$\pm 0,00010$	P-EPS04	9,28158	$\pm 0,00009$
RNEPS07	8,82553	$\pm 0,00008$	P-EPS07	8,94862	$\pm 0,00007$
CTG02	9,77062	$\pm 0,00003$	CTG02	9,77061	$\pm 0,00003$
RNEPS06	8,80068	$\pm 0,00009$	P-EPS06	8,91910	$\pm 0,00008$
RN-D	9,08481	$\pm 0,00011$	RN-D	9,08446	$\pm 0,00009$
RN04	8,06716	$\pm 0,00015$	RN04	8,06683	$\pm 0,00013$
RN05	8,77238	$\pm 0,00015$	RN05	8,77208	$\pm 0,00013$
RN3641-B	8,90436	$\pm 0,00014$	RN3641B	8,90407	$\pm 0,00013$
RN3641-A	11,06236	$\pm 0,00014$	RN3641A	11,06207	$\pm 0,00012$
RNEPS05	7,30457	$\pm 0,00006$	P-EPS05	7,40499	$\pm 0,00014$
RNEPS03	9,41986	$\pm 0,00016$	P-EPS03	9,54183	$\pm 0,00014$
RN06	8,36136	$\pm 0,00018$	RN06	8,36085	$\pm 0,00015$
RNEPS01	6,96935	$\pm 0,00018$	P-EPS01	7,09635	$\pm 0,00016$
RN07	8,87275	$\pm 0,00017$	RN07	8,87246	$\pm 0,00015$
RNEPS02	8,53655	$\pm 0,00019$	P-EPS02	8,64084	$\pm 0,00017$
RN10	9,05017	$\pm 0,00019$	RN10	9,04987	$\pm 0,00017$
RN3640-X	9,78369	$\pm 0,00020$	RN3640X	9,78339	$\pm 0,00017$

Portanto, na análise de discrepâncias entres as altitudes ajustadas pelo MMQ - modelo paramétrico (Tabela 24) e o método proporcional à distância (Na Tabela 21), verificou-se uma diferença em modulo inferior e igual 0,00015 m (pinos de superfícies semiesféricas) e inferior e igual 0,00011 m (parafusos).

Para o controle do processo do ajustamento pelo MMQ, os dados referentes, a esta campanha de medição também foram processados no software *Adjust* (2009). (Anexo 2).

A segunda campanha de medição, esta realizada nos dias 28, 29 e 30 de Janeiro de 2015, apresenta resultados coerentes, conforme os métodos de ajustamento realizados. Isso pode ser verificado pelos resíduos ajustados e pelos respectivos desvios padrão das altitudes e observações ajustadas.

A Tabela 25 apresenta as discrepâncias entre as altitudes ajustadas das estruturas de referência altimétrica do IBGE (RRNN: 3641A, 3641B e 3640X) para rede de pinos de superfícies semiesféricas e as informações destas, conforme os relatório do banco de dados geodésicos altimétricos do IBGE (IBGE, 2016). Assim como, os valores das discrepâncias entre as altitudes ajustadas (RRNN: 3641B e 3640X) da campanha de medição 01 (Tabela 17) e a campanha de medição 02 (Tabela 24).

Tabela 25 – Análise das Discrepâncias das Altitudes de Referência da RAAP

Referências de Nível	Altitudes ajustadas (Campanha de medição 02) x Altitudes ajustadas (Relatório do IBGE)	altitudes ajustadas da campanha de medição 01 x Altitudes ajustadas campanha de medição 02
RN3641-B	-0,00204 m	-0,0005 m
RN3641-A	-0,00144 m	-
RN3640-X	-0,05361 m	-0,00116 m

#### 5.4.2.5 Análise dos resultados - terceira campanha de medição – 12 e 13 de Maio de 2016

Em conformidade com as análises realizadas nas campanhas anteriores, foram processados os dados da terceira campanha de medição realizada em 12 e 13 de Maio de 2016. A seguir serão apresentados os resultados alcançados.

Os dados referentes a esta campanha de medição 03 estão apresentados no Apêndice F.

##### 5.4.2.5.1 Método proporcional à distância

A Tabela 26 apresenta as altitudes ajustadas obtidas pelo método proporcional à distância (cf. item 4.1.1).

Tabela 26 – Altitudes ajustadas obtidas pelo método proporcional à distância (Campanha de medição 03 - Maio de 2016).

RRNN	Altitudes (m) (Pinos de superfícies semiesféricas)	Altitudes (m) (Parafusos)
EPS04	9,13389	9,28148
EPS07	8,82559	8,94872
CTG02	9,77057	9,77057
EPS06	8,80255	8,92105
RN-D	9,08659	9,08662
RN04	8,07419	8,07424
RN05	8,77320	8,77330
3641-B	8,90428	8,90429
3641-A	11,06285	11,06289
EPS05	7,30624	7,40706
EPS03	9,42048	9,54298
RN06	8,36214	8,36226
EPS01	6,96909	7,09648
RN07	8,87435	8,87431
EPS02	8,53632	8,64090
RN10	9,04949	9,04946
3640-X	9,78180	9,78193

Estas altitudes foram obtidas a partir do processo de distribuição do erro encontrado nos circuitos de nivelamentos realizados, tendo como referência a RN CTG01 com uma altitude de 9,73604 m (Tabela 17), assim como os valores dos erros de fechamento e perímetros dos circuitos nivelados (Apêndice D).

#### 5.4.2.5.2 Métodos dos Mínimos Quadrados: modelo paramétrico

No teste estatístico realizado os seguintes valores foram analisados: variância da unidade de peso a priori igual à  $\sigma_0^2 = 9 \times 10^{-8}$ , a variância da unidade de peso unitário a posteriori (Equação 23),  $\hat{\sigma}_0^2 = 7,356 \times 10^{-8}$  (Pinos de superfícies semiesféricas) e  $\hat{\sigma}_0^2 = 6,538 \times 10^{-8}$  (Parafusos), desta forma com um grau de liberdade igual á 7. A hipótese básica não é rejeitada ao nível de significância de 5% de acordo com o teste Qui quadrado (Equação 24).

Na Tabela 27 ver-se os valores dos resíduos ajustados e seus respectivos desvios padrão (Equação 25).

Tabela 27 - Resíduos e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 03 - Maio de 2016).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Resíduos	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)	Resíduos	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)
v1	-0,00001	$\pm 0,00046$	v2	-0,00002	$\pm 0,00043$
v3	-0,00002	$\pm 0,00070$	v4	-0,00001	$\pm 0,00066$
v5	0,00003	$\pm 0,00069$	v6	0,00001	$\pm 0,00065$
v7	0,00000	$\pm 0,00014$	v7	0,00000	$\pm 0,00183$
v8	0,00004	$\pm 0,00053$	v9	-0,00001	$\pm 0,00050$
v10	0,00004	$\pm 0,00055$	v11	0,00001	$\pm 0,00005$
v12	0,00004	$\pm 0,00048$	v13	0,00000	$\pm 0,00045$
v14	-0,00002	$\pm 0,00036$	v14	-0,00003	$\pm 0,00034$
v15	0,00002	$\pm 0,00043$	v15	0,00000	$\pm 0,00041$
v16	-0,00005	$\pm 0,00061$	v16	-0,00007	$\pm 0,00058$
v17	-0,00003	$\pm 0,00085$	v17	-0,00004	$\pm 0,00080$
v18	0,00000	$\pm 0,00047$	v19	-0,00002	$\pm 0,00044$
v20	-0,00002	$\pm 0,00033$	v21	0,00000	$\pm 0,00032$
v22	0,00002	$\pm 0,00029$	v23	0,00005	$\pm 0,00028$
v24	0,00004	$\pm 0,00075$	v25	0,00005	$\pm 0,00071$
v26	-0,00010	$\pm 0,00045$	v27	-0,00014	$\pm 0,00043$
v28	-0,00009	$\pm 0,00050$	v29	-0,00012	$\pm 0,00047$
v30	-0,00005	$\pm 0,00039$	v31	-0,00001	$\pm 0,00036$
v32	0,00012	$\pm 0,00042$	v32	0,00017	$\pm 0,00039$
v33	0,00014	$\pm 0,00047$	v34	0,00015	$\pm 0,00044$
v35	-0,00018	$\pm 0,00040$	v36	-0,00019	$\pm 0,00038$
v37	-0,00015	$\pm 0,00054$	v37	-0,00006	$\pm 0,00051$
v38	0,00016	$\pm 0,00052$	v39	0,00007	$\pm 0,00049$
v40	-0,00004	$\pm 0,00057$	v41	0,00005	$\pm 0,00054$

Na Tabela 27 verificam-se resíduos inferiores ou iguais em módulo à 0,00018 m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e 0,00019 m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos.

Na Tabela 28 verificam-se as respectivas observações ajustadas e os desvios padrão dessas observações, determinados pela Matriz das Covariâncias (Equação 26).

Tabela 28 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 03 - Maio de 2016).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Observações	$\Delta H^a$ (m)	$\sigma$ (m)	Observações	$\Delta H^a$ (m)	$\sigma$ (m)
$l_1^a$	1,92894	$\pm 0,00014$	$l_2^a$	1,78136	$\pm 0,00013$
$l_3^a$	0,30830	$\pm 0,00010$	$l_4^a$	0,33275	$\pm 0,00009$
$l_5^a$	0,94498	$\pm 0,00001$	$l_6^a$	0,82185	$\pm 0,00009$
$l_7^a$	0,03453	$\pm 0,00004$	$l_7^a$	0,03453	$\pm 0,00004$
$l_8^a$	0,93349	$\pm 0,00012$	$l_9^a$	0,81499	$\pm 0,00011$
$l_{10}^a$	0,28403	$\pm 0,00012$	$l_{11}^a$	0,16558	$\pm 0,00011$
$l_{12}^a$	0,04731	$\pm 0,00012$	$l_{13}^a$	0,19484	$\pm 0,00011$
$l_{14}^a$	1,01240	$\pm 0,00016$	$l_{14}^a$	1,01239	$\pm 0,00015$
$l_{15}^a$	0,69900	$\pm 0,00012$	$l_{15}^a$	0,69898	$\pm 0,00011$
$l_{16}^a$	0,13109	$\pm 0,00011$	$l_{16}^a$	0,13107	$\pm 0,00010$
$l_{17}^a$	2,15855	$\pm 0,00008$	$l_{17}^a$	2,15854	$\pm 0,00008$
$l_{18}^a$	0,76796	$\pm 0,00012$	$l_{19}^a$	0,66727	$\pm 0,00012$
$l_{20}^a$	1,46696	$\pm 0,00013$	$l_{21}^a$	1,36624	$\pm 0,00012$
$l_{22}^a$	2,11426	$\pm 0,00014$	$l_{23}^a$	2,13597	$\pm 0,00013$
$l_{24}^a$	0,64730	$\pm 0,00009$	$l_{25}^a$	0,76973	$\pm 0,00008$
$l_{26}^a$	1,05831	$\pm 0,00014$	$l_{27}^a$	1,18069	$\pm 0,00013$
$l_{28}^a$	1,39301	$\pm 0,00013$	$l_{29}^a$	1,26574	$\pm 0,00012$
$l_{30}^a$	1,90521	$\pm 0,00013$	$l_{31}^a$	1,77781	$\pm 0,00013$
$l_{32}^a$	2,18845	$\pm 0,00015$	$l_{32}^a$	2,18850	$\pm 0,00014$
$l_{33}^a$	0,33800	$\pm 0,00013$	$l_{34}^a$	0,23334	$\pm 0,00012$
$l_{35}^a$	0,51314	$\pm 0,00014$	$l_{36}^a$	0,40853	$\pm 0,00013$
$l_{37}^a$	0,73239	$\pm 0,00011$	$l_{37}^a$	0,73248	$\pm 0,00010$
$l_{38}^a$	2,81274	$\pm 0,00011$	$l_{39}^a$	2,68549	$\pm 0,00010$
$l_{40}^a$	2,08036	$\pm 0,00010$	$l_{41}^a$	1,95301	$\pm 0,00009$

Os desvios padrão das observações ajustadas foram inferiores e iguais à  $\pm 0,00016$  para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e  $\pm 0,00015$  m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos.

Na Tabela 29 têm-se as respectivas altitudes ajustadas das estruturas geodésicas altimétricas densificadas no Campus Recife da UFPE, com seus respectivos desvios padrão (Equação 27).

Tabela 29 – Altitudes ajustadas da rede de referência altimétrica, Campus Recife da UFPE e respectivos desvios padrão (Campanha de medição 03 - Maio de 2016).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Referência de Nível	H <sup>a</sup> (m)	$\sigma$ (m)	Referência de Nível	H <sup>a</sup> (m)	$\sigma$ (m)
RNEPS04	9,13385	$\pm 0,00013$	P-EPS04	9,28143	$\pm 0,00012$
RNEPS07	8,82555	$\pm ,00010$	P-EPS07	8,94868	$\pm 0,00010$
CTG02	9,77053	$\pm 0,00004$	CTG02	9,77053	$\pm 0,00004$
RNEPS06	8,80251	$\pm 0,00012$	P-EPS06	8,92101	$\pm 0,00011$
RN-D	9,08654	$\pm 0,00014$	RN-D	9,08660	$\pm 0,00013$
RN04	8,07414	$\pm 0,00019$	RN04	8,07421	$\pm 0,00018$
RN05	8,77314	$\pm 0,00019$	RN05	8,77318	$\pm 0,00018$
RN3641-B	8,90423	$\pm 0,00019$	RN3641B	8,90425	$\pm 0,00018$
RN3641-A	11,06278	$\pm 0,00018$	RN3641A	11,06279	$\pm 0,00017$
RNEPS05	7,30618	$\pm 0,00021$	P-EPS05	7,40694	$\pm 0,00020$
RNEPS03	9,42044	$\pm 0,00021$	P-EPS03	9,54291	$\pm 0,00019$
RN06	8,36213	$\pm 0,00023$	RN06	8,36222	$\pm 0,00022$
RNEPS01	6,96912	$\pm 0,00024$	P-EPS01	7,09649	$\pm 0,00022$
RN07	8,87433	$\pm 0,00022$	RN07	8,87430	$\pm 0,00021$
RNEPS02	8,53633	$\pm 0,00025$	P-EPS02	8,64096	$\pm 0,00024$
RN10	9,04948	$\pm 0,00025$	RN10	9,04949	$\pm 0,00023$
RN3640-X	9,78187	$\pm 0,00026$	RN3640X	9,78197	$\pm 0,00024$

As altitudes ajustadas pelo MMQ – modelo paramétrico( Tabela 29) foram comparadas com as altitudes obtidas pelo método proporcional à distância (Tabela 26), sendo verificado um diferença em modulo inferior e igual à 0,00007 (Pinos de superfícies semiesféricas) e 0,00012 (parafusos).

Portanto, os dados obtidos neste levantamento apresentam resultados condizente aos métodos de ajustamento e teste estatístico realizado.

A Tabela 30 apresenta as discrepâncias entre as altitudes ajustadas das estruturas de referência altimétrica do IBGE (RRNN: 3641A, 3641B e 3640X) para rede de pinos de superfícies semiesféricas e as informações destas, conforme os relatório do banco de dados geodésicos altimétricos do IBGE (IBGE, 2016). Assim como, os valores das discrepâncias entre as altitudes ajustadas (RRNN: 3641B, 3641A e 3640X) da campanha de medição 02 (Tabela 24) e a campanha de medição 03 (Tabela 29).

Tabela 30 – Análise das Discrepâncias das Altitudes de Referência da RAAP

Referências de Nível	Altitudes ajustadas (Campanha de medição 03) x Altitudes ajustadas (Relatório do IBGE)	altitudes ajustadas da campanha de medição 02 x Altitudes ajustadas campanha de medição 03
RN3641-B	-0,00217 m	-0,00013 m
RN3641-A	-0,00102 m	0,00042 m
RN3640-X	-0,05543 m	-0,00182 m

#### 5.4.2.6 Análise dos resultados – quarta campanha de medição – 19 e 20 de Maio de 2016

Portanto, seguindo o mesmo procedimento descrito anteriormente foram determinados os resultados das medições realizadas nos dias 19 e 20 de Maio de 2016.

Os dados referentes a esta campanha de medição 04 estão apresentados no Apêndice F.

##### 5.4.2.6.1 Método proporcional a Distância

A Tabela 31 apresenta as altitudes ajustadas, obtidas pelo método proporcional à distância.

Tabela 31 – Altitudes ajustadas obtidas pelo método proporcional à distância (Campanha de medição 04 - Maio de 2016).

RRNN	Altitude (m) (Pinos de superfícies semiesféricas)	Altitude (m) (Parafusos)
EPS04	9,13448	9,28185
EPS07	8,82595	8,94921
CTG02	9,77074	9,77074
EPS06	8,80205	8,92063
RN-D	9,08684	9,08679
RN04	8,07316	8,07296
RN05	8,77290	8,77272
3641-B	8,90420	8,90407
3641-A	11,06303	11,06291
EPS05	7,30557	7,40605
EPS03	9,41973	9,54191
RN06	8,36084	8,36077
EPS01	6,96828	7,09557
RN07	8,87434	8,87428
EPS02	8,53591	8,64042
RN10	9,04926	9,04921
3640-X	9,78150	9,78143

Estas altitudes foram obtidas a partir do processo de distribuição do erro encontrado nos circuitos de nivelamentos realizados, tendo como referência a RN CTG01 com uma altitude de 9,73604 m (Tabela 17), assim como os valores dos erros de fechamento e perímetros dos circuitos nivelados (Apêndice D).

#### 5.4.2.6.2 Métodos dos Mínimos Quadrados: modelo paramétrico

No teste estatístico realizado os seguintes valores foram analisados: variância da unidade de peso a priori igual à  $\sigma_0^2 = 9 \times 10^{-8}$ , à variância da unidade de peso unitário a posteriori, igual  $\hat{\sigma}_0^2 = 1 \times 10^{-7}$  (Pinos de superfícies semiesféricas) e  $\hat{\sigma}_0^2 = 9,216 \times 10^{-8}$  (Parafusos) calculada a partir da Equação 23. Assim, com o  $gl=7$  foi realizado o teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) (Equação 24), a hipótese básica não é rejeitada.

Na Tabela 32 ver-se os valores dos resíduos ajustados e seus respectivos desvios padrão (Equação 25).

Tabela 32 - Resíduos e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 04 - Maio de 2016).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Resíduos	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)	Resíduos	Valores dos resíduos (m)	(m)
$v_1$	0,00000	$\pm 0,00055$	$v_2$	0,00004	$\pm 0,00052$
$v_3$	0,00003	$\pm 0,00085$	$v_4$	0,00003	$\pm 0,00080$
$v_5$	-0,00003	$\pm 0,00083$	$v_6$	-0,00003	$\pm 0,00078$
$v_7$	0,00001	$\pm 0,00180$	$v_7$	0,00001	$\pm 0,00170$
$v_8$	0,00005	$\pm 0,00062$	$v_9$	0,00005	$\pm 0,00059$
$v_{10}$	-0,00005	$\pm 0,00065$	$v_{11}$	-0,00004	$\pm 0,00062$
$v_{12}$	-0,00006	$\pm 0,00057$	$v_{13}$	-0,00002	$\pm 0,00053$
$v_{14}$	0,00000	$\pm 0,00043$	$v_{14}$	0,00007	$\pm 0,00040$
$v_{15}$	-0,00004	$\pm 0,00051$	$v_{15}$	0,00000	$\pm 0,00049$
$v_{16}$	-0,00007	$\pm 0,00071$	$v_{16}$	-0,00007	$\pm 0,00067$
$v_{17}$	-0,00003	$\pm 0,00105$	$v_{17}$	-0,00003	$\pm 0,00099$
$v_{18}$	-0,00003	$\pm 0,00056$	$v_{19}$	0,00004	$\pm 0,00053$
$v_{20}$	0,00001	$\pm 0,00041$	$v_{21}$	-0,00006	$\pm 0,00039$
$v_{22}$	0,00005	$\pm 0,00036$	$v_{23}$	-0,00002	$\pm 0,00034$
$v_{24}$	0,00004	$\pm 0,00090$	$v_{25}$	0,00003	$\pm 0,00085$
$v_{26}$	-0,00012	$\pm 0,00054$	$v_{27}$	-0,00007	$\pm 0,00051$
$v_{28}$	-0,00010	$\pm 0,00059$	$v_{29}$	-0,00006	$\pm 0,00056$
$v_{30}$	-0,00009	$\pm 0,00046$	$v_{31}$	-0,00013	$\pm 0,00044$
$v_{32}$	0,00014	$\pm 0,00049$	$v_{32}$	0,00008	$\pm 0,00047$
$v_{33}$	0,00019	$\pm 0,00053$	$v_{34}$	0,00017	$\pm 0,00050$
$v_{35}$	-0,00022	$\pm 0,00049$	$v_{36}$	-0,00020	$\pm 0,00047$
$v_{37}$	-0,00016	$\pm 0,00065$	$v_{37}$	-0,00017	$\pm 0,00061$
$v_{38}$	0,00018	$\pm 0,00061$	$v_{39}$	0,00019	$\pm 0,00058$
$v_{40}$	-0,00002	$\pm 0,00069$	$v_{41}$	-0,00004	$\pm 0,00065$

Os resíduos ajustados foram em modulo inferiores e iguais à 0,00022 m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e 0,00020 m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos.

Na Tabela 33 verificam-se as respectivas observações ajustadas e os desvios padrão dessas observações, determinados pela Matriz das Covariâncias (Equação 26).

Tabela 33 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 04 - Maio de 2016).

Pinos de superfície semiesféricas			Parafusos		
Observações	$\Delta H^a$ (m)	$\sigma$ (m)	Observações	$\Delta H^a$ (m)	$\sigma$ (m)
$l_1^a$	1,92854	$\pm 0,00016$	$l_2^a$	1,78106	$\pm 0,00015$
$l_3^a$	0,30853	$\pm 0,00011$	$l_4^a$	0,33265	$\pm 0,00011$
$l_5^a$	0,94479	$\pm 0,00012$	$l_6^a$	0,82152	$\pm 0,00011$
$l_7^a$	0,03470	$\pm 0,00006$	$l_7^a$	0,03470	$\pm 0,00005$
$l_8^a$	0,93399	$\pm 0,00014$	$l_9^a$	0,81542	$\pm 0,00013$
$l_{10}^a$	0,28483	$\pm 0,00014$	$l_{11}^a$	0,16619	$\pm 0,00013$
$l_{12}^a$	0,04760	$\pm 0,00014$	$l_{13}^a$	0,19505	$\pm 0,00013$
$l_{14}^a$	1,01368	$\pm 0,00018$	$l_{14}^a$	1,01375	$\pm 0,00017$
$l_{15}^a$	0,69971	$\pm 0,00014$	$l_{15}^a$	0,69975	$\pm 0,00013$
$l_{16}^a$	0,13130	$\pm 0,00013$	$l_{16}^a$	0,13130	$\pm 0,00012$
$l_{17}^a$	2,15882	$\pm 0,00009$	$l_{17}^a$	2,15882	$\pm 0,00009$
$l_{18}^a$	0,76763	$\pm 0,00015$	$l_{19}^a$	0,66688	$\pm 0,00014$
$l_{20}^a$	1,46734	$\pm 0,00015$	$l_{21}^a$	1,36663	$\pm 0,00014$
$l_{22}^a$	2,11421	$\pm 0,00016$	$l_{23}^a$	2,13584	$\pm 0,00015$
$l_{24}^a$	0,64687	$\pm 0,00010$	$l_{25}^a$	0,76920	$\pm 0,00010$
$l_{26}^a$	1,05885	$\pm 0,00016$	$l_{27}^a$	1,18110	$\pm 0,00015$
$l_{28}^a$	1,39252	$\pm 0,00015$	$l_{29}^a$	1,26518	$\pm 0,00015$
$l_{30}^a$	1,90608	$\pm 0,00016$	$l_{31}^a$	1,77870	$\pm 0,00015$
$l_{32}^a$	2,18855	$\pm 0,00017$	$l_{32}^a$	2,18849	$\pm 0,00016$
$l_{33}^a$	0,33835	$\pm 0,00016$	$l_{34}^a$	0,23379	$\pm 0,00015$
$l_{35}^a$	0,51324	$\pm 0,00016$	$l_{36}^a$	0,40869	$\pm 0,00015$
$l_{37}^a$	0,73231	$\pm 0,00013$	$l_{37}^a$	0,73230	$\pm 0,00012$
$l_{38}^a$	2,81327	$\pm 0,00013$	$l_{39}^a$	2,68590	$\pm 0,00012$
$l_{40}^a$	2,08096	$\pm 0,00012$	$l_{41}^a$	1,95360	$\pm 0,00011$

Os desvios padrão das observações ajustadas foram inferiores e iguais à  $\pm 0,00018$  m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e  $\pm 0,00017$  m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos.

Na Tabela 34 estão apresentadas as altitudes ajustadas das estruturas geodésicas altimétricas densificadas no Campus Recife da UFPE, assim como seus respectivos desvios padrão (Equação 27).

