



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA - IG
Campus Monte Carmelo
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica



VALMIR DOS REIS TAVARES

**DENSIFICAÇÃO DA REDE ALTIMÉTRICA NO MUNICÍPIO DE MONTE
CARMELO-MG**

Monografia apresentada à banca avaliadora como exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica pela Universidade Federal de Uberlândia

Orientador: Professor Dr. Gabriel do Nascimento Guimarães.

Coorientador: Professor Dr. George Deroco Martins.

Monte Carmelo/MG,
Novembro– 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA - IG
Campus Monte Carmelo
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica



VALMIR DOS REIS TAVARES

**DENSIFICAÇÃO DA REDE ALTIMÉTRICA NO MUNICÍPIO DE MONTE
CARMELO-MG**

Aprovado:

Prof. Dr. Gabriel do Nascimento Guimarães
(Orientador)

Prof. Dr. George Deroco Martins
(Coorientador)

Prof. Doutorando. Vinicius Francisco Rofatto
(Membro Convidado)

Homologado pelo Colegiado do Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica
em: _____ / _____ / 20_____

Coordenador do Curso de Engenharia de
Agrimensura e Cartográfica

Monte Carmelo/MG
Novembro-2017

DEDICATÓRIA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA - IG
Campus Monte Carmelo
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica



*A toda minha abençoada família, em especial
a minha heroína mãe, Amélia Tavares e ao
meu guerreiro pai Alair Tavares, por sempre
me mostrarem o melhor caminho e
acreditarem no meu potencial!*



AGRADECIMENTOS

Acima de tudo e de todos, agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e também por ter mim proporcionado forças que eu não sabia onde encontrar. Forças psicológicas que me apoiaram em cada obstáculo encontrado durante esse período na caminhada rumo a mais esta conquista, a graduação.

Em geral agradeço de forma carinhosa, abrangendo todos aqueles que foram meus professores e também todos os técnicos administrativos. Ambos que, de uma forma ou outra, me passaram um pouco de seus conhecimentos, impulsionando-me, portanto, um acréscimo de informação, que levarei na minha bagagem mental para o resto da vida, pois neste período com vocês passei por momentos e situações que jamais esquecerei.

Em especial agradeço o benevolente Professor Dr. Gabriel do Nascimento Guimarães, que se prontificou com muita dedicação e diligência, dispondo a me orientar, abastecendo e abrilhantando este trabalho com informações técnicas e específicas, sendo presente em todas as minuciosas etapas.

Também, de modo especial, agradeço os membros que compõem a banca avaliadora, o hábil coorientador professor Dr. George Deroco Martins, e como convidado especial, agradeço sinceramente o dedicado professor Ms. Vinicius Francisco Rofatto.

Gratulo o apoio estabilizado com a Prefeitura da cidade através do ex prefeito Fausto Reis Nogueira, juntamente com Secretário Municipal de Infraestrutura e serviços Urbanos José Humberto da Cunha, que demonstraram interesse e enorme dedicação, disponibilizando uma equipe para trabalhos de campo, meu sincero obrigado também a esta equipe. Não posso deixar de agradecer ao Procurador Geral do Município Bolimar Luciano de Oliveira, que foi propiciador para firmar esta ligação entre faculdade e prefeitura.

Meu sincero agradecimento ao sábio amigo irmão Ramires Silva Rosa, seria injusto da minha parte não agradecer, não pela disponibilidade e companheirismo para com este trabalho, mas, pela parceria firmada e conhecimentos adquirido em todos os trabalhos executados juntos ao longo dessa trajetória! Este foi apenas mais um.

Meu eterno agradecimento aos fraternos amigos de graduação e futuramente companheiros de profissão, Lucas França Máximo, Gabriel da Costa Resende, Rafael Borges



Silva de Oliveira, Arthur Almeida Morais, Gustavo Nunes Medeiros, uma excelente e espetacular equipe formada que se prontificaram em cooperar neste trabalho para os árduos levantamentos de campo. Também o Engenheiro Weldon Martins, os técnicos Januário Chirieleison Fernandes, Douglas Santana Serato e Valdiney José da Silva pela disposição e apoio em campo. Não posso deixar de agradecer o Samuel Elias de Souza Campos e o Thiago Urias de Souza Campos, pela paciência e profissionalismo em conduzir os veículos oficiais nos deslocamentos para campo.