Tabela 34 – Altitudes ajustadas da rede de referência altimétrica, campus recife da UFPE e respectivos desvios padrão (Campanha de medição 04 - Maio de 2016).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Referência de Nível	H <sup>a</sup> (m)	$\sigma$ (m)	Referência de Nível	H <sup>a</sup> (m)	$\sigma$ (m)
RNEPS04	9,13444	$\pm 0,00015$	P-EPS04	9,28182	$\pm 0,00014$
RNEPS07	8,82591	$\pm 0,00012$	P-EPS07	8,94917	$\pm 0,00012$
CTG02	9,77070	$\pm 0,00006$	CTG02	9,77070	$\pm 0,00005$
RNEPS06	8,80201	$\pm 0,00014$	P-EPS06	8,92058	$\pm 0,00013$
RN-D	9,08684	$\pm 0,00016$	RN-D	9,08677	$\pm 0,00016$
RN04	8,07315	$\pm 0,00023$	RN04	8,07302	$\pm 0,00021$
RN05	8,77287	$\pm 0,00023$	RN05	8,77277	$\pm 0,00022$
RN3641-B	8,90416	$\pm 0,00022$	RN3641B	8,90407	$\pm 0,00021$
RN3641-A	11,06298	$\pm 0,00021$	RN3641A	11,06289	$\pm 0,00020$
RNEPS05	7,30552	$\pm 0,00002$	P-EPS05	7,40614	$\pm 0,00024$
RNEPS03	9,41973	$\pm 0,00024$	P-EPS03	9,54197	$\pm 0,00023$
RN06	8,36088	$\pm 0,00027$	RN06	8,36087	$\pm 0,00026$
RNEPS01	6,96836	$\pm 0,00028$	P-EPS01	7,09569	$\pm 0,00026$
RN07	8,87443	$\pm 0,00027$	RN07	8,87439	$\pm 0,00025$
RNEPS02	8,53608	$\pm 0,00030$	P-EPS02	8,64060	$\pm 0,00028$
RN10	9,04932	$\pm 0,00029$	RN10	9,04929	$\pm 0,00028$
RN3640-X	9,78163	$\pm 0,00030$	RN3640X	9,78159	$\pm 0,00029$

As discrepâncias entre as altitudes ajustadas obtidas pelo método proporcional à distância e o MMQ - modelo paramétrico, foram inferiores e iguais em módulo respectivamente à  $0,00017$  para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e  $0,00018$  para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos.

Desta forma, ver-se que os resultados encontrados na quarta campanha de medição, apresenta resultados coerentes, pelos métodos de ajustamento aplicados.

Além disso, ver-se que a quarta campanha de medição ocorreu 07 (sete) dias, após a terceira campanha de medição ( Figura 13). A Tabela 35 apresenta as discrepâncias verificadas entre as altitudes ajustadas da terceira campanha de medição (03) (Tabela 29) e a quarta campanha de medição (04) (Tabela 34).

Tabela 35 – Discrepâncias entre a campanha de medição 03 e a campanha de medição 04.

Referência de Nível	Discrepâncias entre as altitudes ajustadas da terceira campanha de medição (03) e a quarta campanha de medição (04)	
	Pinos de superfícies semiesféricas	Parafusos
RNEPS04	-0,00059	-0,00039
RNEPS07	-0,00036	-0,00049
CTG02	-0,00017	-0,00017
RNEPS06	0,00050	0,00043
RN-D	-0,00030	-0,00017
RN04	0,00099	0,00119
RN05	0,00027	0,00041
RN3641-B	0,00007	0,00018
RN3641-A	-0,00020	-0,00010
RNEPS05	0,00066	0,00080
RNEPS03	0,00071	0,00094
RN06	0,00125	0,00135
RNEPS01	0,00076	0,00080
RN07	-0,00010	-0,00009
RNEPS02	0,00025	0,00036
RN10	0,00016	0,00020
RN3640-X	0,00024	0,00038

Ver-se na Tabela 35 que a RN06, estrutura de referência auxiliar para a definição RRA foi a que apresentou uma maior discrepância. As discrepâncias da RN06 foram inferiores e iguais respectivamente à  $\pm 0,00125$  para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e  $\pm 0,00135$  para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos.

Para as RRNN da RAAP do IBGE (3641B, 3641A e 3640X), verificam-se discrepâncias entre as altitudes ajustadas da quarta campanha e as altitudes ajustadas e disponibilizadas nos relatórios do IBGE, respectivamente, de -0,00224 m, -0,00082 m e -0,05567 m. Quando as altitudes ajustadas da quarta campanha são comparadas com as altitudes ajustadas da terceira campanha de medição 03, obtém-se, respectivamente, as seguintes discrepâncias: 0,00007 m, -0,00020 m e 0,00024 m.

#### 5.4.2.7 Análise dos resultados – quinta campanha de medição – 02 e 03 de Dezembro de 2016

Seguindo o mesmo procedimento descrito anteriormente foram determinados os resultados das medições realizadas nos dias 02 e 03 de Dezembro de 2016. Os dados referentes a esta campanha de medição 05 estão apresentados no Apêndice F.

##### 5.4.2.7.1 Método proporcional à Distância

A Tabela 36 apresenta as altitudes obtidas pelo método proporcional à distância.

Tabela 36 – Altitudes ajustadas obtidas pelo método proporcional à distância (Campanha de medição 05 - Dezembro de 2016).

RRNN	Altitude (m) (Pinos de superfícies semiesféricas)	Altitude (m) (Parafusos)
EPS04	9,13407	9,28155
EPS07	8,82473	8,94789
CTG02	9,77060	9,77060
EPS06	8,79808	8,91664
RN-D	9,08130	9,08140
RN04	8,06260	8,06239
RN05	8,77118	8,77131
3641-B	8,90399	8,90412
3641-A	11,06106	11,06119
EPS05		-
EPS03	9,41906	9,54150
RN06	8,35729	8,35740
EPS01	6,96579	7,09324
RN07	8,87106	8,87114
EPS02	8,53523	8,63998
RN10	9,04754	9,04763
3640-X	9,77880	9,77896

Ressalta-se que as altitudes do pinos de superfície semiesférica e parafuso, correspondentes ao EPS05 não puderam ser determinadas, por ter havido erros grosseiros durante o levantamento das linhas de nivelamento L20 e L21; L22 e L23 (Figura 18). Estas altitudes foram obtidas a partir do processo de distribuição do erro encontrado nos circuitos de nivelamentos realizados, tendo como referência a RN CTG01 com uma altitude de 9,73604 m (Tabela 17), assim como os valores dos erros de fechamento e perímetros dos circuitos nivelados (Apêndice D).

##### 5.4.2.7.2 Métodos dos Mínimos Quadrados: modelo paramétrico

O teste Qui quadrado foi aplicado a partir dos valores da variância da unidade de peso a posteriori igual à  $\hat{\sigma}_0^2 = 1 \times 10^{-7}$  (Pinos de superfícies semiesféricas) e  $\hat{\sigma}_0^2 = 1 \times 10^{-7}$  (Parafusos). Na Tabela 37 ver-se os valores dos resíduos ajustados (Equação 25).

Tabela 37 - Resíduos e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 05 - Dezembro de 2016).

Pinos superfícies semiesféricas			Parafusos		
Resíduos	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)	Resíduos	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)
$v_1$	0,00007	$\pm 0,00064$	$v_2$	0,00005	$\pm 0,00061$
$v_3$	0,00001	$\pm 0,00101$	$v_4$	- 0,00002	$\pm 0,00096$
$v_5$	- 0,00001	$\pm 0,00095$	$v_6$	0,00002	$\pm 0,00094$
$v_7$	0,00000	$\pm 0,00246$	$v_7$	- 0,00000	$\pm 0,00233$
$v_8$	0,00002	$\pm 0,00074$	$v_9$	- 0,00003	$\pm 0,00070$
$v_{10}$	- 0,00002	$\pm 0,00078$	$v_{11}$	0,00003	$\pm 0,00073$
$v_{12}$	0,00004	$\pm 0,00067$	$v_{13}$	0,00009	$\pm 0,00063$
$v_{14}$	0,00010	$\pm 0,00050$	$v_{14}$	0,00008	$\pm 0,00048$
$v_{15}$	- 0,00008	$\pm 0,00060$	$v_{15}$	- 0,00006	$\pm 0,00057$
$v_{16}$	- 0,00010	$\pm 0,00086$	$v_{16}$	- 0,00011	$\pm 0,00081$
$v_{17}$	- 0,00005	$\pm 0,00123$	$v_{17}$	- 0,00005	$\pm 0,00116$
$v_{18}$	0,00000	$\pm 0,00066$	$v_{19}$	0,00000	$\pm 0,00057$
$v_{20}$	-	-	$v_{21}$	-	-
$v_{22}$	-	-	$v_{23}$	-	-
$v_{24}$	0,00004	$\pm 0,00105$	$v_{25}$	0,00005	$\pm 0,00099$
$v_{26}$	- 0,00010	$\pm 0,00065$	$v_{27}$	- 0,00013	$\pm 0,00061$
$v_{28}$	- 0,00009	$\pm 0,00069$	$v_{29}$	- 0,00011	$\pm 0,00065$
$v_{30}$	0,00024	$\pm 0,00055$	$v_{31}$	0,00024	$\pm 0,00052$
$v_{32}$	0,00012	$\pm 0,00058$	$v_{32}$	0,00016	$\pm 0,00055$
$v_{33}$	- 0,00007	$\pm 0,00065$	$v_{34}$	- 0,00004	$\pm 0,00062$
$v_{35}$	0,00009	$\pm 0,00057$	$v_{36}$	0,00006	$\pm 0,00054$
$v_{37}$	- 0,00014	$\pm 0,00074$	$v_{37}$	- 0,00011	$\pm 0,00070$
$v_{38}$	0,00014	$\pm 0,00075$	$v_{39}$	0,00010	$\pm 0,00071$
$v_{40}$	- 0,00017	$\pm 0,00080$	$v_{41}$	- 0,00012	$\pm 0,00076$

Ressalta-se que os resíduos ajustados correspondente aos desníveis das linhas de nivelamento L20 e L21; L22 e L23 (Figura 19), não puderam ser determinadas, por ter havido erros grosseiros durante o levantamento destas, como exposto anteriormente.

Os resíduos ajustados foram em modulo inferiores e iguais à 0,00024 m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e 0,00024 m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos.

Na Tabela 38 verificam-se as respectivas observações ajustadas e os desvios padrão dessas observações, determinados pela Matriz das Covariâncias (Equação 26).

Tabela 38 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 05 - Dezembro de 2016).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Observações	$\Delta H^a$ (m)	$\sigma$ (m)	Observações	$\Delta H^a$ (m)	$\sigma$ (m)
$l_1^a$	1,92699	$\pm 0,00019$	$l_2^a$	1,77962	$\pm 0,00018$
$l_3^a$	0,30934	$\pm 0,00013$	$l_4^a$	0,33366	$\pm 0,00012$
$l_5^a$	0,94586	$\pm 0,00014$	$l_6^a$	0,82270	$\pm 0,00013$
$l_7^a$	0,03456	$\pm 0,00006$	$l_7^a$	0,03456	$\pm 0,00005$
$l_8^a$	0,93798	$\pm 0,00016$	$l_9^a$	0,81941	$\pm 0,00016$
$l_{10}^a$	0,28325	$\pm 0,00016$	$l_{11}^a$	0,16476	$\pm 0,00015$
$l_{12}^a$	0,05277	$\pm 0,00016$	$l_{13}^a$	0,20017	$\pm 0,00016$
$l_{14}^a$	1,01864	$\pm 0,00022$	$l_{14}^a$	1,01862	$\pm 0,00021$
$l_{15}^a$	0,70852	$\pm 0,00020$	$l_{15}^a$	0,70854	$\pm 0,00019$
$l_{16}^a$	0,13281	$\pm 0,00015$	$l_{16}^a$	0,13280	$\pm 0,00014$
$l_{17}^a$	2,15706	$\pm 0,00011$	$l_{17}^a$	2,15706	$\pm 0,00010$
$l_{18}^a$	0,76125	$\pm 0,00021$	$l_{19}^a$	0,67960	$\pm 0,00021$
$l_{20}^a$	-	-	$l_{21}^a$	-	-
$l_{22}^a$	-	-	$l_{23}^a$	-	-
$l_{24}^a$	0,64789	$\pm 0,00013$	$l_{25}^a$	0,77018	$\pm 0,00012$
$l_{26}^a$	1,06180	$\pm 0,00019$	$l_{27}^a$	1,18411	$\pm 0,00018$
$l_{28}^a$	1,39152	$\pm 0,00018$	$l_{29}^a$	1,26419	$\pm 0,00017$
$l_{30}^a$	1,90533	$\pm 0,00018$	$l_{31}^a$	1,77797	$\pm 0,00017$
$l_{32}^a$	2,18997	$\pm 0,00020$	$l_{32}^a$	2,19001	$\pm 0,00019$
$l_{33}^a$	0,33590	$\pm 0,00018$	$l_{34}^a$	0,23120	$\pm 0,00017$
$l_{35}^a$	0,51214	$\pm 0,00019$	$l_{36}^a$	0,40750	$\pm 0,00018$
$l_{37}^a$	0,73141	$\pm 0,00015$	$l_{37}^a$	0,73144	$\pm 0,00014$
$l_{38}^a$	2,81299	$\pm 0,00015$	$l_{39}^a$	2,68571	$\pm 0,00014$
$l_{40}^a$	2,08158	$\pm 0,00014$	$l_{41}^a$	1,95427	$\pm 0,00013$

Ressalta-se que as observações ajustadas correspondentes aos desníveis das linhas de nivelamento L20 e L21; L22 e L23 (Figura 19), não puderam ser determinadas, por ter havido erros grosseiros durante o levantamento destas.

Os desvios padrão das observações ajustadas foram inferiores e iguais à  $\pm 0,00022$  m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e  $\pm 0,00021$  m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos. Na Tabela 39, ver-se as altitudes ajustadas (Equação 27).

Tabela 39 – Altitudes ajustadas da rede de referência altimétrica, Campus Recife da UFPE e respectivos desvios padrão (Campanha de medição 05 - Dezembro de 2016).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Referência de Nível	H <sup>a</sup> (m)	$\sigma$ (m)	Referência de Nível	H <sup>a</sup> (m)	$\sigma$ (m)
RNEPS04	9,13404	$\pm 0,00018$	P-EPS04	9,28152	$\pm 0,00017$
RNEPS07	8,82470	$\pm 0,00015$	P-EPS07	8,94786	$\pm 0,00014$
CTG02	9,77056	$\pm 0,00006$	CTG02	9,77056	$\pm 0,00005$
RNEPS06	8,79802	$\pm 0,00016$	P-EPS06	8,91659	$\pm 0,00016$
RN-D	9,08127	$\pm 0,00019$	RN-D	9,08135	$\pm 0,00018$
RN04	8,06263	$\pm 0,00027$	RN04	8,06274	$\pm 0,00026$
RN05	8,77116	$\pm 0,00027$	RN05	8,77128	$\pm 0,00026$
RN3641-B	8,90397	$\pm 0,00026$	RN3641B	8,90408	$\pm 0,00025$
RN3641-A	11,06103	$\pm 0,00025$	RN3641A	11,06114	$\pm 0,00024$
RNEPS05	7,30138	$\pm 0,00034$	P-EPS05	7,38314	$\pm 0,00033$
RNEPS03	9,41905	$\pm 0,00030$	P-EPS03	9,54146	$\pm 0,00028$
RN06	8,35725	$\pm 0,00033$	RN06	8,35735	$\pm 0,00031$
RNEPS01	6,96573	$\pm 0,00033$	P-EPS01	7,09317	$\pm 0,00032$
RN07	8,87106	$\pm 0,00032$	RN07	8,87113	$\pm 0,00030$
RNEPS02	8,53516	$\pm 0,00035$	P-EPS02	8,63994	$\pm 0,00034$
RN10	9,04731	$\pm 0,00035$	RN10	9,04743	$\pm 0,00033$
RN3640-X	9,77872	$\pm 0,00036$	RN3640X	9,77888	$\pm 0,00034$

As discrepâncias entre as altitudes obtidas pelo método proporcional à distância e o MMQ - modelo paramétrico, foram inferiores e iguais respectivamente à  $\pm 0,00023$  para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e  $\pm 0,00035$  para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos.

Desta forma, ver-se que os resultados encontrados na quinta campanha de medição, apresenta resultados coerentes, pelos métodos de ajustamento aplicados.

Para as RRNN da RAAP do IBGE (3641B, 3641A e 3640X), verificam-se discrepâncias entre as altitudes ajustadas da quarta campanha e as altitudes ajustadas e disponibilizadas nos relatórios do IBGE, respectivamente, de  $-0,00223$  m,  $-0,00277$  m e -

0,05858 m. Quando as altitudes ajustadas da quarta campanha são comparadas com as altitudes ajustadas da terceira campanha de medição 03, obtém-se, respectivamente, as seguintes discrepâncias: -0,00019 m, -0,00195 m e -0,00291 m.

#### 5.4.2.8 Análise dos resultados – sexta campanha de medição – 09 e 10 de dezembro de 2016

Por fim, analisa-se a sexta campanha de medição realizada nos dias 09 e 10 de dezembro de 2016. Os dados referentes a esta campanha de medição 06 estão apresentados no Apêndice F.

##### 5.4.2.8.1 Método proporcional à Distância

A Tabela 40 apresenta as altitudes ajustadas e obtidas pelo método proporcional à distância.

Tabela 40 – Altitudes ajustadas obtida pelo método proporcional à distância (Campanha de medição 06 - Dezembro de 2016).

RRNN	Altitudes (m) (Pinos de superfícies semiesféricas)	Altitudes (m) (Parafusos)
EPS04	9,13421	9,28163
EPS07	8,82467	8,94771
CTG02	9,77069	9,77069
EPS06	8,79757	8,91613
RN-D	9,08067	9,08059
RN04	8,06124	8,06082
RN05	8,77046	8,77035
3641-B	8,90340	8,90332
3641-A	11,06050	11,06042
EPS05	7,30066	7,40121
EPS03	9,41877	9,54098
RN06	8,35707	8,35715
EPS01	6,96403	7,09141
RN07	8,86919	8,86918
EPS02	8,53389	8,63847
RN10	9,04630	9,04626
3640-X	9,77755	9,77755

Estas altitudes foram obtidas a partir do processo de distribuição do erro encontrado nos circuitos de nivelamentos realizados, tendo como referência a RN CTG01 com uma altitude de 9,73604 m (Tabela 17), assim como os valores dos erros de fechamento e perímetros dos circuitos nivelados (Apêndice D).

#### 5.4.2.8.2 Métodos dos Mínimos Quadrados: modelo paramétrico

O teste Qui quadrado  $\chi^2$  foi aplicado a partir dos valores da variância da unidade de peso a posteriori iguais à  $\hat{\sigma}_0^2 = 2 \times 10^{-7}$  (Pinos de superfícies semiesféricas) e  $\hat{\sigma}_0^2 = 2 \times 10^{-7}$  (Parafusos). Na Tabela 41 ver-se os valores dos resíduos ajustados e seus respectivos desvios padrão (Equação 25).

Tabela 41 - Resíduos e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 06 - Dezembro de 2016).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Resíduos	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)	Resíduos	Valores dos resíduos (m)	$\sigma$ (m)
$v_1$	0,00006	$\pm 0,00071$	$v_2$	0,00006	$\pm 0,00083$
$v_3$	0,00006	$\pm 0,00110$	$v_4$	0,00008	$\pm 0,00128$
$v_5$	- 0,00006	$\pm 0,00108$	$v_6$	- 0,00008	$\pm 0,00126$
$v_7$	0,00001	$\pm 0,00322$	$v_7$	0,00001	$\pm 0,00377$
$v_8$	0,00010	$\pm 0,00084$	$v_9$	0,00014	$\pm 0,00098$
$v_{10}$	- 0,00010	$\pm 0,00086$	$v_{11}$	- 0,00013	$\pm 0,00100$
$v_{12}$	-0,00007	$\pm 0,00075$	$v_{13}$	- 0,00011	$\pm 0,00087$
$v_{14}$	0,00009	$\pm 0,00056$	$v_{14}$	0,00010	$\pm 0,00066$
$v_{15}$	0,00013	$\pm 0,00068$	$v_{15}$	0,00011	$\pm 0,00079$
$v_{16}$	0,00005	$\pm 0,00095$	$v_{16}$	0,00007	$\pm 0,00111$
$v_{17}$	0,00002	$\pm 0,00137$	$v_{17}$	0,00004	$\pm 0,00160$
$v_{18}$	0,00017	$\pm 0,00075$	$v_{19}$	0,00015	$\pm 0,00087$
$v_{20}$	- 0,00012	$\pm 0,00055$	$v_{21}$	- 0,00010	$\pm 0,00065$
$v_{22}$	- 0,00021	$\pm 0,00048$	$v_{23}$	- 0,00020	$\pm 0,00056$
$v_{24}$	- 0,00002	$\pm 0,00113$	$v_{25}$	- 0,00004	$\pm 0,00132$
$v_{26}$	0,00014	$\pm 0,00072$	$v_{27}$	0,00018	$\pm 0,00084$
$v_{28}$	0,00013	$\pm 0,00077$	$v_{29}$	0,00016	$\pm 0,00090$
$v_{30}$	0,00003	$\pm 0,00059$	$v_{31}$	0,00006	$\pm 0,00069$
$v_{32}$	- 0,00017	$\pm 0,00064$	$v_{32}$	- 0,00022	$\pm 0,00075$
$v_{33}$	- 0,00016	$\pm 0,00073$	$v_{34}$	- 0,00022	$\pm 0,00085$
$v_{35}$	0,00021	$\pm 0,00063$	$v_{36}$	0,00028	$\pm 0,00074$
$v_{37}$	- 0,00013	$\pm 0,00084$	$v_{37}$	- 0,00012	$\pm 0,00098$
$v_{38}$	0,00014	$\pm 0,00081$	$v_{39}$	0,00012	$\pm 0,00095$
$v_{40}$	- 0,00023	$\pm 0,00089$	$v_{41}$	- 0,00026	$\pm 0,00104$

Os resíduos ajustados foram em modulo inferiores e iguais à 0,00023 m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e 0,00026 m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos. Na Tabela 42 verificam-se as respectivas observações ajustadas e os desvios padrão dessas observações, determinados pela Matriz das Covariâncias (Equação 26).

Tabela 42 – Observações ajustadas e seus respectivos desvios padrão (Campanha de medição 06 - Dezembro de 2016).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Observações	$\Delta H^a$ (m)	$\sigma$ (m)	Observações	$\Delta H^a$ (m)	$\sigma$ (m)
$l_1^a$	1,92637	$\pm 0,00021$	$l_2^a$	1,77888	$\pm 0,00025$
$l_3^a$	0,30955	$\pm 0,00015$	$l_4^a$	0,33393	$\pm 0,00017$
$l_5^a$	0,94601	$\pm 0,00015$	$l_6^a$	0,82298	$\pm 0,00018$
$l_7^a$	0,03465	$\pm 0,00005$	$l_7^a$	0,03465	$\pm 0,00006$
$l_8^a$	0,93848	$\pm 0,00018$	$l_9^a$	0,81993	$\pm 0,00021$
$l_{10}^a$	0,28313	$\pm 0,00018$	$l_{11}^a$	0,16451	$\pm 0,00021$
$l_{12}^a$	0,05354	$\pm 0,00018$	$l_{13}^a$	0,20102	$\pm 0,00021$
$l_{14}^a$	1,01931	$\pm 0,00024$	$l_{14}^a$	1,01932	$\pm 0,00028$
$l_{15}^a$	0,70921	$\pm 0,00018$	$l_{15}^a$	0,70919	$\pm 0,00022$
$l_{16}^a$	0,13290	$\pm 0,00016$	$l_{16}^a$	0,13292	$\pm 0,00019$
$l_{17}^a$	2,15710	$\pm 0,00012$	$l_{17}^a$	2,15712	$\pm 0,00014$
$l_{18}^a$	0,76043	$\pm 0,00019$	$l_{19}^a$	0,65982	$\pm 0,00022$
$l_{20}^a$	1,46964	$\pm 0,00019$	$l_{21}^a$	1,36900	$\pm 0,00022$
$l_{22}^a$	2,11793	$\pm 0,00021$	$l_{23}^a$	2,13961	$\pm 0,00024$
$l_{24}^a$	0,64829	$\pm 0,00014$	$l_{25}^a$	0,77060	$\pm 0,00016$
$l_{26}^a$	1,06175	$\pm 0,00021$	$l_{27}^a$	1,18390	$\pm 0,00025$
$l_{28}^a$	1,39310	$\pm 0,00020$	$l_{29}^a$	1,26580	$\pm 0,00024$
$l_{30}^a$	1,90506	$\pm 0,00021$	$l_{31}^a$	1,77769	$\pm 0,00024$
$l_{32}^a$	2,19150	$\pm 0,00023$	$l_{32}^a$	2,19145	$\pm 0,00026$
$l_{33}^a$	0,33548	$\pm 0,00020$	$l_{34}^a$	0,23093	$\pm 0,00024$
$l_{35}^a$	0,51251	$\pm 0,00022$	$l_{36}^a$	0,40790	$\pm 0,00025$
$l_{37}^a$	0,73139	$\pm 0,00017$	$l_{37}^a$	0,73140	$\pm 0,00019$
$l_{38}^a$	2,81349	$\pm 0,00017$	$l_{39}^a$	2,68607	$\pm 0,00020$
$l_{40}^a$	2,08210	$\pm 0,00015$	$l_{41}^a$	1,95467	$\pm 0,00018$

Os desvios padrão das observações ajustadas foram inferiores e iguais à  $\pm 0,00024$  m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e  $\pm 0,00028$  m para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos.

A Tabela 43 apresenta as respectivas altitudes ajustadas das estruturas altimétricas densificadas no Campus Recife da UFPE, com seus respectivos desvios padrão. Estes calculados pela Matriz Covariância das Altitudes, obtida pela Equação 27.

Tabela 43 – Altitudes ajustadas da rede de referência altimétrica, campus recife da UFPE e respectivos desvios padrão (Campanha de medição 06 - Dezembro de 2016).

Pinos de superfícies semiesféricas			Parafusos		
Referência de Nível	H <sup>a</sup> (m)	$\sigma$ (m)	Referência de Nível	H <sup>a</sup> (m)	$\sigma$ (m)
RNEPS04	9,13419	$\pm 0,00020$	P-EPS04	9,28161	$\pm 0,00023$
RNEPS07	8,82464	$\pm 0,00016$	P-EPS07	8,94767	$\pm 0,00018$
CTG02	9,77065	$\pm 0,00005$	CTG02	9,77065	$\pm 0,00006$
RNEPS06	8,79752	$\pm 0,00018$	P-EPS06	8,91607	$\pm 0,00021$
RN-D	9,08065	$\pm 0,00021$	RN-D	9,08058	$\pm 0,00025$
RN04	8,06134	$\pm 0,00029$	RN04	8,06127	$\pm 0,00034$
RN05	8,77056	$\pm 0,00030$	RN05	8,77045	$\pm 0,00035$
RN3641-B	8,90346	$\pm 0,00029$	RN3641B	8,90337	$\pm 0,00034$
RN3641-A	11,06056	$\pm 0,00027$	RN3641A	11,06049	$\pm 0,00032$
RNEPS05	7,30092	$\pm 0,00032$	P-EPS05	7,40145	0,00038
RNEPS0	9,41885	$\pm 0,00032$	P-EPS03	9,54106	$\pm 0,00037$
RN06	8,35709	$\pm 0,00036$	RN06	8,35715	$\pm 0,00042$
RNEPS01	6,96400	$\pm 0,00036$	P-EPS01	7,09135	$\pm 0,00043$
RN07	8,86906	$\pm 0,00035$	RN07	8,86904	$\pm 0,00041$
RNEPS02	8,53359	$\pm 0,00039$	P-EPS02	8,63812	$\pm 0,00045$
RN10	9,04610	$\pm 0,00038$	RN10	9,04602	$\pm 0,00045$
RN3640-X	9,77749	$\pm 0,00039$	RN3640X	9,77742	$\pm 0,00046$

As discrepâncias entre as altitudes ajustadas obtidas pelo método proporcional à distância e o MMQ - modelo paramétrico, foram inferiores e iguais respectivamente à  $\pm 0,00039$  para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e  $\pm 0,00046$  para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos.

Desta forma, ver-se que os resultados encontrados na sexta campanha de medição, apresentam resultados coerentes, pelos métodos de ajustamentos aplicados.

Além disso, ver-se que a sexta campanha de medição ocorreu 07 (sete) dias, após a quinta campanha de medição ( Figura 13). A Tabela 44 apresenta as discrepâncias verificadas entre as altitudes ajustadas da quinta campanha de medição (05) (Tabela 39) e a sexta campanha de medição (06) (Tabela 43).

Tabela 44 – Discrepâncias entre a campanha de medição 05 e a campanha de medição 06.

Referência de Nível	Discrepâncias entre as altitudes ajustadas da quinta campanha de medição (05) e a sexta campanha de medição (06)	
	Pinos de superfícies semiesféricas	Parafusos
RNEPS04	0,00015	0,00009
RNEPS07	- 0,00006	- 0,00019
CTG02	0,00009	0,00009
RNEPS06	- 0,00050	- 0,00052
RN-D	- 0,00062	- 0,00077
RN04	- 0,00129	- 0,00147
RN05	- 0,00060	- 0,00083
RN3641-B	- 0,00051	- 0,00071
RN3641-A	- 0,00047	- 0,00065
RNEPS05	- 0,00046	0,01831
RNEPS03	- 0,00020	- 0,00040
RN06	- 0,00016	- 0,00020
RNEPS01	- 0,00173	- 0,00182
RN07	- 0,00200	- 0,00209
RNEPS02	- 0,00157	- 0,00182
RN10	- 0,00121	- 0,00141
RN3640-X	- 0,00123	- 0,00146

Ver-se na Tabela 44 que a estrutura de referência auxiliar RN07 para a definição da RRA foi a que apresentou uma maior discrepância. As discrepâncias da RN07 foram inferiores e igual respectivamente à  $\pm 0,00200$  para o ajustamento da rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e para o ajustamento da rede altimétrica considerando os parafusos a RN P-EPS05 apresenta uma discrepâncias de 0,01831 m, o que levanta a hipótese de um possível erro grosseiro, este verificado na campanha de medição 05, que comprometeu a definição da altitude ajustada da RN P-EPS05. Além disso, observa-se na Tabela 44 que as referências de nível RN04, RNEPS01, RNEPS02, RN07, RN10 e RN3640X apresentam discrepâncias no entorno de 1 mm para ambos casos analisados. O que contradiz o intervalo de tempo entre as campanhas de medição de 7 dias. Pois era esperado para este caso, uma menor discrepância.

Acentuado a hipótese que a campanha de medição 05 apresenta problemas relacionados a aquisição dos dados.

Para as RRNN da RAAP do IBGE (3641B, 3641A e 3640X), verificam-se discrepâncias entre as altitudes ajustadas da sexta campanha e as altitudes ajustadas e disponibilizadas nos relatórios do IBGE, respectivamente, de -0,00294 m, -0,00324 m e -0,05981 m. Quando as altitudes ajustadas da sexta campanha são comparadas com as altitudes ajustadas da quinta campanha de medição 05, obtém-se, respectivamente, as seguintes discrepâncias: 0,00051 m, -0,00047 m e 0,00123 m.

#### **5.4.3 Monitoramento das estruturas geodésicas altimétricas e estabelecimento de padrões de referência metrológica**

A campanha de medição 01 realizada nos dias 04, 05 e 06 de novembro de 2015, foi considerada a referência padrão para a análise de monitoramento das estruturas geodésicas altimétricas implantadas no Campus (cf. Item 5.4.2.3). A partir desta campanha foi realizada a análise da estabilidade das estruturas geodésicas altimétricas densificadas no Campus Recife da Universidade Federal de Pernambuco.

Após a realização do ajustamento das observações (item 4.1), onde foram considerados: o método proporcional à distância; o método dos MMQ – modelo paramétrico; a análise estatística para detecção e identificação de erros; abordando-se neste item 4.1.4 a análise de variâncias das altitudes ajustadas das amostras das seis campanhas de medição, complementado o controle de qualidade das estruturas geodésicas altimétricas densificadas no Campus Recife da UPFE, proposto no capítulo 4.

##### **5.4.3.1 Análise das variâncias**

Desta forma, com os dados das seis campanhas ajustados pelo MMQ – modelo paramétrico e as respectivas variâncias das altitudes ajustadas determinadas, foi aplicada a análise ANOVA, ou seja, foi verificada a medida de dispersão, indicando o tanto que os valores se distanciam da média (cf. item 4.1.4). Esta análise foi realizada para ambas redes geodésicas altimétricas (Pinos de superfícies semiesféricas (Tabela 45) e parafusos (Tabela 46)).

Tabela 45 - ANOVA (Pinos de superfícies semiesféricas).

RESUMO						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
Amostra1	18	2,8013E-07	1,55628E-08	2,26254E-17		
Amostra2	18	4,01864E-07	2,23258E-08	1,30191E-16		
Amostra3	18	6,59465E-07	3,66369E-08	3,8926E-16		
Amostra4	18	9,22958E-07	5,12754E-08	7,83412E-16		
Amostra5	18	1,18573E-06	6,58736E-08	1,34733E-15		
Amostra6	18	1,39541E-06	7,75225E-08	2,06897E-15		
<b>ANOVA</b>						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>Gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	5,36995E-14	5	1,07399E-14	13,5896637	3,69304E-10	2,303493035
Dentro dos grupos	8,06105E-14	102	7,90299E-16			
Total	1,3431E-13	107				

Fonte: Excel, 2010

Tabela 46 - ANOVA (Parafusos)

RESUMO						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
Amostra1	18	4,1597E-07	2,31095E-08	5,61965E-17		
Amostra2	18	3,04604E-07	1,69225E-08	1,00945E-16		
Amostra3	18	5,98513E-07	3,32507E-08	2,93313E-16		
Amostra4	18	8,32571E-07	4,62539E-08	5,85418E-16		
Amostra5	18	1,15913E-06	6,43959E-08	1,13596E-15		
Amostra6	18	2,02529E-06	1,12516E-07	4,85975E-15		
<b>ANOVA</b>						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>Gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,12054E-13	5	2,24107E-14	19,1229322	2,21647E-13	2,303493035
Dentro dos grupos	1,19537E-13	102	1,17193E-15			
Total	2,31591E-13	107				

Fonte: Excel, 2010

Ver-se nas Tabelas 45 e 46 que o valor de F é maior que o valor crítico, assim como, o valor de P. Conclui-se com isso que F é significativo, ou seja, algumas amostras testadas se diferenciam significativamente com o nível de significância de 5%. Onde F é obtido pela divisão do quadrado médio entre os grupos e dentro dos grupos (cf. item 4.1.4).

As Tabelas 47 e 48 apresentam os resultados da ANOVA pelo software AstGeoTop (2016), utilizando-se o módulo Estatístico - análise de grupos de amostras (GARNÉS, 2012).

Tabela 47 – ANOVA (pinos de superfícies semiesféricas)

ANOVA					
Fonte de variação	S.Q.	GL	Q.M.	Estat-F	F-crítico
Entre Grupos	0,001	5	0,000	13,590	2,304
Dentro dos Grupos	0,001	102	0,000		
Total	0,001	107			

Fonte: AstGeoTop (2012)

Tabela 48 – ANOVA (Parafusos)

ANOVA					
Fonte de variação	S.Q.	GL	Q.M.	Estat-F	F-crítico
Entre Grupos	0,001	5	0,000	19,123	2,304
Dentro dos Grupos	0,001	102	0,000		
Total	0,002	107			

Fonte: AstGeoTop (2012),

De acordo com a análise ANOVA realizada, identificou-se que existe pelo menos um grupo, diferente dos demais ao nível de significância de 5%. Portanto, a estatística F foi rejeitada ao nível de confiança de 95%.

Todavia, a análise de variâncias, testa a existência ou não de diferenças significativas. Entretanto, caso hajam diferenças, não se pode identificar, quais médias diferem das demais, apenas aplicando a ANOVA. Portanto, para se determinar qual(is) o(s) par(es) de médias diferentes, após a realização da ANOVA, foi realizado o teste Sheffé e Tukey (cf. item 4.1.4).

#### 5.4.3.2 Testes Scheffé e Tukey

##### a) Resultado do teste Sheffé e análise

As Tabelas 49 e 50 apresentam os resultados obtidos a partir do teste Scheffé.

Tabela 49 – Análise das diferenças das amostras pelo método Scheffé – Pinos de superfícies semiesféricas. Unidade em centésimo de milímetro

GRUPOS	DALFA	Med <sub>i</sub> - med <sub>j</sub>	CONCLUSÃO
Amostra1 x Amostra2	0,003	0,001	Não diferem
Amostra1 x Amostra3	0,003	0,002	Não diferem
Amostra1 x Amostra4	0,003	0,004	Diferem
Amostra1 x Amostra5	0,003	0,005	Diferem
Amostra1 x Amostra6	0,003	0,006	Diferem
Amostra2 x Amostra3	0,003	0,001	Não diferem
Amostra2 x Amostra4	0,003	0,003	Não diferem
Amostra2 x Amostra5	0,003	0,004	Diferem
Amostra2 x Amostra6	0,003	0,006	Diferem
Amostra3 x Amostra4	0,003	0,001	Não diferem
Amostra3 x Amostra5	0,003	0,003	Não diferem
Amostra3 x Amostra6	0,003	0,004	Diferem
Amostra4 x Amostra5	0,003	0,001	Não diferem
Amostra4 x Amostra6	0,003	0,003	Não diferem
Amostra5 x Amostra6	0,003	0,001	Não diferem

Fonte: AstGeoTop (2012).

Tabela 50 – Análise das diferenças das amostras pelo método Scheffé – Parafusos. Unidade em centésimo de milímetro

GRUPOS	DALFA	Med <sub>i</sub> - med <sub>j</sub>	CONCLUSÃO
Amostra1 x Amostra2	0,004	0,001	Não diferem
Amostra1 x Amostra3	0,004	0,001	Não diferem
Amostra1 x Amostra4	0,004	0,002	Não diferem
Amostra1 x Amostra5	0,004	0,004	Diferem
Amostra1 x Amostra6	0,004	0,009	Diferem
Amostra2 x Amostra3	0,004	0,002	Não diferem
Amostra2 x Amostra4	0,004	0,003	Não diferem
Amostra2 x Amostra5	0,004	0,005	Diferem
Amostra2 x Amostra6	0,004	0,010	Diferem
Amostra3 x Amostra4	0,004	0,001	Não diferem
Amostra3 x Amostra5	0,004	0,003	Não diferem
Amostra3 x Amostra6	0,004	0,008	Diferem
Amostra4 x Amostra5	0,004	0,002	Não diferem
Amostra4 x Amostra6	0,004	0,007	Diferem
Amostra5 x Amostra6	0,004	0,005	Diferem

Fonte: AstGeoTop (2012).

A Tabela 51 apresenta resumidamente os resultados encontradas, com o teste Sheffé das amostras para um nível de significância de 5% .

Tabela 51 – Análise das diferenças das amostras pelo método Scheffé - resumo

Amostras (Campanhas de medição)		Pino de Superfície semiesférica	Parafuso
		5%	5%
1	2	Não diferenciam	Não diferenciam
1	3	Não diferenciam	Não diferenciam
1	4	Diferenciam	Não diferenciam
1	5	Diferenciam	Diferenciam
1	6	Diferenciam	Diferenciam
2	3	Não diferenciam	Não diferenciam
2	4	Não diferenciam	Não diferenciam
2	5	Diferenciam	Diferenciam
2	6	Diferenciam	Diferenciam
3	4	Não diferenciam	Não diferenciam
3	5	Não diferenciam	Não diferenciam
3	6	Diferenciam	Diferenciam
4	5	Não diferenciam	Não diferenciam
4	6	Não diferenciam	Diferenciam
5	6	Não diferenciam	Diferenciam

Na Tabela 51 observa-se que as amostras das variâncias das altitudes ajustadas das campanhas de medição: 1 e 5; 1 e 6; 2 e 5; 2 e 6; 3 e 6 conforme o teste Sheffé se diferenciam (pinos de superfícies semiesféricas). Para a rede de referências altimétrica em relação as parafusos, verifica-se que as amostras das variâncias das altitudes ajustadas das campanhas de medição: 1 e 5; 1 e 6; 2 e 5; 2 e 6; 3 e 6; 4 e 5; 5 e 6, apresentam diferenças. Anteriormente, foi visto que a campanha de medição 05 apresenta problemas em relação aos dados levantados (cf. item 5.4.2.7).

#### b) Resultado do teste Tukey e análise

O teste Tukey é amplamente utilizado, devido a sua rigorosidade e a facilidade na sua aplicação. O teste Tukey faz uma comparação de média, tendo como referência DMS (Diferença mínima significativa). Portanto, as Tabelas 52 e 53 apresentam os dados referentes ao teste Tukey, processados pelo software PAST. Observa-se com isso, que: A (Medição 01), B (Medição 02), C (Medição 03), D (Medição 04), E (Medição 05) e F (Medição 06) representam as amostras testadas em que os números em destaque em cor vermelha, indicam que as amostras testadas se diferenciam.

Tabela 52 – Teste Tukey (Pinos de superfícies semiesféricas)

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	5,36993E-14	5	1,07399E-14	13,59	3,693E-10
Within groups:	8,06096E-14	102	7,9029E-16		
<b>Total:</b>	<b>1,34309E-13</b>	<b>107</b>			
<b>omega^2:</b>	<b>0,3682</b>				

Levene's test for homogeneity of variance, based on means: p(same) = 5,634E-08  
Based on medians: p(same) = 6,094E-06

Welch F test in the case of unequal variances: F=20,38, df=42,9, p=2,3E-10

Residuals

Tukey's pairwise comparisons:  
Q \ p(same)

	A	B	C	D	E	F
A		0,9789	0,2251	0,003252	0,0001262	0,0001207
B	1,021		0,6477	0,03027	0,0002587	0,0001211
C	3,181	2,16		0,6252	0,02777	0,000544
D	5,39	4,369	2,209		0,628	0,06548
E	7,593	6,572	4,412	2,203		0,8145
F	9,351	8,33	6,17	3,961	1,758	

Fonte: PAST (2013).

De acordo com a Tabela 52 observa-se diferenças significativas entre as amostras (1 e 5; 1 e 6; 2 e 5; 2 e 6; 3 e 6).

Tabela 53 - Teste Tukey (Parafusos)

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	1,12053E-13	5	2,24107E-14	19,12	2,217E-13
Within groups:	1,19537E-13	102	1,17193E-15		
<b>Total:</b>	<b>2,3159E-13</b>	<b>107</b>			
<b>omega^2:</b>	<b>0,4562</b>				

Levene's test for homogeneity of variance, based on means: p(same) = 6,032E-15  
Based on medians: p(same) = 3,227E-10

Welch F test in the case of unequal variances: F=15,83, df=45,34, p=5,26E-09

Residuals

Tukey's pairwise comparisons:  
Q \ p(same)

	A	B	C	D	E	F
A		0,9943	0,9485	0,3339	0,006133	0,0001207
B	0,7667		0,7083	0,1142	0,001021	0,0001207
C	1,257	2,024		0,8637	0,0783	0,0001207
D	2,868	3,635	1,612		0,6071	0,0001213
E	5,117	5,883	3,86	2,248		0,0008512
F	11,08	11,85	9,824	8,212	5,964	

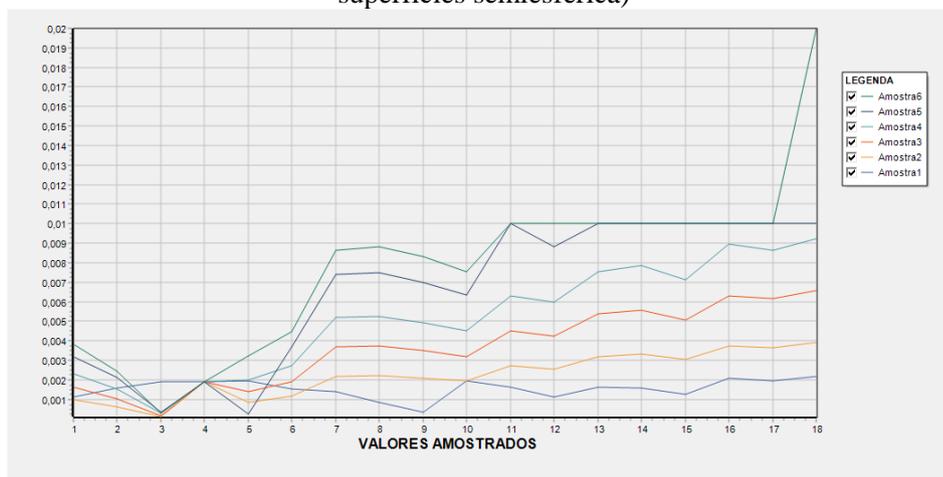
Fonte: PAST (2013).

Conforme a Tabela 52 houve diferenças significativas entre as amostras (1 e 5; 1 e 6; 2 e 5; 2 e 6; 3 e 6; 4 e 5; 5 e 6). Equivalente ao resultado obtido pelo Teste Sheffé.

### 5.4.3.3 Representação gráfica das variâncias das altitudes ajustadas

A Figura 20 ilustra a variação das variâncias das amostras, utilizadas na análise de variâncias realizada, considerando os pinos de superfícies semiesféricas.

Figura 20 - Representação gráfica das discrepâncias entre as Campanhas de medição (Pinos de superfícies semiesférica)



Fonte: AstGeotop (2012)

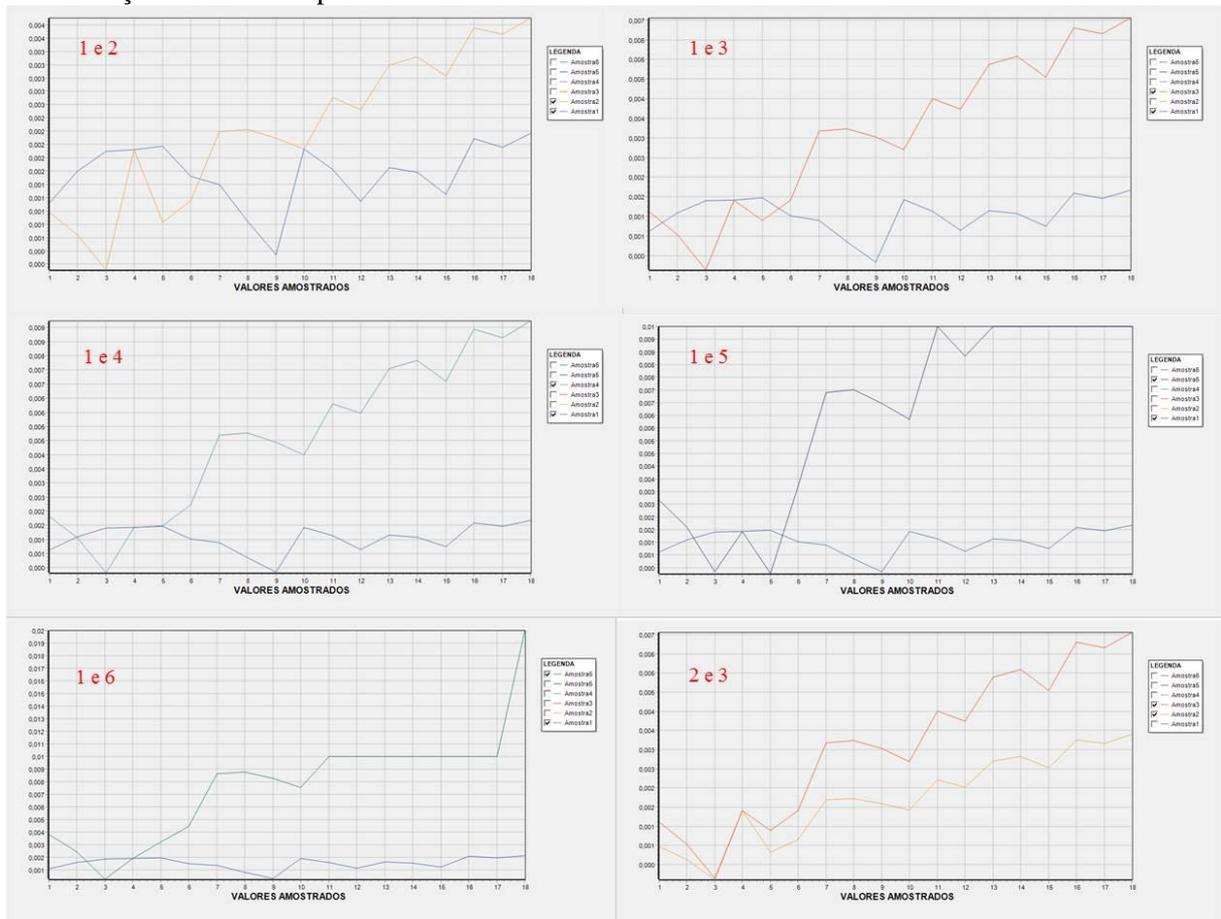
A Figura 21 ilustra a variação das variâncias das amostras, utilizadas na análise de variâncias realizada, considerando os parafusos.

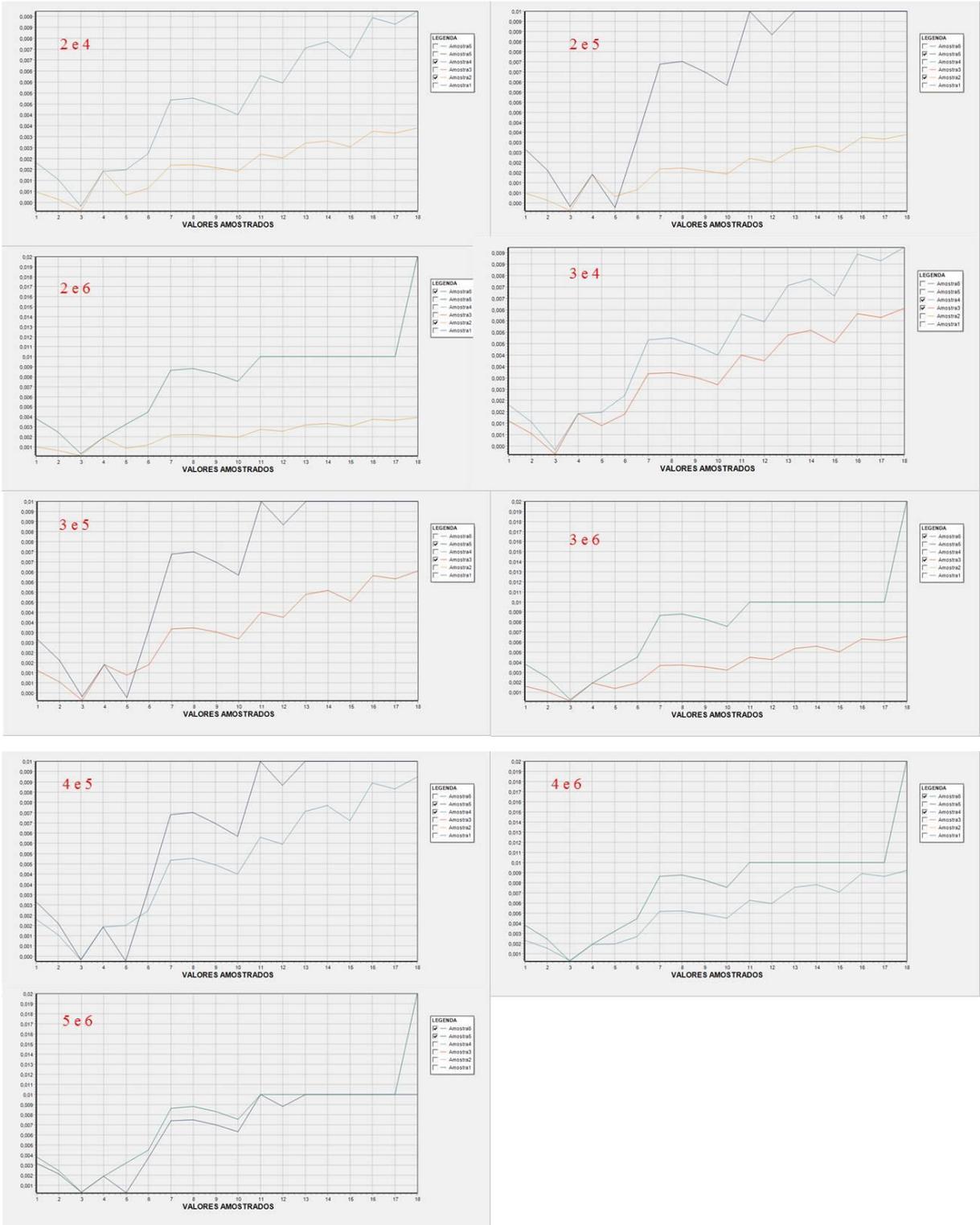
Figura 21 - - Representação gráfica das discrepâncias entre as Campanhas de medição (Parafusos)



Conforme o teste Scheffé, a seguir são apresentados gráficos que representam par a par o comportamento das variâncias das altitudes ajustadas das amostras das campanhas de medição. Primeiramente serão apresentadas as amostras referentes ao pinos de superfícies semiesféricas (Figura 22) e em seguida aos parafusos (Figura 23).

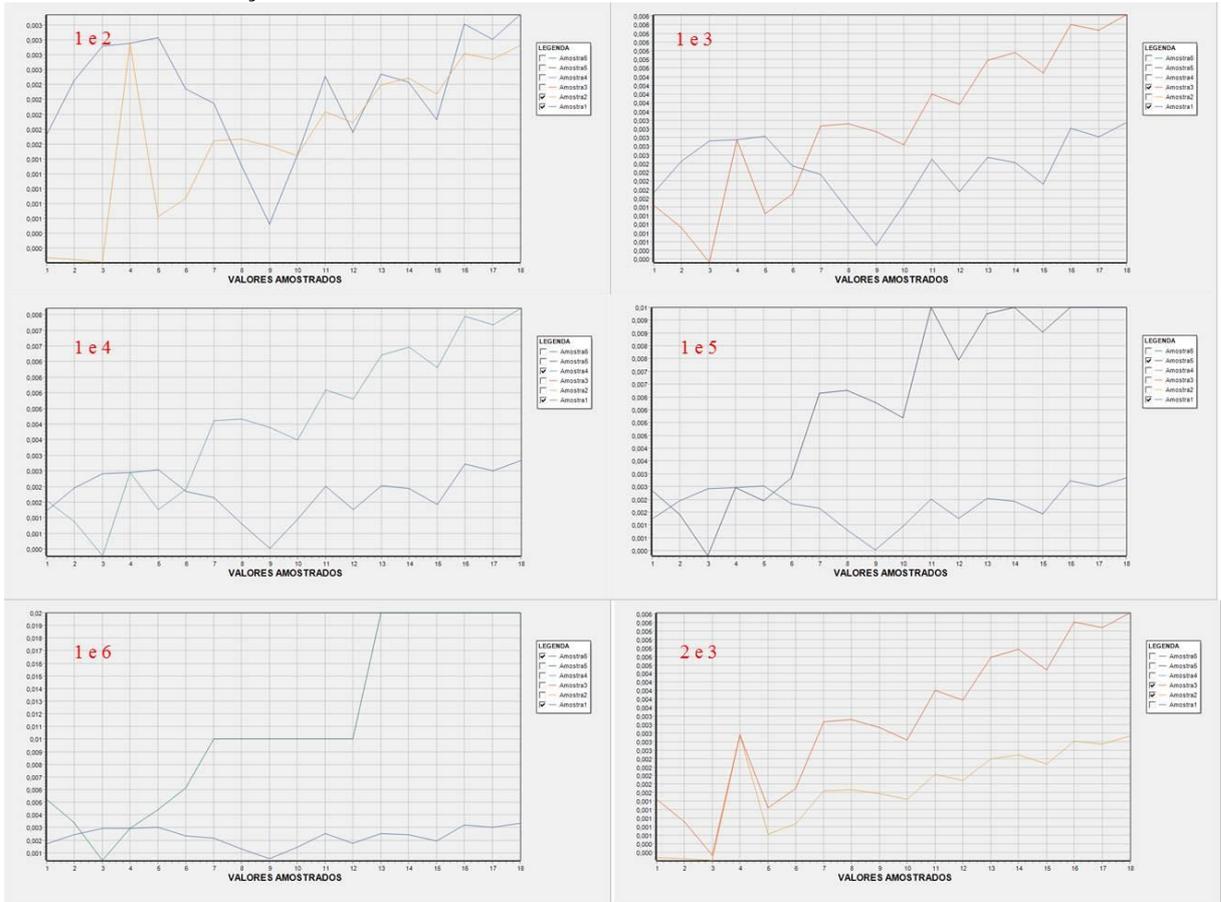
Figura 22 - Representação gráfica das discrepâncias entre as variâncias das amostras das campanhas de medição - Pino de superfície semiesférica. Unidade em centésimo de milímetro do eixo vertical.

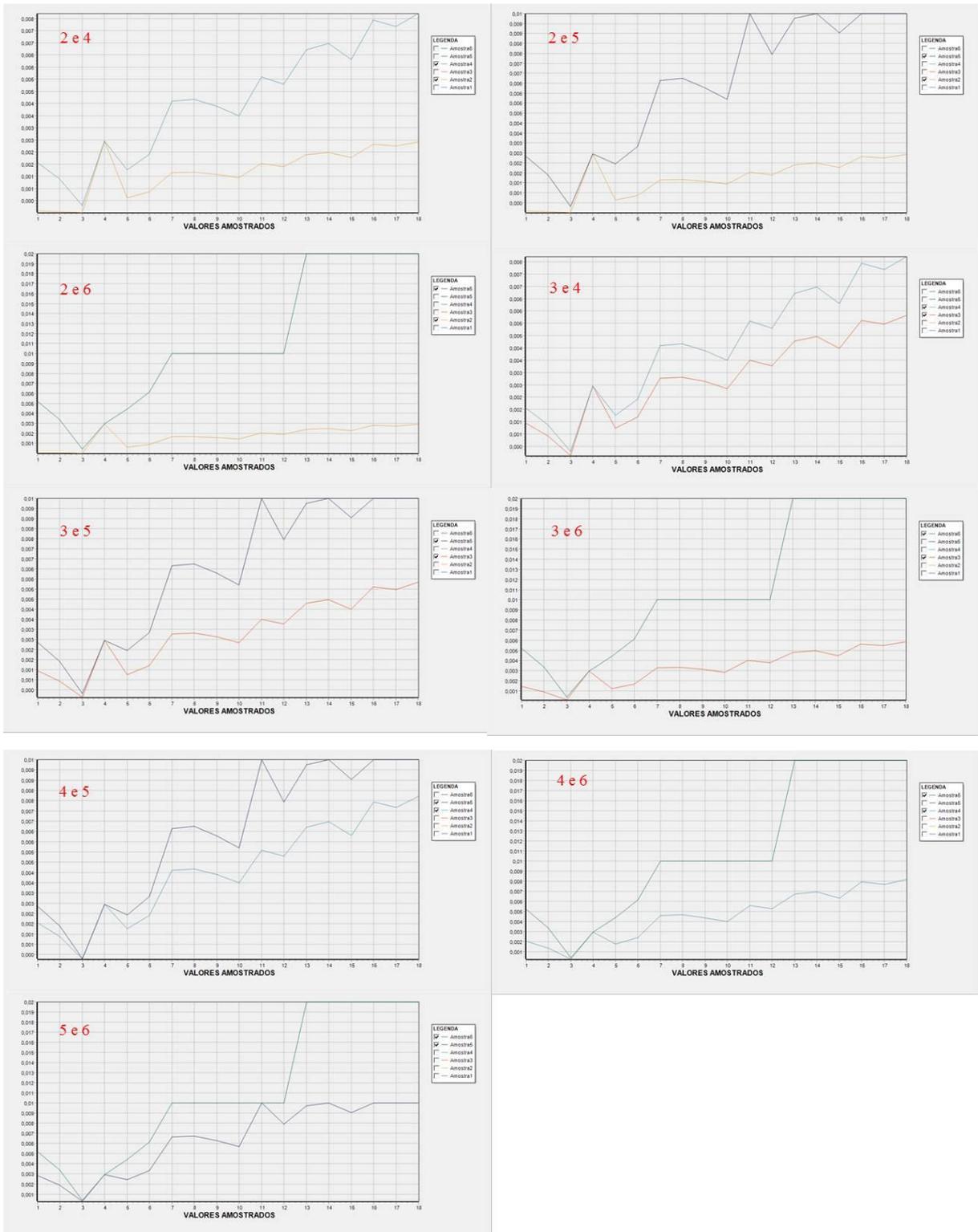




Fonte: AstGeotop (2012).

/Figura 23 - Representação gráfica das discrepâncias entre as variâncias das amostras das campanhas de medição - Parafusos. Unidade em centésimo de milímetro do eixo vertical.





Fonte: AstGeotop (2012).

As campanhas de medição ocorreram em intervalos de tempo distintos (Quadro 4).

Quadro 4 – Intervalos de tempo entre as medições

Campanhas de Medição	Intervalos de tempo entre as campanhas de medição (dias)
1_2	85
2_3	105
3_4	7
4_5	197
5_6	7

Entre a primeira e a segunda campanha, tem-se um intervalo de tempo 85 dias; entre a segunda e terceira, tem-se um intervalo de tempo 105 dias; entre a terceira e quarta tem-se um intervalo de tempo de 7 dias; entre quarta e quinta campanha tem-se um intervalo de tempo de 197 dias e entre a quinta e sexta campanha tem-se um intervalo de tempo de 7 dias.

#### 5.4.3.4 Análise das discrepâncias entre os desníveis ajustados pelo MMQ – modelo paramétrico.

A seguir é apresentada as diferenças encontradas a partir da análise das observações ajustadas pelo MMQ- modelo paramétrico das seis campanhas de medição com relação aos pinos de superfícies semiesféricas e parafusos.

Portanto, fixadas as observações ajustadas da primeira campanha de medição (Tabela 16), as seguintes discrepâncias entre as demais campanhas de medição (Tabelas 23, 28, 33, 38 e 42 ) foram verificadas. As Tabelas 54 e 55 apresentam as respectivas discrepâncias entre as observações ajustadas (desníveis).

Tabela 54 – Discrepâncias entre as observações ajustadas (desníveis). Medição (Med).

Observações	Pinos de superfícies semiesféricas				
	Med (1 e 2) (m)	Med (1 e 3) (m)	Med (1 e 4) (m)	Med (1 e 5) (m)	Med (1 e 6) (m)
$l_1^a$	0,00085	0,00000	0,00040	0,00195	0,00257
$l_3^a$	-0,00060	-0,00016	-0,00039	-0,00120	-0,00141
$l_5^a$	-0,00117	-0,00106	-0,00087	-0,00194	-0,00209
$l_7^a$	-0,00003	0,00006	-0,00011	0,00003	-0,00006
$l_8^a$	-0,00175	0,00008	-0,00042	-0,00441	-0,00491
$l_{10}^a$	0,00061	0,00072	-0,00008	0,00150	0,00162
$l_{12}^a$	-0,00182	0,00033	0,00004	-0,00513	-0,00590
$l_{14}^a$	-0,00143	0,00383	0,00255	-0,00241	-0,00308
$l_{15}^a$	-0,00335	0,00287	0,00216	-0,00665	-0,00734
$l_{16}^a$	0,00002	0,00091	0,00070	-0,00081	-0,00090
$l_{17}^a$	0,00094	0,00039	0,00012	0,00188	0,00184
$l_{18}^a$	0,00216	-0,00321	-0,00288	0,00350	0,00432
$l_{20}^a$	-0,00119	-0,00034	-0,00072	-	-0,00302
$l_{22}^a$	-0,00071	0,00032	0,00037	-	-0,00335
$l_{24}^a$	0,00048	0,00066	0,00109	0,00007	-0,00033
$l_{26}^a$	0,00120	0,00139	0,00085	-0,00210	-0,00205
$l_{28}^a$	-0,00133	-0,00233	-0,00184	-0,00084	-0,00242
$l_{30}^a$	-0,00069	-0,00250	-0,00337	-0,00262	-0,00235
$l_{32}^a$	0,00104	0,00220	0,00210	0,00068	-0,00085
$l_{33}^a$	0,00016	-0,00164	-0,00199	0,00046	0,00088
$l_{35}^a$	0,00083	0,00132	0,00122	0,00232	0,00195
$l_{37}^a$	0,00008	0,00121	0,00129	0,00219	0,00221
$l_{38}^a$	0,00007	0,00167	0,00114	0,00142	0,00092
$l_{40}^a$	-0,00001	0,00045	-0,00015	-0,00077	-0,00129

Na Tabela 54 a linha  $l_{15}^a$ , entre RN05 e RN04 (Figura 14), dos desníveis ajustados, apresenta a maiores discrepâncias, sendo a sexta campanha de medição a que apresentou a maior diferença com relação a primeira campanha de medição (-0,00734 m). E a linha  $l_7^a$ , entre CTG01 e CTG02 (Figura 14), dos desníveis ajustados é a que apresentou as menores discrepâncias, menores e iguais em módulo a 0,00011 m.

Tabela 55 - Discrepâncias entre as observações ajustadas (desníveis). Medição (Med)

Observações	Parafusos				
	Med (1 e 2) (m)	Med (1 e 3) (m)	Med (1 e 4) (m)	Med (1 e 5) (m)	Med (1 e 6) (m)
$l_2^a$	0,00085	-0,00001	0,00029	0,00173	0,00247
$l_4^a$	0,00052	-0,00093	-0,00083	-0,00184	-0,00211
$l_6^a$	-0,00198	-0,00184	-0,00151	-0,00269	-0,00297
$l_7^a$	-0,00002	0,00006	-0,00011	0,00003	-0,00006
$l_9^a$	-0,00130	0,00061	0,00018	-0,00381	-0,00433
$l_{11}^a$	0,00140	0,00119	0,00058	0,00201	0,00226
$l_{13}^a$	-0,00187	0,00040	0,00019	-0,00493	-0,00578
$l_{14}^a$	-0,00140	0,00384	0,00248	-0,00239	-0,00309
$l_{15}^a$	-0,00341	0,00285	0,00208	-0,00671	-0,00736
$l_{16}^a$	0,00004	0,00097	0,00074	-0,00076	-0,00088
$l_{17}^a$	0,00095	0,00041	0,00013	0,00189	0,00183
$l_{19}^a$	0,00197	-0,00346	-0,00307	-0,01579	0,00399
$l_{21}^a$	-0,00144	-0,00060	-0,00099	-	-0,00336
$l_{23}^a$	-0,00058	0,00029	0,00042	-	-0,00335
$l_{25}^a$	0,00086	0,00089	0,00142	0,00044	0,00002
$l_{27}^a$	0,00134	0,00163	0,00122	-0,00179	-0,00158
$l_{29}^a$	-0,00085	-0,00209	-0,00153	-0,00054	-0,00215
$l_{31}^a$	-0,00035	-0,00206	-0,00295	-0,00222	-0,00194
$l_{32}^a$	0,00097	0,00209	0,00210	0,00058	-0,00086
$l_{34}^a$	0,00034	-0,00138	-0,00183	0,00076	0,00103
$l_{36}^a$	0,00095	0,00145	0,00129	0,00248	0,00208
$l_{37}^a$	0,00012	0,00116	0,00134	0,00220	0,00224
$l_{39}^a$	0,00038	0,00193	0,00152	0,00171	0,00135
$l_{41}^a$	0,00025	0,00076	0,00017	-0,00050	-0,00090

Na Tabela 55 a linha  $l_{15}^a$ , entre RN05 e RN04 (Figura 14), dos desníveis ajustados, apresenta a maiores discrepâncias, sendo a sexta campanha de medição a que apresentou a maior diferença com relação a primeira campanha de medição (-0,00736 m). E a linha  $l_7^a$ , entre CTG01 e CTG02 (Figura 14), dos desníveis ajustados é a que apresentou as menores discrepâncias, menores e iguais em módulo a 0,00011 m.

#### 5.4.3.5 Análise temporal da variação das altitudes ajustadas

As Tabelas 56 e 57 apresentam as discrepâncias entre as altitudes ajustadas pelo MMQ – modelo paramétrico (Estruturas que compõem a RRC em relação aos pinos de superfícies semiesféricas e parafusos). Análises realizadas a partir das Tabelas 17, 24, 29, 34, 39 e 43.

**Tabela 56** - Discrepâncias entre as altitudes ajustadas da Rede Altimétrica do Campus Recife da UFPE (Pinos de superfícies semiesféricas). Medição (Med).

Referência de Nível	Med 01 x Med 02 (m)	Med 01 x Med 03 (m)	Med 01 x Med 04 (m)	Med 01 x Med 05 (m)	Med 01 x Med 06 (m)
RNEPS04	0,00058	0,00101	0,00042	0,00082	0,00067
RNEPS07	0,00119	0,00117	0,00081	0,00202	0,00208
CTG02	0,00001	0,00010	0,00007	0,00007	-0,00002
RNEPS06	0,00179	-0,00004	0,00046	0,00445	0,00495
RN-D	0,00241	0,00068	0,00038	0,00595	0,00657
RN04	0,00383	-0,00315	-0,00216	0,00836	0,00965
RN05	0,00048	-0,00028	-0,00001	0,00170	0,00230
RN3641-B	0,00050	0,00063	0,00070	0,00089	0,00140
RN3641-A	0,00144	0,00102	0,00082	0,00277	0,00324
RNEPS05	0,00167	0,00006	0,00072	0,00486	0,00532
RNEPS03	0,00096	0,00038	0,00109	0,00177	0,00197
RN06	-0,00024	-0,00101	0,00024	0,00387	0,00403
RNEPS01	0,00109	0,00132	0,00208	0,00471	0,00644
RN07	0,00040	-0,00118	-0,00128	0,00209	0,00409
RNEPS02	0,00024	0,00046	0,00071	0,00163	0,00320
RN10	0,00108	0,00177	0,00193	0,00394	0,00515
RN3640-X	0,00116	0,00298	0,00322	0,00613	0,00736

Na Tabela 56 ver-se que a RN04 apresenta as maiores discrepâncias entre as altitudes ajustadas. Onde a campanha de medição 06 apresenta a maior discrepância quando comparada com a primeira campanha de medição (0,00965 m). A menores discrepâncias verifica-se para RN CTG02 com diferença inferior e igual a 0,00010 m.

Tabela 57 - Altitudes Ajustadas das estruturas que compõem a Rede Altimétrica do Campus Recife da UFPE (Parafusos). Medição (Med).

Referência de Nível	Med 01 x Med 02 (m)	Med 01 x Med 03 (m)	Med 01 x Med 04 (m)	Med 01 x Med 05 (m)	Med 01 x Med 06 (m)
P-EPS04	0,00087	0,00102	0,00063	0,00093	0,00084
P-EPS07	0,00200	0,00194	0,00145	0,00276	0,00295
CTG02	0,00002	0,00010	-0,00007	0,00007	-0,00002
P-EPS06	0,00134	-0,00057	-0,00014	0,00385	0,00437
RN-D	0,00275	0,00061	0,00044	0,00586	0,00663
RN04	0,00415	-0,00323	-0,00204	0,00824	0,00971
RN05	0,00073	-0,00037	0,00004	0,00153	0,00236
RN3641-B	0,00078	0,00060	0,00078	0,00077	0,00148
RN3641-A	0,00173	0,00101	0,00091	0,00266	0,00331
P-EPS05	0,00218	0,00023	0,00103	0,02403	0,00572
P-EPS03	0,00161	0,00053	0,00147	0,00198	0,00238
RN06	0,00027	-0,00110	0,00025	0,00377	0,00397
P-EPS01	0,00112	0,00098	0,00178	0,00430	0,00612
RN07	0,00075	-0,00109	-0,00118	0,00208	0,00417
P-EPS02	0,00041	0,00029	0,00065	0,00131	0,00313
RN10	0,00137	0,00175	0,00195	0,00381	0,00522
RN3640-X	0,00149	0,00291	0,00329	0,00600	0,00746

Na Tabela 57 ver-se que a RN04 apresenta as maiores discrepâncias entre as altitudes ajustadas. Onde a campanha de medição 06 apresenta a maior discrepância quando comparada com a primeira campanha de medição (0,00971 m). A menores discrepâncias verifica-se para RN CTG02 com diferença inferior e igual a 0,00010 m.

Além disso, nas Tabelas 58 e 59 podem ser verificadas as altitudes ajustadas em relação a cada RN densificada no Campus Recife da UFPE. As Tabelas apresentam a menor altitude ajustada, maior altitude ajustada e suas respectivas amplitudes com relação as campanhas de medição realizadas nesta Dissertação.

Tabela 58 – Análise das amplitudes das Altitudes ajustadas das RRNN (Pinos de superfícies semiesféricas)

Referência de Nível	Menor Altitude ajustada (m)	Maior altitude ajustada (m)	Amplitude (m)
RNEPS04	9,13385 ±0,00013	9,13486 ±0,00011	0,00101
RNEPS07	8,82464 ±0,00016	8,82672 ±0,00013	0,00208
CTG02	9,77053 ±0,00004	9,77070 ±0,00006	0,00017
RNEPS06	8,79752 ±0,00018	8,80251 ±0,00012	0,00499
RN-D	9,08065 ±0,00021	9,08722 ±0,00012	0,00657
RN04	8,06134 ±0,00029	8,07414 ±0,00019	0,01280
RN05	8,77056 ±0,00030	8,77314 ±0,00019	0,00258
RN3641-B	8,90346 ±0,00029	8,90486 ±0,00006	0,00140
RN3641-A	11,06056 ±0,00027	11,06380 ±0,09000	0,00324
RNEPS05	7,30092 ±0,00032	7,30624 ±0,00013	0,00532
RNEPS03	9,41885 ±0,00032	9,42082 ±0,00011	0,00197
RN06	8,35709 ±0,00036	8,36213 ±0,00023	0,00504
RNEPS01	6,96400 ±0,00036	6,97044 ±0,00013	0,00644
RN07	8,86906 ±0,00035	8,87443 ±0,00027	0,00537
RNEPS02	8,53359 ±0,00039	8,53679 ±0,00014	0,00320
RN10	9,04610 ±0,00038	9,05125 ±0,00014	0,00515
RN3640-X	9,77749 ±0,00039	9,78485 ±0,00015	0,00736

A Tabela 58 apresenta que, a maior amplitude das altitudes ajustadas é verificada para a RN04 (0,01280 m) e a menor para RN CTG02 (0,00017 m).

Tabela 59 - Análise das amplitudes das Altitudes ajustadas das RRNN (Parafusos)

Referência de Nível	Menor Altitude ajustada (m)	Maior altitude ajustada (m)	Amplitude (m)
P-EPS04	9,28143 ±0,00012	9,28245 ±0,00013	0,00102
P-EPS07	8,94767 ±0,00018	8,95062 ±0,00016	0,00295
CTG02	9,77053 ±0,00004	9,77070 ±0,00006	0,00017
P-EPS06	8,91607 ±0,00021	8,92101 ±0,00011	0,00494
RN-D	9,08058 ±0,00025	9,08721 ±0,00015	0,00663
RN04	8,06127 ±0,00034	8,07421 ±0,00018	0,01294
RN05	8,77045 ±0,00035	8,77318 ±0,00018	0,00273
RN3641B	8,90337 ±0,00034	8,90485 ±0,00007	0,00148
RN3641A	11,06049 ±0,00032	11,06380 ±0,09000	0,00331
P-EPS05	7,38314 ±0,00033	7,40717 ±0,00016	0,02403
P-EPS03	9,54106 ±0,00037	9,54344 ±0,00013	0,00238
RN06	8,35715 ±0,00042	8,36222 ±0,00022	0,00507
P-EPS01	7,09135 ±0,00043	7,09747 ±0,00016	0,00612
RN07	8,86904 ±0,00041	8,87439 ±0,00025	0,00535
P-EPS02	8,63812 ±0,00045	8,64125 ±0,00018	0,00313
RN10	9,04602 ±0,00045	9,05124 ±0,00017	0,00522
RN3640X	9,77742 ±0,00046	9,78488 ±0,00018	0,00746

A Tabela 59 apresenta que, a maior amplitude das altitudes ajustadas é verificada para a RN04 (0,01294 m) e a menor para RN CTG02 (0,00017 m).

## 6 CONCLUSÕES

O controle e análise de qualidade de referências de nível para o monitoramento de estruturas geodésicas altimétricas e estabelecimento de padrões de referências metrológica, são importantes, pois diversos estudos como: o monitoramento vertical de estruturas da engenharia, densificação de RRA, estudos de subsidências na superfície terrestre, entre outros (Capítulo 1), são dependentes da confiabilidade destas RRNN.

Por isso, os procedimentos metodológicos para o cumprimento desta Dissertação considerou equipamentos e métodos com alta exatidão e precisão. Desta forma, antes do uso do equipamento de nível para as campanhas de medição, este foi verificado e calibrado, apresentando resultados satisfatórios (cf. item 5.4.1). Pelo método simples de calibração (ISO 17123-2, 2001) realizado em duas épocas distintas, conforme a Tabela 1, a diferença ( $\bar{D}_1 - \bar{D}_2$ ) obtida entre as amostras do dia 31 de outubro de 2015 e 07 de novembro 2016 foi de (-0,000218 m e -0,000005 m), com um desvio padrão (0,000127 m e 0,000043 m) respectivamente. Pelo método completo realizado no dia 30 de novembro de 2016, o desvio padrão foi de 0,000136 m, sendo portanto, menor que o valor atribuído ao teste estatístico realizado  $1,19 \times \sigma$  igual á 0,000357 m e pelo método Kukkamäki utilizando os comandos embutidos no nível, os erros de colimação verificados e/ou ajustados, antes do início de cada campanha de medição foram em módulo inferiores e iguais a 0,00007 m.

Procurou-se isentar os dados levantados de possíveis erros grosseiros e sistemáticos, isto possível a partir de uma sequência de procedimentos, desde a coleta até a organização dos dados em softwares específicos. Além disso, foi aplicado métodos de análise e métodos estatísticos para verificar possíveis incoerências nos dados coletados (cf. item 5.4.2.1).

A obstrução das estruturas da RAAP é frequente. Isto pode ser comprovado a partir dos relatórios do banco de dados geodésicos do IBGE. Nestes relatórios, têm-se informações do provável estado dessas estruturas. Mas, estas informações podem estar incoerentes com o estado atual, havendo a necessidade de ir in loco para uma real confirmação. Além disso, as informações constantes no banco de dados geodésicos do IBGE, podem apresentar discrepâncias devido ao reajustamento geral da rede de RRNN, exigindo sempre um controle altimétrico, quando são considerados os casos de levantamentos e aplicações para a Engenharia.

As estruturas de referências altimétricas do IBGE analisadas nas 6 épocas de medição pelas variâncias das altitudes ajustadas pelo MMQ e com os dados obtidos nesta

Dissertação não mostraram diferenças significativas com o nível de confiança de 95% . Entretanto, quando as informações dessas estruturas, obtidas nas seis campanhas realizadas, foram comparadas com os dados oficiais fornecidos nos relatórios da RAAP do IBGE (IBGE, 2014; IBGE, 2016), verificaram-se discrepâncias significativas, inferiores e iguais para a RN 3641B de 0,0016 m e para a RN 3640X de 0,0549 m.

Portanto, o resultado da análise entre as altitudes ajustadas e as informações das altitudes conforme a RAAP do IBGE, demonstrou que, dentre as RRNN analisadas, não se aconselha o uso da RN 3640X, simplesmente por sua altitude, não estar em conformidade com as demais.

Em consonância a essa realidade os resultados obtidos nesta Dissertação, demonstram que as estruturas de referências altimétricas da RAAP (IBGE, 2016) não podem ser consideradas estáveis, antes que esta condição seja verificada.

Após a análise da qualidade da RAAP do IBGE a RN 3641A foi escolhida com referência de nível padrão para a primeira campanha medição RRA do Campus Recife da UFPE.

No Campus Recife da UFPE foram densificadas 22 estruturas de referências altimétricas denominadas de RNEPS01, RNEPS02, RNEPS03, RNEPS04, RNEPS05, RNEPS06, RNEPS07, P-EPS01, P-EPS02, P-EPS03, P-EPS04, P-EPS05, P-EPS06, P-EPS07, CTG01 e CTG02, RND, RN04, RN05, RN06, RN07 e RN10 (cf. item 5.1). Estas estruturas foram medidas em seis campanhas de medição. O intervalo de tempo entre a primeira e a segunda foi de 85 dias; entre a segunda e terceira foi de 105 dias; entre a terceira e quarta foi de 7 dias; entre quarta e quinta foi de 197 dias e entre a quinta e sexta foi de 7 dias, totalizando entre a primeira e sexta campanha de medição 401 dias.

A partir da segunda campanha de medição a RN CTG01 foi definida como referência altimétrica para as demais campanhas.

Para o controle e a análise da qualidade realizadas nas seis campanhas de medição, verifica-se que as observações ajustadas, os resíduos ajustados e as altitudes ajustadas resultaram em valores condizentes aos métodos de processamento aplicados (Método proporcional à distancia, MMQ: modelo paramétrico e teste estatístico) ( cf. itens 5.4.2.3, 5.4.2.4, 5.4.2.5, 5.4.2.6, 5.4.2.7, 5.4.2.8). Nas análises de variância das altitudes ajustadas, verificam-se que, entre as amostras (campanhas de medição) testadas, ocorreram diferenças (cf. item 5.4.3.1). Sendo a quinta e sexta campanha de medição, as que apresentaram maiores diferenças de acordo com o teste Scheffé e Tukey, nível de significância de 5% (cf. item 5.4.3.2).

Para o monitoramento das estruturas geodésicas altimétricas e estabelecimento de padrões de referência metrológica foram realizados a partir dos resultados obtidos com as seis campanhas de medição: a análise de variâncias das altitudes ajustadas; aplicação dos testes Scheffé e Tukey para identificar as amostras diferentes ao nível de confiança de 95%; apresentação de gráficos das variâncias das altitudes ajustadas; finalizando-se com uma análise temporal da variação das observações ajustadas e das altitudes ajustadas (cf. item 5.4.3).

Nas análises de variância e aplicações dos testes Scheffé e Tukey, verifica-se que as amostras da campanha de medição 5 e as amostras da campanha de medição 06 foram a que apresentaram maiores índices de diferença em relação as demais épocas analisadas. Ressalta-se que a campanha de medição 05 apresentou problemas, discutidos anteriormente e devido a isso, aconselha-se desconsiderar os resultados obtidos por esta campanha.

A partir da análise temporal sobre os desníveis ajustados e altitudes ajustadas (cf. itens ). A linha  $15^a$ , entre RN05 e RN04 e a linha  $7^a$ , entre CTG01 e CTG02 (Figura 18 ), apresentam respectivamente as maiores e menores discrepâncias para os desníveis ajustados (linhas de nivelamento) em relação a rede altimétrica considerando os pinos de superfícies semiesféricas e os parafusos ( cf. item 5.4.3.4 e Tabelas 54 e 55 ). Para as altitudes ajustadas verificaram-se que a RN04 e RN CTG02 apresentaram respectivamente as maiores e menores amplitudes para ambas as redes ( pinos de superfícies semiesféricas e parafusos) (cf. item 5.4.3.5 e Tabelas 56, 57, 58 e 59).

A proposta levantada nesta Dissertação para o monitoramento de estruturas geodésicas altimétricas e estabelecimento de padrões de referência metrológica foi realizada. Conclui-se que algumas estruturas da RRA demonstraram através dos dados analisados instabilidade.

## 6.1 RECOMENDAÇÕES

Ressalta-se a importância da RRA implanta no Campus Recife da UFPE.

Recomenda-se a continuidade do monitoramento. A injeção da RAAP considerando a precisão fornecida pelo IBGE. A aplicação do filtro de Kalman para a análise da estabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT: NBR-13133. **Normas Técnicas para a Execução de Levantamentos Topográficos.** 1994.

ALENCAR, J.C.M. **Sistema Nacional Nivelamento de 1ª ordem.** Fundação IBGE Instituto Brasileiro de Geografia Divisão de Geodésia e Topografia, 1968.

ALENCAR, J.C.M. **Datum Altimétrico Brasileiro.** Fundação IBGE Instituto Brasileiro de Geografia Divisão de Geodésia e Topografia. Separata de Cadernos de Geociências, no 5, IBGE, Rio de Janeiro, 1990.

ALGARVE, UNIVERSIDADE DO ALGARVE. **Nivelamento Geométrico – Cálculo.** Escola Superior de Tecnologia: Disciplina Topografia II 1º ano – Engenharia Topográfica, Portugal, 2004.

ANDOLFATO, S. H. D. **Sistema de automação de níveis digitais** / Silvio Henrique Dellesposte Andolfato. -Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ANDERSON, J. M. & MIKHAIL, E. M. (2000). **Surveying: theory and Practice**, 8 th ed., McGraw – Hill. New York.

BARBOSA, L.G. **Propostas para Unificação do Sistema Altimétrico da Grande São Paulo.** São Paulo, 1996. Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

BLITZKOW, D.; CANCORO DE MATOS, A. C.; LOBIANCO, M. C. B. **Data Collecting and Processing for Quasi-Geoid Determination in Brazil.** In: Vertical Reference Systems (IAG Symposia, vol. 124). Springer, Ed. H. Drewes et al., ISBN 3-540-43011-3, p. 148-151, 2002.

BLITZKOW, D.; CAMPOS, I. O.; FREITAS, S. R. C. **Altitude: o que Interessa e como Equacionar.** Anais do I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, Recife, 2004.

BLITZKOW, D. **Sistemas altimétricos e determinação do geóide.** EPUSP – PTR – LTG, 2004.

BOMFORD, G. Geodesy. **Oxford** : University Press, 4. ed., 1983.

BRUM, E. V. P. **Verificação e classificação de níveis de acordo com normas internacionais.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Centro de Ciências da Terra, Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, PR, 2005.

CAVALCANTI, R. M. S. **Indicadores Geomorfológicos, Riscos e o Planejamento Urbano: uma apreciação teórico integradora para a cidade do Recife - PE /** Roberta Medeiros de Souza Cavalcanti. – Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2012.

CARDOSO, P. J. C. **Determinação Controlada de Deslocamento Verticais de Pontos com Linha de Base GPS de 425 Metros de Extensão.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação de Ciência Geodésica e Tecnologia da Geoinformação – UFPE, 2005.

CAMARGO P. O. **Controle de qualidade aplicado ao filtro de Kalman,** Curitiba, 1992. 94p. Dissertação (Mestrado) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.  
CASTRO, A. L.P. **Nivelamento Através do GPS: Avaliação e Proposição de Estratégia.** Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós Graduação em Ciência Cartográfica da Faculdade de Ciência e Tecnologia UNESP. 2002. 33p.

CORRÊA, C. P. **Metodologia para Controle de Recalques em Estruturas de Concreto Armado por Meio de Nivelamento Geométrico de Precisão** Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2012.

DALAZOANA, R. **Implicações na Cartografia com a Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e Futura Adoção do Sirgas.** Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de mestre em Ciências Geodésicas, curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas UFPR. Curitiba: 2001.

DALAZOANA, R.. **Estudos Dirigidos à Análise Temporal do Datum Vertical Brasileiro.** Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), CPGCG, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

FILIPIAK-KOWSZYK D, KAMIŃSKI W., PRZYBORSKI M., POLAND. **Accuracy Analysis of Determination the Vertical Displacements in Unstable Reference System.** FIG Working Week 2015 From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World Sofia, Bulgaria, 17-21 May 2015.

DALMOLIN, Q. **Ajustamento por mínimos quadrados**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. Curso de pós-graduação em Ciências Geodésicas. Editora da UFPR, Curitiba, 2004.

DEUMLICH, F. **Surveying Instruments**. Walter de Gruyter, Berlin, 1982.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia** / Lélis Espartel. – ed. 9 – Rio de Janeiro: Globo, 1987.

FAGGION, P. L. **Considerações sobre a instrumentação topográfica**. Notas de Aula: Disciplina de Levantamentos, Universidade Federal do Paraná Setor de Ciências da Terra Departamento de Geomática, 2011.

FARRET, J. C.; MORAES, C. V.; SCHÜNEMANN, A. L.; SANTOS, R. S. **Uma Matriz dos Pesos Alternativa para o Ajustamento dos Nivelamentos Diretos**. Boletim Ciências Geodésicas, sec. Artigos, Curitiba, v. 12, no 1, p.65-86, jan-jun, 2006.

FRASER, C. S. **Least-squares & Network Analysis**. Class Notes. University of Melbourne. Australia, 2003.

FREITAS, S. R. C.; BLITZKOW, D. **Altitudes e Geopotencial**. in: bulletin n.9, International Geoid Service (special issue for south america). iges, Milano, 1999.ed. F. Sansò et al., issn 1128-3955, p. 47-61.

FREITAS, S. R. C.; MEDINA, A. S.; LIMA, S. R. S. (2002). **Associated Problems to Link South American Vertical Networks and Possible Approaches to Face Them**. In: Vertical Reference Systems (IAG Symposia, vol. 124). Springer, Ed. H.

GARNÉS, S. J. A. **AstGeoTop. Software**. Recife-PE: Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco. Compilação nov. 2016.

GARNÉS, S. J. A. **AstGeoTop: Análise Estatística**. 2012.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319p.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L.; WANDRESEN, R. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. 2 ed. – Curitiba : ed. UFPR, 2015.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Geomática** / Charles D. Ghilani, Paul R.Wolf; Tradução Daniel Vieira; revisão técnica Alessandro Salles Carvalho – São Paulo: Pearson education do Brasil, 2013. Title original: Elementary Surveying : an Introduction to Geomatics. 13 ed. Norte Americana.

GHILANI, C. D; WOLF, P. R. **Elementary Surveying : an Introduction to Geomatics** / Charles D. Ghilani, Paul R.Wolf.— 13th ed. p. cm. isbn-13, 2012.

GOMES, F. P. **Curso e Estatística Experimental**. Escola Superior de Agricultura, Luis de Queiroz – SP, 1990, 24-30p.

GOOGLE EARTH. **Versão 7.1.7.2606**. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-br/earth/> (2016)..

HARPER, D. A. T. **Numerical Palaeobiology. Computer-Based Modelling and Analysis of Fossils and their Distributions**. X+468 pp. Chichester, New York, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto: John Wiley & Sons. Price £65.00 (hard covers). ISBN 0 471 97405 6. (Ed. 1999).

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; P. D. RYAN. **PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis**. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp (2001).

HERNÁNDEZ, J. N.; BLITZKOW, D.; LUZ, R.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P.; DREWES, H. **Connection of the Vertical Control Networks of Venezuela, Brazil and Colombia**. In: DREWES, H. et al. (Ed.). *Vertical Reference Systems*. Berlin: Springer, 2002. p. 324-327. x, 353 p. (IAG Symposia, v. 124).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Norma de Serviço número 001/2008 de 01/09/2008 -

Padronização de Marcos Geodésicos - agosto 2008

Disponível: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default\\_normas.shtm?c=14](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_normas.shtm?c=14).

Acesso em: 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default.shtm>. Acesso em: 2016.

IBGE. Resolução - PR nº 22, de 21-07-83 - **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos, 1983** – [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) (acessado em 02/07/2011).

IBGE. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos: Coletâneas das Normas Vigentes**. Rio de Janeiro. IBGE/ Departamento de Geodésia. 1998<sup>a</sup>. 74p.

IHDE, J., 2007. **Realization of a Global Vertical Reference System 2007**. In: **Proceedings of the 1st IGFS Symposium Gravity Field of the Earth**. 28 August – 1 September 2006, Istanbul, Harita Dergisi, Special Issue 18, 2007.

INGENSAND, H. **The Wild NA2000, the first digital level in the world**. AVN 6, June 1999, pp.201-210.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDISATION. **ISO 17123: Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments – Part 2: Levels**. Geneva, 2001.

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

JEN-YU HAN, M. ASCE; CHEINWAY HWANG; JUN-YUN CHOU; WEI-CHIA HUNG. **Time-Variant Adjustment for a Level Network**. doi:10.1061/(asce)su.1943-5428.0000128. © 2014 american society of civil engineers.

KAHMEN, H. **Angewandete Geodaesie. Vermessungskunde**. 20. Aufl., 2006.

KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Berlin: ed. De Gruyter, 1988.

KAVOURAS, M. **On the Detection of Outliers and the Determination of Reliability in Geodetic Networks**. 1982. m.sc.e. Thesis – Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, Canada, 1982.

JARSON, H. J. **Introduction to Probability Theory and Statistical Inference**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1974. 430p.

LEICA. **Manual do utilizador Leica DNA 03/DNA 10**. Versão 2.0 – português, 2002.

LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. Realidade e Perspectivas da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro. in: Anais do II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (cd-rom), Curitiba, pr, 2001.

LUZ, R.T.; FREITAS, S. R.C.; DALAZOANA, R.; MIRANDA, F. A.; PALMIRO, A. S.; JAMUR, K. P. **Possibilidades de Integração de Dados Gravimétricos á Rede Altimétrica do SGB para Cálculo de Altitudes SIRGAS no Brasil**. Trabalho apresentado no I SIMGEO. Recife. 2004.

LUZ, R. T. **Estratégias para modernização da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e sua integração ao SIRGAS**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, apresentada ao Curso de PósGraduação em Ciências Geodésicas, 2006.

LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C.; PINHEIRO, R. R.; GOLDANI, D.; SANTOS, C. C. C.; DIMAIO PEREIRA, N. R.; SUBIZA PIÑA, W. H. **Avaliação das realizações da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro**. 2007b. In: COLÓQUIO

BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 5., 2007, Presidente Prudente. Anais... Pres. Prudente: UNESP, 2007. 1 CD-ROM.

LUZ, R. T. **Cálculo de altitudes científicas e sua aplicação no reajustamento da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro**. R. Bras. Geogr., Rio de Janeiro, v. 61, n. 1, p. 79-97, jan./jun. 2016.

MANN, P. S. **Introdução à Estatística** / Prem s. Mann; tradução Benedito Curtolo, Tereza Cristina Padilha de Souza, 5 ed. ISBN 85-216-1506-x– Rio de Janeiro – Itc - 2006.

MATOS, A. C. O. C.; BLITZKOW, D.; GUIMARÃES, G. N.; LOBIANCO, M. C. B.; COSTA, S. M. C. **Validação do MAPGEO2010 e Comparação com Modelos do Geopotencial**. Recentes.Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 18, nº1, p.101-122, jan-mar, 2012.

MELLO, M. P. **Cinquenta anos do IBGE**. a Geodésia e a Cartografia (1936 – 1986). Revista Brasileira de Cartografia. P.62-67. n. 40. 1986.

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.

MIKHAIL, E. M.; GRACIE, G. **Analysis and Adjustment of Survey Measurements**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1981.

OLIVEIRA, R.; DALMOLIN, Q. **A Influência da Redundância da Observação Sobre a Precisão dos Parâmetros**. Boletim de Ciências Geodésicas, v.14, n 3, p. 295 – 315, 2008.

PALMEIRO, A. S. **Integração de Informações do SGB em um SIG, Visando a Realização do Sistema Vertical do Sirgas**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geomática, UFPR, 2007.

PEREIRA, K. D.; AUGUSTO, M. J. C. **O Sistema Geodésico Brasileiro e a Lei de Georreferenciamento de imóveis rurais**. <https://www.ufpe.br/cgtg/ISIMGEO/CD/>, 2004.

PLAG, H.P.; PEARLMAN, M. (EDS.) (2009): **Global Geodetic Observing System: Meeting the Requirements of a Global Society on a Changing Planet in 2020**, Springer Verlag, Doi 10.1007/978-3-642-02687-4\_3 (2009).

RADCLIFFE, D. Feature: **How digital levels work**. Professional Surveyor, Volume 19, Number 5, June 1999.

ROMÃO, V.M.C., **Notas de aulas**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2006.

SANTOS, S. M. dos. Investigações **Metodológicas sobre o monitoramento da subsidência do solo devido à extração de água subterrânea – Caso da Região Metropolitana de Recife**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil UFPE. Recife, 2005.

RÜEGGER, J.M., BRUNNER, F.K.: **On System Calibration and Type Testing of Digital Levels**. z. f. Vermessungswesen 125: 120–130 (2000).

SANTOS M. S. T.; SÁ, N.C. **O Uso do GPS em Levantamentos Geofísicos Terrestres**. Revista Brasileira de Geofísica (2006) 24(1): 63-80.

SEIXAS, A.; GAMA, L. F.; MORAES, J. N.; SOUZA, A. M. B. **Estabelecimento de Padrões de Referência Altimétrica Utilizando o Nivelamento Geométrico para a Definição de Alvos Altos e Inacessíveis**. Boletim de Ciência Geodésica, Curitiba, v.20, n°2, p.388-410, 2014.

SEIXAS. A. de; SEIXAS, J. R. de. **Controle e Monitoramento de Recalques - Edifício em Construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis - LITPEG CTG/UFPE**. Projeto de Pesquisa nº 3076.040512/2015-15 Propesq/UFPE, 2015.

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, Â. M. B. **Análise e Comparação de Estruturas Geodésicas Tridimensionais Definidas por Métodos Planialtimétricos de Medição**. Dissertação (mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

TEUNISSEN, P. J. G. **Testing Theory: An Introduction**. 2. ed. Delft: ed. vssd, 2006. 147p.

TORGE, WOLFGANG: **Geodesy** / Wolfgang Torge. - 3., completely rev. and extended ed. Berlin ; New York: de Gruyter, 2001 ISBN 3-11-017072-8

VEIGA, L. A. K. **Homogeneização de dados provenientes de diferentes níveis digitais.** In: Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática. São Paulo, 2002.

VILA FLOR, C. D. R. **Planejamento e Implantação de uma Rede de Referência Cadastral no Campus Recife da UFPE.** Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2010.

VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA (VIM): **Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados (VIM 2012).** Duque de Caxias, RJ : INMETRO, 2012.

ZIENKIEWICZ M. H. **Application of Msplit Estimation to Determine Control Points Displacements in Networks with Unstable Reference System. Received 6 January 2014; accepted 22 april 2014 doi 10.1179/174 survey review 2015 vol 47 no 342 1752270614y.0000000105.**

**APÊNDICES**

**APÊNDICE A:** Dados referentes à verificação e calibração do nível digital ISO 17123 parte 2 método simples

**APÊNDICE B:** Dados referentes à verificação e calibração do nível digital ISO 17123 parte 2 método simples

**APÊNDICE C:** Dados referentes à verificação e Calibração do nível digital - método Kukkamäki: comandos embutidos

**APÊNDICE D :** Erro de fechamento, distância e tolerância dos circuitos nivelados.

**APÊNDICE E:** Precisão dos circuitos nivelados

**APÊNDICE F:** Desníveis e distâncias niveladas das campanhas de medição realizadas em (Novembro de 2015(1), Janeiro de 2016(1), Maio de 2016 (2), Dezembro de 2016(2)).

**APÊNDICE A:** Dados referentes à verificação e calibração do nível digital ISO 17123 parte 2 método simples

Tabela A.1 - Calibração de Nível - ISO 17123-2 (2001), medições e resíduos (Método simples )

Operador do instrumento: Ermerson de Vasconcelos			Operador da Mira: Paulo e Raul			Supervisão: Andréa de Seixas					
Data do levantamento: 31 / 10 / 2015			Horário: 9:48 á 11:50			Tipo de instrumento: Nível Digital DNA03					
Calibração de Nível - ISO 17123-2											
Medições e Resíduos ( Método simples )											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
J	XAJ (m)	XDJ (m)	D <sub>1</sub> . j(m)	r <sub>j</sub> (m)	r <sub>j</sub> <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	J	XAJ (m)	XDJ (m)	D <sub>2</sub> .j (m)	r <sub>j</sub> (m)	r <sub>j</sub> <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )
1	1,33338	1,34986	-0,01648	0,00001	0,00000	11	1,36633	1,38318	-0,01685	0,00016	0,00000
2	1,35924	1,37580	-0,01656	0,00009	0,00000	12	1,35477	1,37138	-0,01661	-0,00008	0,00000
3	1,36468	1,38113	-0,01645	-0,00002	0,00000	13	1,35225	1,36889	-0,01664	-0,00005	0,00000
4	1,38379	1,39996	-0,01617	-0,00030	0,00000	14	1,34983	1,36654	-0,01671	0,00002	0,00000
5	1,37755	1,39414	-0,01659	0,00012	0,00000	15	1,34823	1,36486	-0,01663	-0,00006	0,00000
6	1,37508	1,39162	-0,01654	0,00007	0,00000	16	1,34219	1,35883	-0,01664	-0,00005	0,00000
7	1,36309	1,37969	-0,01660	0,00013	0,00000	17	1,36198	1,37849	-0,01651	-0,00018	0,00000
8	1,35512	1,37150	-0,01638	-0,00009	0,00000	18	1,38487	1,40158	-0,01671	0,00002	0,00000
9	1,35161	1,36812	-0,01651	0,00004	0,00000	19	1,41174	1,42839	-0,01665	-0,00004	0,00000
10	1,34907	1,36553	-0,01646	-0,00001	0,00000	20	1,43587	1,45284	-0,01697	0,00028	0,00000
Σ	<b>13,61261</b>	<b>13,77735</b>	<b>-0,16474</b>	<b>0,00000</b>	<b>0,00000</b>	Σ	<b>13,70806</b>	<b>13,87498</b>	<b>-0,16692</b>	<b>0,00000</b>	<b>0,00000</b>

Tabela A.2 - Calibração de Nível - ISO 17123-2 (2001), medições e resíduos (Método simples )

Operador do instrumento: Ermerson de Vasconcelos			Operador da Mira: Marcio Bezerra			Supervisão: Andréa de Seixas					
Data do levantamento: 07 / 11 / 2016			Horário: 16:10 á 17:24			Tipo de instrumento: Nível Digital DNA03					
Calibração de Nível - ISO 17123-2											
Medições e Resíduos ( Método simples )											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
J	XAJ (m)	XDJ (m)	D <sub>1</sub> . j(m)	r <sub>j</sub> (m)	r <sub>j</sub> <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	J	XAJ (m)	XDJ (m)	D <sub>2</sub> .j (m)	r <sub>j</sub> (m)	r <sub>j</sub> <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )
1	1,40700	1,42708	-0,02008	-0,00001	0,00000	11	1,42291	1,44299	-0,02008	0,00000	0,00000
2	1,40739	1,42745	-0,02006	-0,00003	0,00000	12	1,42278	1,44296	-0,02018	0,00010	0,00000
3	1,40773	1,42786	-0,02013	0,00004	0,00000	13	1,42291	1,44296	-0,02005	-0,00003	0,00000
4	1,40756	1,42774	-0,02018	0,00009	0,00000	14	1,42311	1,44310	-0,01999	-0,00009	0,00000
5	1,40800	1,42806	-0,02006	-0,00003	0,00000	15	1,42267	1,44270	-0,02003	-0,00005	0,00000
6	1,40839	1,42849	-0,02010	0,00001	0,00000	16	1,42234	1,44235	-0,02001	-0,00007	0,00000
7	1,40898	1,42906	-0,02008	-0,00001	0,00000	17	1,42303	1,44314	-0,02011	0,00003	0,00000
8	1,40910	1,42918	-0,02008	-0,00001	0,00000	18	1,42318	1,44336	-0,02018	0,00010	0,00000
9	1,40917	1,42927	-0,02010	0,00001	0,00000	19	1,42330	1,44339	-0,02009	0,00001	0,00000
10	1,40963	1,42965	-0,02002	-0,00007	0,00000	20	1,42332	1,44344	-0,02012	0,00004	0,00000
Σ	<b>14,08295</b>	<b>14,28384</b>	<b>-0,20089</b>	<b>0,00000</b>	<b>0,00000</b>	Σ	<b>14,22955</b>	<b>14,43039</b>	<b>-0,20084</b>	<b>0,00000</b>	<b>0,00000</b>

## APÊNDICE B: Dados referentes à verificação e calibração do nível digital ISO 17123 parte 2 método Completo

Tabela B.1 - Calibração de Níveis - ISO 17123-2 (2001), medições e resíduos ( Método Completo )

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação											
Operador do instrumento: Ermerson e Wellison			Mira: Wellison e Ermerson		Supervisão: Andréa de Seixas						
Data do levantamento:	30 / 11 / 2016	Clima : Ensolarado		Tipo de instrumento e número: DNA 03							
<b>Calibração de Níveis - ISO 17123-2</b>											
<b>Medições e Resíduos ( Método Completo )</b>											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
J	XAJ (m)	XDJ (m)	D <sub>1</sub> . j(m)	r <sub>j</sub> (m)	r <sub>j</sub> <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	J	XAJ (m)	XDJ (m)	D <sub>2</sub> .j (m)	r <sub>j</sub> (m)	r <sub>j</sub> <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )
1	1,42878	1,44924	-0,02046	-0,00001	0,00000	21	1,42652	1,44716	-0,02064	0,00020	0,00000
2	1,42898	1,44948	-0,02050	0,00003	0,00000	22	1,42627	1,44666	-0,02039	-0,00005	0,00000
3	1,42819	1,44857	-0,02038	-0,00009	0,00000	23	1,42685	1,44717	-0,02032	-0,00012	0,00000
4	1,42840	1,44879	-0,02039	-0,00008	0,00000	24	1,42712	1,44784	-0,02072	0,00028	0,00000
5	1,42888	1,44939	-0,02051	0,00004	0,00000	25	1,42737	1,44791	-0,02054	0,00010	0,00000
6	1,42824	1,44857	-0,02033	-0,00014	0,00000	26	1,42759	1,44788	-0,02029	-0,00015	0,00000
7	1,42879	1,44945	-0,02066	0,00019	0,00000	27	1,42746	1,44790	-0,02044	0,00000	0,00000
8	1,42863	1,44917	-0,02054	0,00007	0,00000	28	1,42782	1,44807	-0,02025	-0,00019	0,00000
9	1,42908	1,44970	-0,02062	0,00015	0,00000	29	1,42796	1,44835	-0,02039	-0,00005	0,00000
10	1,42901	1,44931	-0,02030	-0,00017	0,00000	30	1,42795	1,44840	-0,02045	0,00001	0,00000
<b>11</b>	<b>1,42902</b>	<b>1,44962</b>	<b>-0,02060</b>	<b>0,00013</b>	<b>0,00000</b>	<b>31</b>	<b>1,42803</b>	<b>1,44857</b>	<b>-0,02054</b>	<b>0,00010</b>	<b>0,00000</b>
12	1,42913	1,44947	-0,02034	-0,00013	0,00000	32	1,42736	1,44765	-0,02029	-0,00015	0,00000
13	1,42587	1,44646	-0,02059	0,00012	0,00000	33	1,42745	1,44783	-0,02038	-0,00006	0,00000
14	1,42590	1,44616	-0,02026	-0,00021	0,00000	34	1,42770	1,44808	-0,02038	-0,00006	0,00000
15	1,42614	1,44669	-0,02055	0,00008	0,00000	35	1,42705	1,44754	-0,02049	0,00005	0,00000
16	1,42627	1,44705	-0,02078	0,00031	0,00000	36	1,42755	1,44802	-0,02047	0,00003	0,00000
17	1,42631	1,44672	-0,02041	-0,00006	0,00000	37	1,42733	1,44760	-0,02027	-0,00017	0,00000
18	1,42674	1,44726	-0,02052	0,00005	0,00000	38	1,42773	1,44814	-0,02041	-0,00003	0,00000
19	1,42668	1,44708	-0,02040	-0,00007	0,00000	39	1,42727	1,44773	-0,02046	0,00002	0,00000
20	1,42709	1,44733	-0,02024	-0,00023	0,00000	40	1,42749	1,44813	-0,02064	0,00020	0,00000
<b>Σ</b>	<b>28,55613</b>	<b>28,96551</b>	<b>-0,40938</b>	<b>0,00000</b>	<b>0,00000</b>	<b>Σ</b>	<b>28,54787</b>	<b>28,95663</b>	<b>-0,40876</b>	<b>0,00000</b>	<b>0,00000</b>

**APÊNDICE C: Dados referentes à verificação e Calibração do nível digital - método Kukkamäki: comandos embutidos. Medições Ermerson de Vasconcelos e Andréa de Seixas**

Tabela C.1 - Método Kukkamäki, comando embutido do nível digital

**31 de Outubro de 2015.**

Estação	Ponto	Leituras		Distância (m)	Plano de referência (m)	2c (m)	C (Erro de colimação) (m)
		Ré (m)	Vante (m)				
E1	A1	1,44450		9,97		-0,00010	-0,00005
	B1		1,45824	9,96	-0,01374		
E2	B2	1,48189		19,95			
	A2		1,46825	39,95	-0,01364		

**27 de Janeiro de 2016.**

Estação	Ponto	Leituras		Distância (m)	Plano de referência (m)	2c (m)	C (Erro de colimação) (m)
		Ré (m)	Vante (m)				
E1	A1	1,50153		9,98		0,00014	0,00007
	B1		1,51579	9,98	-0,01426		
E2	B2	1,48138		19,98			
	A2		1,46698	39,97	-0,01440		

**11 de Maio de 2016.**

Estação	Ponto	Leituras		Distância (m)	Plano de referência (m)	2c (m)	C (Erro de colimação) (m)
		Ré (m)	Vante (m)				
E1	A1	1,42163		9,97		-0,00002	-0,00001
	B1		1,43600	9,97	-0,01437		
E2	B2	1,41869		19,95			
	A2		1,40434	39,95	-0,01435		

**17 de Maio de 2016.**

Estação	Ponto	Leituras		Distância	Plano de referência	2c (m)	C (Erro de colimação) (m)
		Ré	Vante				
E1	A1	1,48945		9,96		0,00011	0,00005
	B1		1,50367	9,96	-0,01422		
E2	B2	1,51251		19,96			
	A2		1,49818	39,94	-0,01433		

**30 de Novembro de 2016.**

Estação	Ponto	Leituras		Distância	Plano de referência	2c (m)	C (Erro de colimação) (m)
		Ré	Vante				
E1	A1	1,45193		9,97		-0,00009	-0,00005
	B1		1,46703	9,98	-0,01510		
E2	B2	1,47783		19,97			
	A2		1,46282	39,95	-0,01501		

**07 de Dezembro de 2016.**

Estação	Ponto	Leituras		Distância	Plano de referência	2c (m)	C (Erro de colimação) (m)
		Ré	Vante				
E1	A1	1,51559		9,96		0,00006	0,00003
	B1		1,53083	9,96	-0,01524		
E2	B2	1,51369		19,95			
	A2		1,49839	39,96	-0,01530		

## APÊNDICE D : Erros de fechamento, distâncias e tolerâncias dos circuitos nivelados.

Tabela D.1 - Erros de fechamento, distâncias e tolerâncias dos circuitos nivelados (Medição 1, Medição 2, Medição 3, Medição 4, Medição 5 e Medição 6) rede altimétrica em relação aos pinos de superfícies semiesféricas.

Pino de superfície semiesférica									
Medição 01					Medição 02				
Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (m)	Distancia Nivelada (km)	Tolerância (m)	Circuito	Leitura	Erro de Fechamento (m)	Distancia Nivelada (km)	Tolerância (m)
I	2°	0,00013	1,09960	0,00094	I	2°	0,00027	1,12929	0,00096
II	2°	0,00037	1,75099	0,00119	II	2°	0,00021	1,76121	0,00119
III	2°	0,00012	1,28908	0,00102	III	2°	-0,00008	1,27876	0,00102
IV	2°	0,00000	1,41712	0,00107	IV	2°	0,00005	1,39630	0,00106
V	2°	0,00038	1,65256	0,00116	V	2°	0,00034	1,78508	0,00120
VI	2°	0,00002	1,19531	0,00098	VI	2°	-0,00033	1,32449	0,00104
VII	2°	-0,00005	0,69642	0,00075	VII	2°	-0,00015	0,70959	0,00076
Medição 03					Medição 04				
Circuito	Leitura	Erro de Fechamento (m)	Distancia Nivelada (km)	Tolerância (m)	Circuito	Leitura	Erro de Fechamento (m)	Distancia Nivelada (km)	Tolerância (m)
I	2°	-0,00017	1,10164	0,00094	I	2°	0,00023	1,11298	0,00095
II	2°	0,00006	1,75937	0,00119	II	2°	0,00009	1,75391	0,00119
III	2°	0,00004	1,24948	0,00101	III	2°	-0,00008	1,21708	0,00099
IV	2°	0,00000	1,40914	0,00107	IV	2°	0,00000	1,34506	0,00104
V	2°	-0,00038	1,84249	0,00122	V	2°	-0,00040	1,83066	0,00122
VI	2°	-0,00032	1,37631	0,00106	VI	2°	-0,00027	1,35967	0,00105
VII	2°	-0,00036	0,71809	0,00076	VII	2°	-0,00036	0,71358	0,00076
Medição 05					Medição 06				
Circuito	Leitura	Erro de Fechamento (m)	Distancia Nivelada (km)	Tolerância (m)	Circuito	Leitura	Erro de Fechamento (m)	Distancia Nivelada (km)	Tolerância (m)
I	2°	0,00002	1,09525	0,00094	I	2°	0,00040	1,08208	0,00094
II	2°	0,00043	1,73577	0,00119	II	2°	-0,00013	1,73713	0,00119
III	2°	0,00334	1,16635	0,00097	III	2°	0,00042	1,17470	0,00098
IV	2°	-0,00004	1,27827	0,00102	IV	2°	0,00007	1,30649	0,00103
V	2°	-0,00074	1,82015	0,00121	V	2°	0,00050	1,84200	0,00122
VI	2°	0,00058	1,35043	0,00105	VI	2°	0,00038	1,36934	0,00105
VII	2°	-0,00045	0,72016	0,00076	VII	2°	-0,00050	0,71396	0,00076

Tabela D.2 - Erros de fechamento, distâncias e tolerâncias dos circuitos nivelados (Medição 1, Medição 2, Medição 3, Medição 4, Medição 5 e Medição 6) rede altimétrica em relação parafuso.

Parafuso									
Medição 01					Medição 02				
Circuito	Leitura	Erro de Fechamento (m)	Distancia Nivelada (km)	Tolerância (m)	Circuito	Leitura	Erro de Fechamento (m)	Distancia Nivelada (km)	Tolerância (m)
I	2°	-0,00001	1,09915	0,00094	I	2°	-0,00016	1,12890	0,00096
II	2°	0,00034	1,75080	0,00119	II	2°	0,00023	1,76106	0,00119
III	2°	-0,00002	1,28908	0,00102	III	2°	-0,00008	1,27876	0,00102
IV	2°	0,00002	1,41712	0,00107	IV	2°	0,00007	1,39633	0,00106
V	2°	0,00063	1,65250	0,00116	V	2°	0,00034	1,78503	0,00120
VI	2°	-0,00011	1,19514	0,00098	VI	2°	-0,00031	1,32431	0,00104
VII	2°	0,00009	0,69638	0,00075	VII	2°	-0,00016	0,70953	0,00076
Medição 03					Medição 04				
Circuito	Leitura	Erro de Fechamento (m)	Distancia Nivelada (km)	Tolerância (m)	Circuito	Leitura	Erro de Fechamento (m)	Distancia Nivelada (km)	Tolerância (m)
I	2°	-0,00004	1,10125	0,00094	I	2°	0,00017	1,11260	0,00095
II	2°	0,00018	1,75924	0,00119	II	2°	0,00020	1,75382	0,00119
III	2°	-0,00003	1,24948	0,00101	III	2°	0,00010	1,21708	0,00099
IV	2°	0,00000	1,40908	0,00107	IV	2°	0,00000	1,34504	0,00104
V	2°	-0,00058	1,84244	0,00122	V	2°	-0,00022	1,83062	0,00122
VI	2°	-0,00039	1,37617	0,00106	VI	2°	-0,00024	1,35952	0,00105
VII	2°	-0,00008	0,71808	0,00076	VII	2°	-0,00040	0,71352	0,00076
Medição 05					Medição 06				
Circuito	Leitura	Erro de Fechamento (m)	Distancia Nivelada (km)	Tolerância (m)	Circuito	Leitura	Erro de Fechamento (m)	Distancia Nivelada (km)	Tolerância (m)
I	2°	-0,00019	1,09485	0,00094	I	2°	0,00055	1,08170	0,00094
II	2°	0,00043	1,73558	0,00119	II	2°	-0,00016	1,73692	0,00119
III	2°	-0,01569	1,21481	0,00099	III	2°	0,00035	1,17471	0,00098
IV	2°	-0,00004	1,27611	0,00102	IV	2°	0,00007	1,30649	0,00103
V	2°	-0,00085	1,82011	0,00121	V	2°	0,00065	1,84198	0,00122
VI	2°	0,00046	1,35027	0,00105	VI	2°	0,00057	1,36916	0,00105
VII	2°	-0,00033	0,72011	0,00076	VII	2°	-0,00049	0,71391	0,00076

## APÊNDICE E: Precisão dos circuitos nivelados

Tabela E.1 - Precisão dos circuitos nivelados (Pino de superfície semiesférica e parafusos)

Circuitos	Precisão (Medição 01)		Circuitos	Precisão (Medição 02)		Circuitos	Precisão (Medição 03)	
	Pino de Superfícies semiesféricas (m)	Parafusos (m)		Pino de Superfícies semiesféricas (m)	Parafusos (m)		Pino de Superfícies semiesféricas (m)	Parafusos (m)
I	0,00009	0,00001	I	0,00018	0,00011	I	0,00011	0,00003
II	0,00020	0,00018	II	0,00011	0,00012	II	0,00003	0,00010
III	0,00007	0,00001	III	0,00005	0,00005	III	0,00003	0,00002
IV	0,00000	0,00001	IV	0,00003	0,00004	IV	0,00000	0,00000
V	0,00021	0,00035	V	0,00018	0,00018	V	0,00020	0,00030
VI	0,00001	0,00007	VI	0,00020	0,00019	VI	0,00019	0,00024
VII	0,00004	0,00008	VII	0,00013	0,00013	VII	0,00030	0,00007
Circuitos	Precisão (Medição 04)		Circuitos	Precisão (Medição 05)		Circuitos	Precisão (Medição 06)	
	Pino de Superfícies semiesféricas (m)	Parafusos (m)		Pino de Superfícies semiesféricas (m)	Parafusos (m)		Pino de Superfícies semiesféricas (m)	Parafusos (m)
I	0,00023	0,00011	I	0,00001	0,00013	I	0,00027	0,00037
II	0,00005	0,00011	II	0,00023	0,00023	II	0,00007	0,00009
III	0,00005	0,00006	III	0,00219	0,01007	III	0,00027	0,00023
IV	0,00000	0,00000	IV	0,00003	0,00003	IV	0,00004	0,00004
V	0,00021	0,00011	V	0,00039	0,00045	V	0,00026	0,00034
VI	0,00016	0,00015	VI	0,00035	0,00028	VI	0,00023	0,00034
VII	0,00030	0,00033	VII	0,00037	0,00027	VII	0,00042	0,00041

**APÊNDICE F:** Desníveis brutos e distâncias niveladas das campanhas de medição realizadas em (Novembro de 2015(1), Janeiro de 2016(1), Maio de 2016 (2), Dezembro de 2016(2)).

DE	PARA	04, 05 e 06 / 11/ 2015		28, 29 e 30 /01/2016		12 e 13 / 05 / 2016	
		$\Delta h$ (1)(m)	Dist. (1) (Km)	$\Delta h$ (2)(m)	Dist. (2) (Km)	$\Delta h$ (3)(m)	Dist. (3) (Km)
RNEPS04	3641A	1,92883	0,32601	1,92802	0,33221	1,92895	0,32009
P-ESP04	3641A	1,78124	0,32590	1,78045	0,33214	1,78138	0,32002
RNEPS07	RNEPS04	0,30811	0,14522	0,30870	0,14626	0,30832	0,14611
P-EPS07	P-EPS04	0,33181	0,14511	0,33297	0,14620	0,33276	0,14603
RNEPS07	CTG02	0,94395	0,14923	0,94513	0,14994	0,94495	0,14968
P-EPS07	CTG02	0,82002	0,14919	0,82197	0,14991	0,82184	0,14965
CTG01	CTG02	0,03459	0,01665	0,03461	0,02763	0,03453	0,01946
RNEPS06	CTG01	0,93352	0,24443	0,93525	0,24914	0,93353	0,24984
P-EPS06	CTG01	0,81558	0,24431	0,81693	0,24903	0,81500	0,24974
RNEPS06	RND	0,28480	0,24335	0,28421	0,25049	0,28399	0,23460
P-EPS06	RND	0,16679	0,24325	0,16534	0,25038	0,16557	0,23449
RND	RNEPS04	0,04760	0,30072	0,04949	0,30583	0,04727	0,30195
RND	P-EPS04	0,19516	0,30064	0,19704	0,30575	0,19484	0,30188
RN04	RND	1,01606	0,48516	1,01756	0,48316	1,01242	0,48344
RN04	RN05	0,70191	0,36318	0,70529	0,36380	0,69898	0,36317
RN05	3641B	0,13201	0,19103	0,13199	0,19076	0,13114	0,18906
3641B	3641A	2,15894	0,08489	2,15800	0,08545	2,15858	0,10166
RNEPS05	RN04	0,76466	0,34260	0,76258	0,34168	0,76796	0,31143
P-EPS05	RN04	0,66376	0,34256	0,66184	0,34164	0,66729	0,31143
RNEPS05	RN05	1,46669	0,58330	1,46779	0,57328	1,46698	0,57488
P-EPS05	RN05	1,36565	0,58334	1,36705	0,57332	1,36624	0,57488
RNEPS05	RNEPS03	2,11467	0,70857	2,11533	0,69815	2,1142	0,70457
P-EPS05	P-EPS03	2,13634	0,70857	2,13689	0,69817	2,13592	0,70454
RN05	RNEPS03	0,64798	0,12525	0,64749	0,12487	0,64726	0,12969
RN05	P-EPS03	0,77067	0,12521	0,76977	0,12484	0,76968	0,12966
RN06	RNEPS03	1,05960	0,32638	1,05844	0,32630	1,05841	0,32576
RN06	P-EPS03	1,18216	0,32637	1,18093	0,32629	1,18083	0,32574
RNEPS01	RN06	1,39059	0,29180	1,39196	0,27925	1,39310	0,27822
P-EPS01	RN06	1,26351	0,29181	1,26445	0,27927	1,26586	0,27824
RNEPS01	RN07	1,90277	0,25629	1,90356	0,39409	1,90526	0,43992
P-EPS01	RN07	1,77586	0,25627	1,77626	0,39406	1,77782	0,43990
RN07	3641A	2,19077	0,37692	2,18968	0,38436	2,18833	0,37818
RNEPS02	RN07	0,33638	0,32057	0,33613	0,29674	0,33786	0,31493
P-EPS02	RN07	0,23197	0,32051	0,23155	0,29668	0,23319	0,31485
RNEPS02	RN10	0,51443	0,41035	0,51373	0,42945	0,51332	0,40243
P-EPS02	RN10	0,40997	0,41029	0,40913	0,42939	0,40872	0,40239
RN10	3640X	0,73361	0,23913	0,73359	0,24583	0,73254	0,23958
RNEPS01	3640X	2,81440	0,24919	2,81427	0,25955	2,81258	0,25948
P-EPS01	3640X	2,68745	0,24918	2,68696	0,25952	2,68542	0,25949
RNEPS01	RN10	2,08084	0,20810	2,08083	0,20421	2,08040	0,21903
P-EPS01	RN10	1,95375	0,20807	1,95353	0,20418	1,95296	0,21901

DE	PARA	19 e 20 / 05 / 2016		02 e 03 / 12 / 2016		09 e 10 / 12 / 2016	
		$\Delta h$ (4) (m)	Dist. (4) (Km) (m)	$\Delta h$ (5)(m)	Dist. (5) (Km)	$\Delta h$ (6)(m)	Dist. (6) (Km)
RNEPS04	3641 <sup>a</sup>	1,92854	0,31482	1,92692	0,31874	1,92631	0,31902
P-ESP04	3641 <sup>a</sup>	1,78102	0,31478	1,77957	0,31864	1,77882	0,31891
RNEPS07	RNEPS04	0,30850	0,14078	0,30933	0,13956	0,30949	0,14399
P-EPS07	P-EPS04	0,33262	0,14070	0,33368	0,13947	0,33385	0,14390
RNEPS07	CTG02	0,94482	0,14910	0,94587	0,15476	0,94607	0,14968
P-EPS07	CTG02	0,82155	0,14907	0,82268	0,15472	0,82306	0,14965
CTG01	CTG02	0,03469	0,03190	0,03456	0,02370	0,03464	0,01697
RNEPS06	CTG01	0,93394	0,25314	0,93796	0,24860	0,93838	0,24012
P-EPS06	CTG01	0,81537	0,25304	0,81944	0,24851	0,81979	0,24003
RNEPS06	RND	0,28488	0,23335	0,28327	0,22849	0,28323	0,23121
P-EPS06	RND	0,16623	0,23323	0,16473	0,22840	0,16464	0,23114
RND	RNEPS04	0,04766	0,30471	0,05273	0,30014	0,05361	0,30011
RND	P-EPS04	0,19507	0,30466	0,20008	0,30005	0,20113	0,30001
RN04	RND	1,01368	0,47838	1,01854	0,47379	1,01922	0,47417
RN04	RN05	0,69975	0,36367	0,70860	0,36019	0,70908	0,36012
RN05	3641B	0,13137	0,19860	0,13291	0,18933	0,13285	0,18984
3641B	3641 <sup>a</sup>	2,15885	0,09373	2,15711	0,09358	2,15708	0,09387
RNEPS05	RN04	0,76766	0,30817	0,76125	0,29594	0,76026	0,29861
P-EPS05	RN04	0,66684	0,30817	0,67960	0,34547	0,65967	0,29861
RNEPS05	RN05	1,46733	0,54524	1,47319	0,51597	1,46976	0,51597
P-EPS05	RN05	1,36669	0,54524	1,37251	0,50915	1,36910	0,51598
RNEPS05	RNEPS03	2,11416	0,67253	2,12104	0,63913	2,11814	0,65325
P-EPS05	P-EPS03	2,13586	0,67252	2,14264	0,63805	2,13981	0,65325
RN05	RNEPS03	0,64683	0,12729	0,64785	0,12891	0,64831	0,13727
RN05	P-EPS03	0,76917	0,12728	0,77013	0,12890	0,77064	0,13726
RN06	RNEPS03	1,05897	0,32391	1,06190	0,31653	1,06161	0,31670
RN06	P-EPS03	1,18117	0,32390	1,18424	0,31652	1,18372	0,31669
RNEPS01	RN06	1,39262	0,27625	1,39161	0,28081	1,39297	0,27738
P-EPS01	RN06	1,26524	0,27625	1,26430	0,28082	1,26564	0,27740
RNEPS01	RN07	1,90617	0,43225	1,90509	0,42972	1,90503	0,44760
P-EPS01	RN07	1,77883	0,43223	1,77773	0,42969	1,77763	0,44764
RN07	3641 <sup>a</sup>	2,18841	0,37863	2,18985	0,38127	2,19167	0,37928
RNEPS02	RN07	0,33816	0,33439	0,33597	0,31183	0,33564	0,31128
P-EPS02	RN07	0,23362	0,33434	0,23124	0,31178	0,23115	0,31120
RNEPS02	RN10	0,51346	0,38376	0,51205	0,39293	0,51230	0,39271
P-EPS02	RN10	0,40889	0,38370	0,40744	0,39288	0,40762	0,39265
RN10	3640X	0,73247	0,23992	0,73155	0,25901	0,73152	0,23997
RNEPS01	3640X	2,81309	0,26439	2,81285	0,24520	2,81335	0,25630
P-EPS01	3640X	2,68571	0,26435	2,68561	0,24518	2,68596	0,25627
RNEPS01	RN10	2,08098	0,20927	2,08175	0,21595	2,08233	0,21769
P-EPS01	RN10	1,95364	0,20925	1,95439	0,21592	1,95493	0,21767

## **ANEXOS**

**ANEXO 1:** Relatórios do IBGE das RRNN (3641A, 3641B e 3640X)

**ANEXO 2:** Ajustamento das campanhas de medição realizadas no software Adjust.

## Anexo 1: Relatórios do IBGE das RRNN (3641A, 3641B e 3640X)



### Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3641A	Nome da Estação :	3641A	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE				UF : PE
Última Visita:	23/07/2014	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8131577				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08 ° 03 ' 06 " S	Altitude Ortométrica(m)	11,0638	Gravidade(mGal)	978.158.38
Longitude	34 ° 57 ' 02 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0.09	Data Medição	27/03/2009
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	23/07/2014		
Data Medição	23/07/2014	Data Cálculo	19/11/2014		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.109.478				
UTM(E)	285.037				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/03/2011 - Relatório em <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 05/03/2006 - Relatório em [ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel\\_sirgas2000.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf)
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo\\_geolocal.shtml](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geolocal.shtml)
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

#### Localização

No segundo degrau, ao lado do monumento alusivo ao Reitor Joaquim Inácio de Almeida Amazonas, no canteiro central defronte ao Centro de Convenções, no Campus Universitário da UFPE.

#### Descrição

Chapa de bronze medindo 8,0 cm de diâmetro, estampada: IBGE RN 3641 A, fixada no piso.

#### Observação

A RN encontra-se a 0,39 km além da RN 3675 G

Foto(s) :





## Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3641B	Nome da Estação :	3641B	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE			UF :	PE
Última Visita:	16/07/2014	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8131578				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08° 03' 07" S	Altitude Ortométrica(m)	8,9084	Gravidade(mGal)	978.158,98
Longitude	34° 57' 00" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	27/03/2009
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	16/07/2014		
Data Medição	16/07/2014	Data Cálculo	19/11/2014		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.109.447				
UTM(E)	285.099				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/05/2011 - Relatório em <http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 05/03/2005 - Relatório em [http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/re\\_sirgas2000.pdf](http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/re_sirgas2000.pdf)
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo\\_geoidai.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidai.shtm)
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

### Localização

Na borda da ponte sobre o Riacho Cavoco, no lado esquerdo da rodovia sentido UFPE/BR-101, a 13 m a leste do poste da CELPE nº B097028, no Campus Universitário da UFPE e a 80 m além da RN 3641A.

### Descrição

Chapa de bronze medindo 6,0 cm de diâmetro, estampada: IBGE RN 3641 B, fixada no piso.

### Observação

A RN encontra-se a 0,09 km além da RN 3641 A.

Foto(s) :





## Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3640X	Nome da Estação :	3640X	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	RECIFE			UF :	PE
Última Visita:	26/03/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8131575				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08 ° 02 ' 49 " S	Altitude Ortométrica(m)	9,8373	Gravidade(mGal)	978,157,97
Longitude	34 ° 56 ' 54 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	RGFB
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	26/03/2009
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	22/11/2011
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	17/11/2004		
Data Medição	26/03/2009	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.110.001				
UTM(E)	285.280				
MC	-33				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/03/2011 - Relatório em <http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2009 - Relatório em [http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rei\\_sirgas2000.pdf](http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rei_sirgas2000.pdf)
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o (MAPGEO2015 disponível) em [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo\\_geoidal.shtml](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtml)
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

### Localização

No último degrau que dá acesso ao Setor de Radiologia, atrás do prédio de Fonoaudiologia da UFPE, na Rua Professor Moraes Rego, s/n, no bairro da Cidade Universitária e 1,35km além da RN 3640 V.

### Descrição

Chapa padrão IBGE.

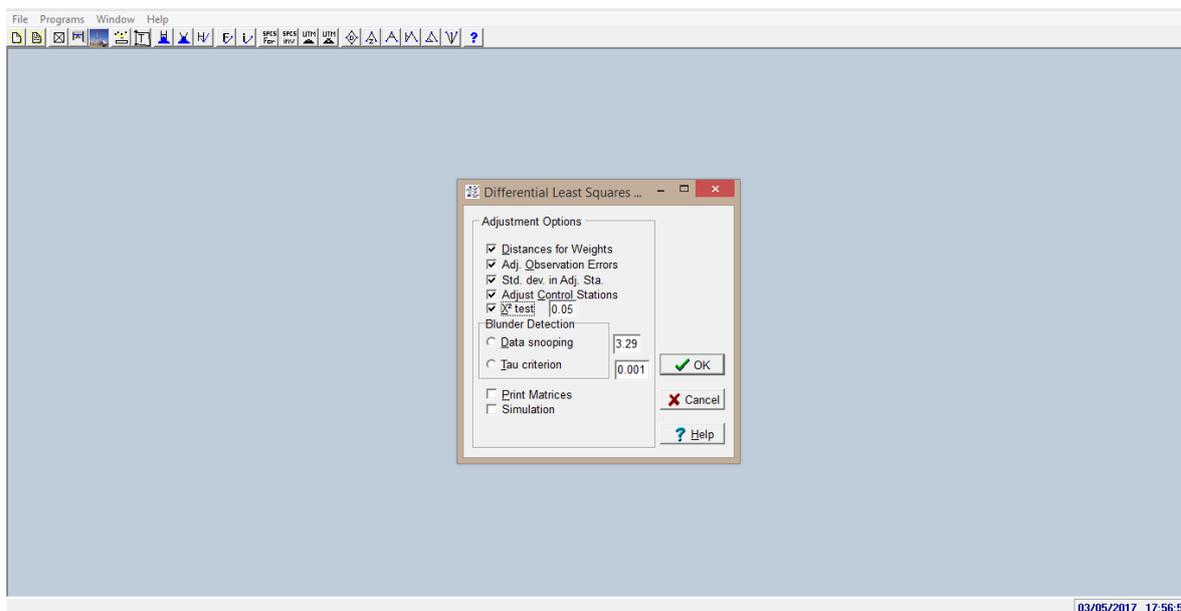
### Observação

Informantes: Lucia Carneiro de Souza Beatrice - Chefe do Departamento de Prótese e Cirurgia Buco-Facial .Tel.: (81) 2126-8822.Geraldo Bosco L.Couto - Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Odontologia do Departamento de Prótese e Cirurgia Buco-Facial.Tel.: (81) 2126-8836. RN 3640 X = EG 8131575.

Foto(s)



## Anexo 2: Dados para o ajustamento das campanhas de medição no software Adjust.



```
*****
***** Least Squares Adjustment of Differential Leveling *****
*****
```

-----  
 CAMPANHA01 (Pinos de superficies semiesféricas)  
 -----

```
*****
Benchmark stations
*****
```

Station	Elevation
A	11.0638

```
*****
Observed Elevation Differences
*****
```

From	To	Elevation Difference	S
S04	A	1.92883	0.3260100
S07	S04	0.30811	0.1452200
S07	CTG02	0.94395	0.1492300
CTG01	CTG02	0.03459	0.0166500
S06	CTG01	0.93352	0.2444300
S06	RND	0.28480	0.2433500
RND	S04	0.04760	0.3007200
RN04	RND	1.01606	0.4851600
RN04	RN05	0.70191	0.3631800
RN05	B	0.13201	0.1910300
B	A	2.15894	0.0848900
S05	RN04	0.76466	0.3426000
S05	RN05	1.46669	0.5833000
S05	S03	2.11467	0.7085700
RN05	S03	0.64798	0.1252500
RN06	S03	1.05960	0.3263800
S01	RN06	1.39059	0.2918000
S01	RN07	1.90277	0.2562900
RN07	A	2.19077	0.3769200
S02	RN07	0.33638	0.3205700
S02	RN10	0.51443	0.4103500
RN10	X	0.73361	0.2391300
S01	X	2.81440	0.2491900
S01	RN10	2.08084	0.2081000

```
Reference Variance = 0.0000004406
Reference So = ±0.00021
Degrees of freedom = 7
```

```
Failed to pass X^2 test at 95.0% significance level where X^2 = 0.00.
X^2 lower value = 1.69
X^2 upper value = 16.01
```

```
*****
Adjusted Elevation Differences
*****
```

From	To	Elevation Difference	V	S
S04	A	1.92894	0.0001140	0.000106
S07	S04	0.30814	0.0000310	0.000074
S07	CTG02	0.94392	-0.0000320	0.000075
CTG01	CTG02	0.03459	0.0000040	0.000027
S06	CTG01	0.93357	0.0000520	0.000091
S06	RND	0.28475	-0.0000520	0.000091
RND	S04	0.04764	0.0000410	0.000091
RN04	RND	1.01623	0.0001690	0.000120
RN04	RN05	0.70187	-0.0000360	0.000094
RN05	B	0.13200	-0.0000070	0.000082
B	A	2.15894	-0.0000030	0.000058
S05	RN04	0.76475	0.0000860	0.000099
S05	RN05	1.46662	-0.0000700	0.000099
S05	S03	2.11458	-0.0000920	0.000107
RN05	S03	0.64796	-0.0000220	0.000068
RN06	S03	1.05970	0.0001010	0.000106
S01	RN06	1.39068	0.0000900	0.000102
S01	RN07	1.90271	-0.0000600	0.000087
RN07	A	2.19065	-0.0001170	0.000112
S02	RN07	0.33636	-0.0000240	0.000100
S02	RN10	0.51446	0.0000310	0.000106
RN10	X	0.73360	-0.0000120	0.000082
S01	X	2.81441	0.0000120	0.000083
S01	RN10	2.08081	-0.0000260	0.000075

\*\*\*\*\*  
Adjusted Elevations  
\*\*\*\*\*

Station	Elevation	V	S
A	11.0638	0.00000	0.00000
S04	9.1349	0.00000	
S07	8.8267	0.00011	
CTG02	9.7706	0.00013	
CTG01	9.7360	0.00014	
S06	8.8025	0.00014	
RND	9.0872	0.00014	
RN04	8.0710	0.00012	
RN05	8.7729	0.00012	
B	8.9049	0.00009	
S05	7.3062	0.00006	
S03	9.4208	0.00013	
RN06	8.3611	0.00011	
S01	6.9704	0.00013	
RN07	8.8731	0.00013	
S02	8.5368	0.00011	
RN10	9.0513	0.00014	
X	9.7848	0.00014	

\*\*\*\*\*  
Least Squares Adjustment of Differential Leveling \*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

CAMPANHA01 (Parafusos)

\*\*\*\*\*  
Benchmark stations  
\*\*\*\*\*

Station	Elevation
A	11.0638

\*\*\*\*\*  
Observed Elevation Differences  
\*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	S
PS04	A	1.78124	0.3259000
PS07	PS04	0.33181	0.1451100
PS07	CTG02	0.82002	0.1491900
CTG01	CTG02	0.03459	0.0166500
PS06	CTG01	0.81558	0.2443100
PS06	RND	0.16679	0.2432500
RND	PS04	0.19516	0.3006400
RN04	RND	1.01606	0.4851600
RN04	RN05	0.70191	0.3631800
RN05	B	0.13201	0.1910300
B	A	2.15894	0.0848900
PS05	RN04	0.66376	0.3425600
PS05	RN05	1.36565	0.5833400
PS05	PS03	2.13634	0.7085700
RN05	PS03	0.77067	0.1252100
RN06	PS03	1.18216	0.3263700
PS01	RN06	1.26351	0.2918100
PS01	RN07	1.77586	0.2562700
RN07	A	2.19077	0.3769200
PS02	RN07	0.23197	0.3205100
PS02	RN10	0.40997	0.4102900
RN10	X	0.73361	0.2391300
PS01	X	2.68745	0.2491800
PS01	RN10	1.95375	0.2080700

Reference Variance = 0.0000006784  
Reference So = ±0.00026  
Degrees of freedom = 7

Failed to pass X<sup>2</sup> test at 95.0% significance level where X<sup>2</sup> = 0.00.  
 X<sup>2</sup> lower value = 1.69  
 X<sup>2</sup> upper value = 16.01

Adjusted Elevation Differences  
 \*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	V	S
PS04	A	1.78135	0.0001130	0.000131
PS07	PS04	0.33182	0.0000120	0.000092
PS07	CTG02	0.82001	-0.0000130	0.000093
CTG01	CTG02	0.03459	0.0000010	0.000033
PS06	CTG01	0.81560	0.0000210	0.000113
PS06	RND	0.16677	-0.0000210	0.000112
RND	PS04	0.19524	0.0000790	0.000112
RN04	RND	1.01623	0.0001680	0.000149
RN04	RN05	0.70183	-0.0000780	0.000117
RN05	B	0.13204	0.0000260	0.000101
B	A	2.15895	0.0000120	0.000072
PS05	RN04	0.66381	0.0000450	0.000122
PS05	RN05	1.36564	-0.0000120	0.000123
PS05	PS03	2.13626	-0.0000790	0.000133
RN05	PS03	0.77062	-0.0000470	0.000084
RN06	PS03	1.18232	0.0001580	0.000132
PS01	RN06	1.26365	0.0001410	0.000127
PS01	RN07	1.77575	-0.0001150	0.000108
RN07	A	2.19059	-0.0001820	0.000139
PS02	RN07	0.23196	-0.0000120	0.000124
PS02	RN10	0.40998	0.0000150	0.000132
RN10	X	0.73364	0.0000330	0.000102
PS01	X	2.68742	-0.0000350	0.000103
PS01	RN10	1.95377	0.0000220	0.000093

Adjusted Elevations  
 \*\*\*\*\*

Station	Elevation	V	S
A	11.0638	0.00000	0.00000
PS04	9.2824	0.00000	
PS07	8.9506	0.00013	
CTG02	9.7706	0.00016	
CTG01	9.7360	0.00017	
PS06	8.9204	0.00017	
RND	9.0872	0.00017	
RN04	8.0710	0.00015	
RN05	8.7728	0.00015	
B	8.9048	0.00011	
PS05	7.4072	0.00007	
PS03	9.5434	0.00016	
RN06	8.3611	0.00013	
PS01	7.0975	0.00016	
RN07	8.8732	0.00016	
PS02	8.6413	0.00014	
RN10	9.0512	0.00018	
X	9.7849	0.00017	

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Least Squares Adjustment of Differential Leveling \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

CAMPANHA02 (Pinos de superficies semiesféricas)

\*\*\*\*\*

Benchmark stations

\*\*\*\*\*

Station	Elevation
---------	-----------

\*\*\*\*\*

CTG01	9.7360
-------	--------

\*\*\*\*\*

Observed Elevation Differences

\*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	S
S04	A	1.92802	0.3322100
S07	S04	0.30870	0.1462600
S07	CTG02	0.94513	0.1499400
CTG01	CTG02	0.03461	0.0276300
S06	CTG01	0.93525	0.2491400
S06	RND	0.28421	0.2504900
RND	S04	0.04949	0.3058300
RN04	RND	1.01756	0.4831600
RN04	RN05	0.70529	0.3638000
RN05	B	0.13199	0.1907600
B	A	2.15800	0.0854500
S05	RN04	0.76258	0.3416800
S05	RN05	1.46779	0.5732800
S05	S03	2.11533	0.6981500
RN05	S03	0.64749	0.1248700
RN06	S03	1.05844	0.3263000
S01	RN06	1.39196	0.2792500
S01	RN07	1.90356	0.3940900
RN07	A	2.18968	0.3843600
S02	RN07	0.33613	0.2967400
S02	RN10	0.51373	0.4294500
RN10	X	0.73359	0.2458300
S01	X	2.81427	0.2595500
S01	RN10	2.08083	0.2042100

Reference Variance = 0.0000004333

Reference So = ±0.00021

Degrees of freedom = 7

Failed to pass  $\chi^2$  test at 95.0% significance level where  $\chi^2 = 0.00$ .  
 $\chi^2$  lower value = 1.69  
 $\chi^2$  upper value = 16.01

Adjusted Elevation Differences  
 \*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	V	S
S04	A	1.92809	0.0000670.000106	
S07	S04	0.30874	0.0000430.000074	
S07	CTG02	0.94509	-0.0000440.000075	
CTG01	CTG02	0.03462	0.0000080.000034	
S06	CTG01	0.93532	0.0000730.000091	
S06	RND	0.28414	-0.0000740.000091	
RND	S04	0.04946	-0.0000280.000091	
RN04	RND	1.01766	0.0000980.000119	
RN04	RN05	0.70522	-0.0000650.000093	
RN05	B	0.13198	-0.0000060.000081	
B	A	2.15800	-0.0000020.000058	
S05	RN04	0.76259	0.0000070.000098	
S05	RN05	1.46781	0.0000220.000098	
S05	S03	2.11529	-0.0000420.000106	
RN05	S03	0.64748	-0.0000140.000067	
RN06	S03	1.05850	0.0000560.000106	
S01	RN06	1.39201	0.0000480.000100	
S01	RN07	1.90340	-0.0001630.000099	
RN07	A	2.18961	-0.0000660.000112	
S02	RN07	0.33620	0.0000720.000098	
S02	RN10	0.51363	-0.0001040.000109	
RN10	X	0.73352	-0.0000690.000082	
S01	X	2.81434	0.0000730.000083	
S01	RN10	2.08082	-0.0000080.000074	

Adjusted Elevations  
 \*\*\*\*\*

Station	Elevation	V	S
CTG01	9.7360	0.00000	0.00000
S04	9.1343	0.00000	
A	11.0624	0.00010	
S07	8.8255	0.00014	
CTG02	9.7706	0.00008	
S06	8.8007	0.00003	
RND	9.0848	0.00009	
RN04	8.0672	0.00011	
RN05	8.7724	0.00015	
B	8.9044	0.00015	
S05	7.3046	0.00014	
S03	9.4199	0.00016	
RN06	8.3614	0.00016	
S01	6.9694	0.00018	
RN07	8.8727	0.00018	
S02	8.5365	0.00017	
RN10	9.0502	0.00019	
X	9.7837	0.00019	

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Least Squares Adjustment of Differential Leveling \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

CAMPANHA02 (Parafusos)

\*\*\*\*\*

Benchmark stations

\*\*\*\*\*

Station Elevation

CTG01 9.7360

\*\*\*\*\*

Observed Elevation Differences

\*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	S
PS04	A	1.78045	0.3321400
PS07	PS04	0.33297	0.1462000
PS07	CTG02	0.82197	0.1499100
CTG01	CTG02	0.03461	0.0276300
PS06	CTG01	0.81693	0.2490300
PS06	RND	0.16534	0.2503800
RND	PS04	0.19704	0.3057500
RN04	RND	1.01756	0.4831600
RN04	RN05	0.70529	0.3638000
RN05	B	0.13199	0.1907600
B	A	2.15800	0.0854500
PS05	RN04	0.66184	0.3416400
PS05	RN05	1.36705	0.5733200
PS05	PS03	2.13689	0.6981700
RN05	PS03	0.76977	0.1248400
RN06	PS03	1.18093	0.3262900
PS01	RN06	1.26445	0.2792700
PS01	RN07	1.77626	0.3940600
RN07	A	2.18968	0.3843600
PS02	RN07	0.23155	0.2966800
PS02	RN10	0.40913	0.4293900
RN10	X	0.73359	0.2458300
PS01	X	2.68696	0.2595200
PS01	RN10	1.95353	0.2041800

Reference Variance = 0.0000003248

Reference So = ±0.00018

Degrees of freedom = 7

Failed to pass  $\chi^2$  test at 95.0% significance level where  $\chi^2 = 0.00$ .

$\chi^2$  lower value = 1.69

$\chi^2$  upper value = 16.01

\*\*\*\*\*

Adjusted Elevation Differences

\*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	V	S
PS04	A	1.78050	0.0000470.000092	
PS07	PS04	0.33295	-0.0000150.000064	
PS07	CTG02	0.82199	0.0000160.000065	
CTG01	CTG02	0.03461	-0.0000030.000030	
PS06	CTG01	0.81690	-0.0000260.000079	
PS06	RND	0.16537	0.0000260.000079	
RND	PS04	0.19711	0.0000750.000079	
RN04	RND	1.01763	0.0000680.000103	
RN04	RN05	0.70524	-0.0000480.000081	
RN05	B	0.13199	0.0000050.000070	
B	A	2.15800	0.0000020.000050	
PS05	RN04	0.66184	0.0000030.000084	
PS05	RN05	1.36708	0.0000350.000084	
PS05	PS03	2.13684	-0.0000480.000092	
RN05	PS03	0.76976	-0.0000120.000058	
RN06	PS03	1.18098	0.0000540.000092	
PS01	RN06	1.26450	0.0000460.000086	
PS01	RN07	1.77610	-0.0001560.000086	
RN07	A	2.18962	-0.0000640.000097	
PS02	RN07	0.23162	0.0000680.000085	
PS02	RN10	0.40903	-0.0000990.000094	
RN10	X	0.73352	-0.0000720.000071	
PS01	X	2.68704	0.0000760.000072	
PS01	RN10	1.95352	-0.0000130.000064	

\*\*\*\*\*

Adjusted Elevations

\*\*\*\*\*

Station	Elevation	V	S
CTG01	9.7360	0.00000	0.00000
PS04	9.2816	0.00000	
A	11.0621	0.00009	
PS07	8.9486	0.00012	
CTG02	9.7706	0.00007	
PS06	8.9191	0.00003	
RND	9.0845	0.00008	
RN04	8.0668	0.00009	
RN05	8.7721	0.00013	
B	8.9041	0.00013	
PS05	7.4050	0.00013	
PS03	9.5418	0.00014	
RN06	8.3608	0.00014	
PS01	7.0964	0.00015	
RN07	8.8725	0.00016	
PS02	8.6408	0.00015	
RN10	9.0499	0.00017	
X	9.7834	0.00017	

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* Least Squares Adjustment of Differential Leveling \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

CAMPANHA03 (Pino de superficie semiesférica)

\*\*\*\*\*

Benchmark stations

\*\*\*\*\*

Station Elevation

CTG01 9.7360

\*\*\*\*\*

Observed Elevation Differences

\*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	S
S04	A	1.92895	0.3200900
S07	S04	0.30832	0.1461100
S07	CTG02	0.94495	0.1496800
CTG01	CTG02	0.03453	0.0194600
S06	CTG01	0.93353	0.2498400
S06	RND	0.28399	0.2346000
RND	S04	0.04727	0.3019500
RN04	RND	1.01242	0.4834400
RN04	RN05	0.69898	0.3631700
RN05	B	0.13114	0.1890600
B	A	2.15858	0.1016600
S05	RN04	0.76796	0.3114300
S05	RN05	1.46698	0.5748800
S05	S03	2.11424	0.7045700
RN05	S03	0.64726	0.1296900
RN06	S03	1.05841	0.3257600
S01	RN06	1.39310	0.2782200
S01	RN07	1.90526	0.4399200
RN07	A	2.18833	0.3781800
S02	RN07	0.33786	0.3149300
S02	RN10	0.51332	0.4024300
RN10	X	0.73254	0.2395800
S01	X	2.81258	0.2594800
S01	RN10	2.08040	0.2190300

Reference Variance = 0.00000007356

Reference  $S_0 = \pm 0.00027$

Degrees of freedom = 7

Failed to pass  $\chi^2$  test at 95.0% significance level where  $\chi^2 = 0.00$ .  
 $\chi^2$  lower value = 1.69  
 $\chi^2$  upper value = 16.01

Adjusted Elevation Differences  
 \*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	V	S
S04	A	1.92894	-0.0000150.000136	
S07	S04	0.30830	-0.0000240.000096	
S07	CTG02	0.94497	0.0000250.000097	
CTG01	CTG02	0.03453	-0.0000030.000037	
S06	CTG01	0.93349	-0.0000420.000118	
S06	RND	0.28403	0.0000390.000116	
RND	S04	0.04731	0.0000370.000117	
RN04	RND	1.01240	-0.0000220.000155	
RN04	RN05	0.69900	0.0000190.000121	
RN05	B	0.13109	-0.0000520.000106	
B	A	2.15855	-0.0000280.000082	
S05	RN04	0.76796	0.0000020.000123	
S05	RN05	1.46696	-0.0000190.000126	
S05	S03	2.11426	0.0000190.000138	
RN05	S03	0.64730	0.0000380.000089	
RN06	S03	1.05831	-0.0001040.000138	
S01	RN06	1.39301	-0.0000890.000130	
S01	RN07	1.90521	-0.0000510.000133	
RN07	A	2.18845	0.0001210.000146	
S02	RN07	0.33800	0.0001370.000131	
S02	RN10	0.51314	-0.0001750.000140	
RN10	X	0.73239	-0.0001520.000107	
S01	X	2.81274	0.0001650.000109	
S01	RN10	2.08036	-0.0000440.000099	

Adjusted Elevations  
 \*\*\*\*\*

Station	Elevation	V	S
CTG01	9.7360	0.00000	0.00000
S04	9.1338	0.00000	
A	11.0628	0.00013	
S07	8.8256	0.00018	
CTG02	9.7705	0.00010	
S06	8.8025	0.00004	
RND	9.0865	0.00012	
RN04	8.0741	0.00014	
RN05	8.7731	0.00019	
B	8.9042	0.00019	
S05	7.3062	0.00019	
S03	9.4204	0.00021	
RN06	8.3621	0.00021	
S01	6.9691	0.00023	
RN07	8.8743	0.00024	
S02	8.5363	0.00022	
RN10	9.0495	0.00025	
X	9.7819	0.00025	

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Least Squares Adjustment of Differential Leveling \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

CAMPANHA03 (Parafusos)

\*\*\*\*\*

Benchmark stations

\*\*\*\*\*

Station Elevation

CTG01	9.7360
-------	--------

Observed Elevation Differences

\*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	S
PS04	A	1.78138	0.3200200
PS07	PS04	0.33276	0.1460300
PS07	CTG02	0.82184	0.1496500
CTG01	CTG02	0.03453	0.0194600
PS06	CTG01	0.81500	0.2497400
PS06	RND	0.16557	0.2344900
RND	PS04	0.19484	0.3018800
RN04	RND	1.01242	0.4834400
RN04	RN05	0.69898	0.3631700
RN05	B	0.13114	0.1890600
B	A	2.15858	0.1016600
PS05	RN04	0.66729	0.3114300
PS05	RN05	1.36624	0.5748800
PS05	PS03	2.13592	0.7045400
RN05	PS03	0.76968	0.1296600
RN06	PS03	1.18083	0.3257400
PS01	RN06	1.26586	0.2782400
PS01	RN07	1.77782	0.4399000
RN07	A	2.18833	0.3781800
PS02	RN07	0.23319	0.3148500
PS02	RN10	0.40872	0.4023900
RN10	X	0.73254	0.2395800
PS01	X	2.68542	0.2594900
PS01	RN10	1.95296	0.2190100

Reference Variance = 0.0000006538

Reference So = ±0.00026

Degrees of freedom = 7

Failed to pass X<sup>2</sup> test at 95.0% significance level where X<sup>2</sup> = 0.00.  
 X<sup>2</sup> lower value = 1.69  
 X<sup>2</sup> upper value = 16.01

Adjusted Elevation Differences  
 \*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	V	S
PS04	A	1.78136	-0.0000200.000128	
PS07	PS04	0.33275	-0.0000080.000091	
PS07	CTG02	0.82185	0.0000080.000092	
CTG01	CTG02	0.03453	-0.0000010.000035	
PS06	CTG01	0.81499	-0.0000130.000111	
PS06	RND	0.16558	0.0000130.000109	
RND	PS04	0.19484	-0.0000030.000111	
RN04	RND	1.01239	-0.0000310.000146	
RN04	RN05	0.69898	-0.0000040.000114	
RN05	B	0.13107	-0.00000710.000100	
B	A	2.15854	-0.0000380.000077	
PS05	RN04	0.66727	-0.0000230.000116	
PS05	RN05	1.36624	0.0000020.000119	
PS05	PS03	2.13597	0.0000500.000130	
RN05	PS03	0.76973	0.0000480.000084	
RN06	PS03	1.18069	-0.0001440.000130	
PS01	RN06	1.26574	-0.0001230.000123	
PS01	RN07	1.77781	-0.0000100.000125	
RN07	A	2.18850	0.0001670.000138	
PS02	RN07	0.23334	0.0001460.000123	
PS02	RN10	0.40853	-0.0001870.000132	
RN10	X	0.73248	-0.0000610.000101	
PS01	X	2.68549	0.0000660.000102	
PS01	RN10	1.95301	0.0000460.000093	

\*\*\*\*\*

Adjusted Elevations  
 \*\*\*\*\*

Station	Elevation	V	S
CTG01	9.7360	0.00000	0.00000
PS04	9.2814	0.00000	
A	11.0628	0.00012	
PS07	8.9487	0.00017	
CTG02	9.7705	0.00010	
PS06	8.9210	0.00004	
RND	9.0866	0.00011	
RN04	8.0742	0.00013	
RN05	8.7732	0.00018	
B	8.9043	0.00018	
PS05	7.4069	0.00018	
PS03	9.5429	0.00020	
RN06	8.3622	0.00019	
PS01	7.0965	0.00022	
RN07	8.8743	0.00022	
PS02	8.6410	0.00021	
RN10	9.0495	0.00024	
X	9.7820	0.00023	

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Least Squares Adjustment of Differential Leveling \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

CAMPANHA04 (Pinos de superficies semiesféricas)

\*\*\*\*\*

Benchmark stations

\*\*\*\*\*

Station	Elevation
---------	-----------

CTG01	9.7360
-------	--------

Observed Elevation Differences

\*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	S
S04	A	1.92854	0.3148200
S07	S04	0.30850	0.1407800
S07	CTG02	0.94482	0.1491000
CTG01	CTG02	0.03469	0.0319000
S06	CTG01	0.93394	0.2531400
S06	RND	0.28488	0.2333500
RND	S04	0.04766	0.3047100
RN04	RND	1.01368	0.4783800
RN04	RN05	0.69975	0.3636700
RN05	B	0.13137	0.1986000
B	A	2.15885	0.0937300
S05	RN04	0.76766	0.3081700
S05	RN05	1.46733	0.5452400
S05	S03	2.11416	0.6725300
RN05	S03	0.64683	0.1272900
RN06	S03	1.05897	0.3239100
S01	RN06	1.39262	0.2762500
S01	RN07	1.90617	0.4322500
RN07	A	2.18841	0.3786300
S02	RN07	0.33816	0.3343900
S02	RN10	0.51346	0.3837600
RN10	X	0.73247	0.2399200
S01	X	2.81309	0.2643900
S01	RN10	2.08098	0.2092700

Reference Variance = 0.0000001037

Reference So = ±0.00032

Degrees of freedom = 7

Failed to pass X<sup>2</sup> test at 95.0% significance level where X<sup>2</sup> = 0.00.  
 X<sup>2</sup> lower value = 1.69  
 X<sup>2</sup> upper value = 16.01

Adjusted Elevation Differences  
 \*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	V	S
S04	A	1.92854	0.0000020	0.000160
S07	S04	0.30853	0.0000290	0.000112
S07	CTG02	0.94479	-0.0000310	0.000115
CTG01	CTG02	0.03470	0.0000070	0.000057
S06	CTG01	0.93399	0.0000530	0.000141
S06	RND	0.28483	-0.0000490	0.000137
RND	S04	0.04760	-0.0000610	0.000140
RN04	RND	1.01368	0.0000040	0.000183
RN04	RN05	0.69971	-0.0000380	0.000142
RN05	B	0.13130	-0.0000730	0.000128
B	A	2.15882	-0.0000340	0.000094
S05	RN04	0.76763	-0.0000300	0.000145
S05	RN05	1.46734	0.0000130	0.000147
S05	S03	2.11421	0.0000490	0.000161
RN05	S03	0.64687	0.0000360	0.000104
RN06	S03	1.05885	-0.0001160	0.000164
S01	RN06	1.39252	-0.0000990	0.000154
S01	RN07	1.90608	-0.0000950	0.000157
RN07	A	2.18855	0.0001360	0.000173
S02	RN07	0.33835	0.0001930	0.000158
S02	RN10	0.51324	-0.0002220	0.000164
RN10	X	0.73231	-0.0001620	0.000127
S01	X	2.81327	0.0001780	0.000129
S01	RN10	2.08096	-0.0000200	0.000116

\*\*\*\*\*

Adjusted Elevations

\*\*\*\*\*

Station	Elevation	V	S
CTG01	9.7360	0.00000	0.00000
S04	9.1344	0.00000	
A	11.0630	0.00015	
S07	8.8259	0.00021	
CTG02	9.7707	0.00012	
S06	8.8020	0.00006	
RND	9.0868	0.00014	
RN04	8.0732	0.00016	
RN05	8.7729	0.00023	
B	8.9042	0.00023	
S05	7.3055	0.00022	
S03	9.4197	0.00025	
RN06	8.3609	0.00024	
S01	6.9684	0.00027	
RN07	8.8744	0.00028	
S02	8.5361	0.00027	
RN10	9.0493	0.00030	
X	9.7816	0.00029	

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Least Squares Adjustment of Differential Leveling \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

CAMPANHA04 (Parafusos)

\*\*\*\*\*

Benchmark stations

\*\*\*\*\*

Station	Elevation
---------	-----------

CTG01	9.7360
-------	--------

\*\*\*\*\*

Observed Elevation Differences

\*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	S
PS04	A	1.78102	0.3147800
PS07	PS04	0.33262	0.1407000
PS07	CTG02	0.82155	0.1490700
CTG01	CTG02	0.03469	0.0319000
PS06	CTG01	0.81537	0.2530400
PS06	RND	0.16623	0.2332300
RND	PS04	0.19507	0.3046600
RN04	RND	1.01368	0.4783800
RN04	RN05	0.69975	0.3636700
RN05	B	0.13137	0.1986000
B	A	2.15885	0.0937300
PS05	RN04	0.66684	0.3081700
PS05	RN05	1.36669	0.5452400
PS05	PS03	2.13586	0.6725200
RN05	PS03	0.76917	0.1272800
RN06	PS03	1.18117	0.3239000
PS01	RN06	1.26524	0.2762500
PS01	RN07	1.77883	0.4322300
RN07	A	2.18841	0.3786300
PS02	RN07	0.23362	0.3343400
PS02	RN10	0.40889	0.3837000
RN10	X	0.73247	0.2399200
PS01	X	2.68571	0.2643500
PS01	RN10	1.95364	0.2092500

Reference Variance = 0.0000009216

Reference So = ±0.00030

Degrees of freedom = 7

Failed to pass X<sup>2</sup> test at 95.0% significance level where X<sup>2</sup> = 0.00.  
 X<sup>2</sup> lower value = 1.69  
 X<sup>2</sup> upper value = 16.01

Adjusted Elevation Differences  
 \*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	V	S
PS04	A	1.78106	0.0000440.000151	
PS07	PS04	0.33265	0.0000270.000106	
PS07	CTG02	0.82152	-0.0000280.000109	
CTG01	CTG02	0.03470	0.0000060.000053	
PS06	CTG01	0.81542	0.0000480.000133	
PS06	RND	0.16619	-0.0000450.000129	
RND	PS04	0.19505	-0.0000160.000132	
RN04	RND	1.01375	0.0000670.000173	
RN04	RN05	0.69975	0.0000000.000134	
RN05	B	0.13130	-0.0000710.000120	
B	A	2.15882	-0.0000340.000088	
PS05	RN04	0.66688	0.0000430.000137	
PS05	RN05	1.36663	-0.0000570.000139	
PS05	PS03	2.13584	-0.0000240.000152	
RN05	PS03	0.76920	0.0000320.000098	
RN06	PS03	1.18110	-0.0000700.000154	
PS01	RN06	1.26518	-0.0000600.000145	
PS01	RN07	1.77870	-0.0001300.000148	
RN07	A	2.18849	0.0000820.000163	
PS02	RN07	0.23379	0.0001730.000149	
PS02	RN10	0.40869	-0.0001980.000155	
RN10	X	0.73230	-0.0001710.000120	
PS01	X	2.68590	0.0001880.000122	
PS01	RN10	1.95360	-0.0000410.000109	

Adjusted Elevations  
 \*\*\*\*\*

Station	Elevation	V	S
CTG01	9.7360	0.00000	0.00000
PS04	9.2818	0.00000	
A	11.0629	0.00014	
PS07	8.9492	0.00020	
CTG02	9.7707	0.00012	
PS06	8.9206	0.00005	
RND	9.0868	0.00013	
RN04	8.0730	0.00016	
RN05	8.7728	0.00021	
B	8.9041	0.00022	
PS05	7.4061	0.00021	
PS03	9.5420	0.00024	
RN06	8.3609	0.00023	
PS01	7.0957	0.00026	
RN07	8.8744	0.00026	
PS02	8.6406	0.00025	
RN10	9.0493	0.00028	
X	9.7816	0.00028	

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Least Squares Adjustment of Differential Leveling \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

CAMPANHA05 (Pinos de superficies semiesféricas)

\*\*\*\*\*

Benchmark stations

\*\*\*\*\*

Station	Elevation
CTG01	9.7360

Observed Elevation Differences

\*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	S
S04	A	1.92692	0.3187400
S07	S04	0.30933	0.1395600
S07	CTG02	0.94587	0.1547600
CTG01	CTG02	0.03456	0.0237000
S06	CTG01	0.93796	0.2486000
S06	RND	0.28327	0.2284900
RND	S04	0.05273	0.3001400
RN04	RND	1.01854	0.4737900
RN04	RN05	0.70860	0.3601900
RN05	B	0.13291	0.1893300
B	A	2.15711	0.0935800
S05	RN04	0.76125	0.2959400
RN05	S03	0.64785	0.1289100
RN06	S03	1.06190	0.3165300
S01	RN06	1.39161	0.2808100
S01	RN07	1.90509	0.4297200
RN07	A	2.18985	0.3812700
S02	RN07	0.33597	0.3118300
S02	RN10	0.51205	0.3929300
RN10	X	0.73155	0.2506400
S01	X	2.81285	0.2452000
S01	RN10	2.08175	0.2159500

Reference Variance = 0.000001434

Reference So = ±0.00038

Degrees of freedom = 5

Failed to pass X<sup>2</sup> test at 95.0% significance level where X<sup>2</sup> = 0.00.  
 X<sup>2</sup> lower value = 0.83  
 X<sup>2</sup> upper value = 12.83

Adjusted Elevation Differences  
 \*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	V	S
S04	A	1.92699	0.0000670.000191	
S07	S04	0.30934	0.0000110.000132	
S07	CTG02	0.94586	-0.0000120.000137	
CTG01	CTG02	0.03456	0.0000020.000058	
S06	CTG01	0.93798	0.0000190.000165	
S06	RND	0.28325	-0.0000170.000160	
RND	S04	0.05277	0.0000400.000164	
RN04	RND	1.01864	0.0000990.000219	
RN04	RN05	0.70852	-0.0000750.000200	
RN05	B	0.13281	-0.0001000.000148	
B	A	2.15706	-0.0000490.000110	
S05	RN04	0.76125	-0.0000000.000206	
RN05	S03	0.64789	0.0000410.000130	
RN06	S03	1.06180	-0.0001010.000191	
S01	RN06	1.39152	-0.0000890.000183	
S01	RN07	1.90533	0.0002390.000184	
RN07	A	2.18997	0.0001210.000205	
S02	RN07	0.33590	-0.0000740.000181	
S02	RN10	0.51214	0.0000940.000194	
RN10	X	0.73141	-0.0001400.000150	
S01	X	2.81299	0.0001370.000150	
S01	RN10	2.08158	-0.0001720.000137	

Adjusted Elevations  
 \*\*\*\*\*

Station	Elevation	V	S
CTG01	9.7360	0.00000	0.00000
S04	9.1340	0.00000	
A	11.0610	0.00018	
S07	8.8247	0.00025	
CTG02	9.7706	0.00015	
S06	8.7980	0.00006	
RND	9.0813	0.00016	
RN04	8.0626	0.00019	
RN05	8.7712	0.00027	
B	8.9040	0.00027	
S05	7.3014	0.00026	
S03	9.4191	0.00034	
RN06	8.3573	0.00030	
S01	6.9657	0.00033	
RN07	8.8711	0.00033	
S02	8.5352	0.00032	
RN10	9.0473	0.00035	
X	9.7787	0.00035	

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Least Squares Adjustment of Differential Leveling \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

CAMPANHA05 (Parafusos)

\*\*\*\*\*

Benchmark stations

\*\*\*\*\*

Station	Elevation
---------	-----------

CTG01	9.7360
-------	--------

\*\*\*\*\*

Observed Elevation Differences

\*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	S
PS04	A	1.77957	0.3186400
PS07	PS04	0.33368	0.1394700
PS07	CTG02	0.82268	0.1547200
CTG01	CTG02	0.03456	0.0237000
PS06	CTG01	0.81944	0.2485100
PS06	RND	0.16473	0.2284000
RND	PS04	0.20008	0.3000500
RN04	RND	1.01854	0.4737900
RN04	RN05	0.70860	0.3601900
RN05	B	0.13291	0.1893300
B	A	2.15711	0.0935800
PS05	RN04	0.67960	0.3454700
RN05	PS03	0.77013	0.1289000
RN06	PS03	1.18424	0.3165200
PS01	RN06	1.26430	0.2808200
PS01	RN07	1.77773	0.4296900
RN07	A	2.18985	0.3812700
PS02	RN07	0.23124	0.3117800
PS02	RN10	0.40744	0.3928800
RN10	X	0.73155	0.2590100
PS01	X	2.68561	0.2451800
PS01	RN10	1.95439	0.2159200

Reference Variance = 0.0000001287

Reference So = ±0.00036

Degrees of freedom = 5

Failed to pass X<sup>2</sup> test at 95.0% significance level where X<sup>2</sup> = 0.00.  
 X<sup>2</sup> lower value = 0.83  
 X<sup>2</sup> upper value = 12.83

\*\*\*\*\*

Adjusted Elevation Differences

\*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	V	S
PS04	A	1.77962	0.0000510.000181	
PS07	PS04	0.33366	-0.0000180.000125	
PS07	CTG02	0.82270	0.0000200.000130	
CTG01	CTG02	0.03456	-0.0000030.000055	
PS06	CTG01	0.81941	-0.0000320.000156	
PS06	RND	0.16476	0.0000300.000151	
RND	PS04	0.20017	0.0000870.000156	
RN04	RND	1.01862	0.0000750.000207	
RN04	RN05	0.70854	-0.0000570.000190	
RN05	B	0.13280	-0.0001070.000140	
B	A	2.15706	-0.0000530.000104	
PS05	RN04	0.67960	-0.0000000.000211	
RN05	PS03	0.77018	0.0000530.000124	
RN06	PS03	1.18411	-0.0001290.000181	
PS01	RN06	1.26419	-0.0001150.000173	
PS01	RN07	1.77797	0.0002370.000174	
RN07	A	2.19001	0.0001560.000194	
PS02	RN07	0.23119	-0.0000450.000172	
PS02	RN10	0.40750	0.0000570.000184	
RN10	X	0.73144	-0.0001070.000144	
PS01	X	2.68571	0.0001020.000142	
PS01	RN10	1.95427	-0.0001210.000130	

\*\*\*\*\*

Adjusted Elevations

\*\*\*\*\*

Station	Elevation	V	S
CTG01	9.7360	-0.00000	0.00000
PS04	9.2815	0.00000	
A	11.0611	0.00017	
PS07	8.9479	0.00024	
CTG02	9.7706	0.00014	
PS06	8.9166	0.00005	
RND	9.0814	0.00016	
RN04	8.0627	0.00018	
RN05	8.7713	0.00026	
B	8.9041	0.00026	
PS05	7.3831	0.00025	
PS03	9.5415	0.00033	
RN06	8.3574	0.00028	
PS01	7.0932	0.00031	
RN07	8.8711	0.00032	
PS02	8.6399	0.00030	
RN10	9.0474	0.00034	
X	9.7789	0.00033	

\*\*\*\*\* Least Squares Adjustment of Differential Leveling \*\*\*\*\*

-----  
 CAMPANHA06 ( Pinos de superficies semiesféricas)  
 -----

\*\*\*\*\*

Benchmark stations

\*\*\*\*\*

Station	Elevation
---------	-----------

-----

CTG01	9.7360
-------	--------

\*\*\*\*\*

Observed Elevation Differences

\*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	S
S04	A	1.92631	0.3190200
S07	S04	0.30949	0.1439900
S07	CTG02	0.94607	0.1496800
CTG01	CTG02	0.03464	0.0169700
S06	CTG01	0.93838	0.2401200
S06	RND	0.28323	0.2312100
RND	S04	0.05361	0.3001100
RN04	RND	1.01922	0.4741700
RN04	RN05	0.70908	0.3601200
RN05	B	0.13285	0.1898400
B	A	2.15708	0.0938700
S05	RN04	0.76026	0.2986100
S05	RN05	1.46976	0.5159700
S05	S03	2.11814	0.6532500
RN05	S03	0.64831	0.1372700
RN06	S03	1.06161	0.3167000
S01	RN06	1.39297	0.2773800
S01	RN07	1.90503	0.4476000
RN07	A	2.19167	0.3792800
S02	RN07	0.33564	0.3112800
S02	RN10	0.51230	0.3927100
RN10	X	0.73152	0.2399700
S01	X	2.81335	0.2563000
S01	RN10	2.08233	0.2176900

Reference Variance = 0.0000001764

Reference So = ±0.00042

Degrees of freedom = 7

Failed to pass X<sup>2</sup> test at 95.0% significance level where X<sup>2</sup> = 0.00.  
 X<sup>2</sup> lower value = 1.69  
 X<sup>2</sup> upper value = 16.01

Adjusted Elevation Differences  
 \*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	V	S
S04	A	1.92637	0.0000600	0.000210
S07	S04	0.30955	0.0000610	0.000148
S07	CTG02	0.94601	-0.0000630	0.000150
CTG01	CTG02	0.03465	0.0000070	0.000054
S06	CTG01	0.93848	0.0001010	0.000180
S06	RND	0.28313	-0.0000970	0.000178
RND	S04	0.05354	-0.0000700	0.000181
RN04	RND	1.01931	0.0000890	0.000238
RN04	RN05	0.70921	0.0001330	0.000184
RN05	B	0.13290	0.0000500	0.000164
B	A	2.15710	0.0000250	0.000122
S05	RN04	0.76043	0.0001660	0.000187
S05	RN05	1.46964	-0.0001210	0.000189
S05	S03	2.11793	-0.0002090	0.000208
RN05	S03	0.64829	-0.0000180	0.000140
RN06	S03	1.06175	0.0001430	0.000212
S01	RN06	1.39310	0.0001260	0.000201
S01	RN07	1.90506	0.0000340	0.000206
RN07	A	2.19150	-0.0001720	0.000226
S02	RN07	0.33548	-0.0001650	0.000201
S02	RN10	0.51251	0.0002080	0.000215
RN10	X	0.73139	-0.0001290	0.000165
S01	X	2.81349	0.0001380	0.000168
S01	RN10	2.08210	-0.0002330	0.000153

Adjusted Elevations  
 \*\*\*\*\*

Station	Elevation	V	S
CTG01	9.7360	0.00000	0.00000
S04	9.1342	0.00000	
A	11.0606	0.00020	
S07	8.8246	0.00027	
CTG02	9.7706	0.00016	
S06	8.7975	0.00005	
RND	9.0807	0.00018	
RN04	8.0613	0.00021	
RN05	8.7706	0.00029	
B	8.9035	0.00030	
S05	7.3009	0.00029	
S03	9.4188	0.00032	
RN06	8.3571	0.00032	
S01	6.9640	0.00036	
RN07	8.8691	0.00036	
S02	8.5336	0.00035	
RN10	9.0461	0.00039	
X	9.7775	0.00038	

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Least Squares Adjustment of Differential Leveling \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

CAMPANHA06 (Parafusos)

\*\*\*\*\*

Benchmark stations

\*\*\*\*\*

Station Elevation

CTG01 9.7360

\*\*\*\*\*

Observed Elevation Differences

\*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	S
PS04	A	1.77882	0.3189100
PS07	PS04	0.33385	0.1439000
PS07	CTG02	0.82306	0.1496500
CTG01	CTG02	0.03464	0.0169700
PS06	CTG01	0.81979	0.2400300
PS06	RND	0.16464	0.2311400
RND	PS04	0.20113	0.3000100
RN04	RND	1.01922	0.4741700
RN04	RN05	0.70908	0.3601200
RN05	B	0.13285	0.1898400
B	A	2.15708	0.0938700
PS05	RN04	0.65967	0.2986100
PS05	RN05	1.36910	0.5159800
PS05	PS03	2.13981	0.6532500
RN05	PS03	0.77064	0.1372600
RN06	PS03	1.18372	0.3166900
PS01	RN06	1.26564	0.2774000
PS01	RN07	1.77763	0.4476400
RN07	A	2.19167	0.3792800
PS02	RN07	0.23115	0.3112000
PS02	RN10	0.40762	0.3926500
RN10	X	0.73152	0.2399700
PS01	X	2.68596	0.2562700
PS01	RN10	1.95493	0.2176700

Reference Variance = 0.0000002402

Reference So = ±0.00049

Degrees of freedom = 7

Failed to pass X<sup>2</sup> test at 95.0% significance level where X<sup>2</sup> = 0.00.  
 X<sup>2</sup> lower value = 1.69  
 X<sup>2</sup> upper value = 16.01

\*\*\*\*\*  
 Adjusted Elevation Differences  
 \*\*\*\*\*

From	To	Elevation Difference	V	S
PS04	A	1.77888	0.0000650.000245	
PS07	PS04	0.33393	0.0000810.000172	
PS07	CTG02	0.82298	-0.0000850.000175	
CTG01	CTG02	0.03465	0.0000100.000063	
PS06	CTG01	0.81993	0.0001360.000210	
PS06	RND	0.16451	-0.0001310.000207	
RND	PS04	0.20102	-0.0001080.000211	
RN04	RND	1.01932	0.0000970.000278	
RN04	RN05	0.70919	0.0001060.000215	
RN05	B	0.13292	0.0000720.000191	
B	A	2.15712	0.0000360.000143	
PS05	RN04	0.65982	0.0001480.000218	
PS05	RN05	1.36900	-0.0000960.000221	
PS05	PS03	2.13961	-0.0002030.000243	
RN05	PS03	0.77060	-0.0000370.000163	
RN06	PS03	1.18390	0.0001850.000247	
PS01	RN06	1.26580	0.0001620.000235	
PS01	RN07	1.77769	0.0000630.000240	
RN07	A	2.19145	-0.0002210.000264	
PS02	RN07	0.23093	-0.0002250.000235	
PS02	RN10	0.40790	0.0002840.000251	
RN10	X	0.73141	-0.0001120.000193	
PS01	X	2.68608	0.0001190.000196	
PS01	RN10	1.95467	-0.0002590.000178	

\*\*\*\*\*  
 Adjusted Elevations  
 \*\*\*\*\*

Station	Elevation	V	S
CTG01	9.7360	-0.00000	0.00000
PS04	9.2816	0.00000	
A	11.0605	0.00023	
PS07	8.9477	0.00032	
CTG02	9.7706	0.00018	
PS06	8.9161	0.00006	
RND	9.0806	0.00021	
RN04	8.0613	0.00025	
RN05	8.7705	0.00034	
B	8.9034	0.00035	
PS05	7.4014	0.00034	
PS03	9.5411	0.00038	
RN06	8.3572	0.00037	
PS01	7.0913	0.00042	
RN07	8.8690	0.00043	
PS02	8.6381	0.00040	
RN10	9.0460	0.00045	
X	9.7774	0.00045	