Agradeço de forma gentil, a verdadeira amizade conquistada com José Venâncio Marra e Pedro Henrique Cortes através dos momentos de diálogos, buscando sempre conhecimento mútuo e respeitoso.

Por fim, estes foram os principais agradecimentos. Agradeço singelamente todos aqueles que de uma forma ou outra estiveram presente e contribuíram para o êxito deste trabalho.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA - IG
Campus Monte Carmelo
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica



“Ninguém pode forçar um estudante a adquirir conhecimento. O cérebro do estudante é que dever ser receptivo, maleável e desejoso de adquirir conhecimento”.

Monty Roberts



RESUMO

VALMIR DOS REIS TAVARES

**DENSIFICAÇÃO DA REDE ALTIMÉTRICA NO MUNICÍPIO DE MONTE
CARMELO-MG**

Aprovado:

Prof. Dr. Gabriel do Nascimento Guimarães
(Orientador)

Prof. Dr. George Deroco Martins
(Coorientador)

Prof. Doutorando. Vinicius Francisco Rofatto
(Membro Convidado)

Homologado pelo Colegiado do Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica
em: _____ / _____ / 20_____

Coordenador do Curso de Engenharia de
Agrimensura e Cartográfica

Monte Carmelo/MG
Novembro-2017



As obras de engenharia em todas as regiões do país são sinônimo de desenvolvimento. Para tanto, a determinação da altitude em um ponto na superfície da Terra é uma etapa fundamental, pois, projetos de redes de esgoto, traçados de estradas, linhas de transmissão de energia, projetos de irrigação, dimensionamento de barragens, planejamento urbano, cadastro urbano, mapeamentos em geral, dentre outros, são exemplos de aplicações da engenharia, que somente são possíveis de serem executados quando se utilizam destas informações. Existe no Brasil, a rede altimétrica do Sistema Geodésia Brasileiro possuindo mais de 65 mil Referências de Nível (RRNN) espalhadas pelo território nacional e que se reveste de extrema importância servindo de base para obras de engenharia. A densificação da rede altimétrica no âmbito municipal estabelece a infraestrutura de apoio geodésico e topográfico no município, proporcionando a normalização e sistematização de todos os levantamentos topográficos, executados em qualquer escala e para todas finalidades no domínio municipal, por agentes públicos ou privados. Toda gestão municipal deve ter como premissa a atualização e manutenção do cadastro de seu município, visto que se trata de uma importante ferramenta para o planejamento e ordenamento territorial. Sendo de fundamental importância pois, auxilia principalmente no planejamento para as melhores tomadas de decisões. O presente trabalho objetivou a densificação da rede altimétrica de alta precisão na zona urbana do município de Monte Carmelo-MG, partindo de uma RN que já faz parte da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) implantada pelo IBGE em 10/05/1967. Os valores finais a serem considerados para definir como sendo as altitudes ortométrica de cada RN implantada, foram obtidos através do ajustamento de todas as observações adquiridas em campo. O método do ajustamento foi o Paramétrico. A etapa de cálculos para ajustamento foi possível pois em cada linha de nivelamento, os procedimentos e a rigorosidade imposto pela norma NBR 13133 para nivelamento do tipo IIN foram alcançados.

Palavras-chaves: Geodésia. Rede Altimétrica. Nivelamento.



ABSTRACT

Engineering works in all regions of the country are synonymous with development. To do so, the determination of the altitude at a point on the Earth's surface is a fundamental step, since, sewage networks, roadmaps, power transmission lines, irrigation projects, dam design, urban planning, urban cadastre, mappings in general, among others, are examples of engineering applications, which are only possible to execute when using this information. In Brazil, there is the altimetric network of the Brazilian Geodesy System with more than 65,000 Level References (RRNN) spread throughout the national territory and is extremely important as a basis for engineering works. The densification of the altimetric network at the municipal level establishes the geodesic and topographic support infrastructure in the municipality, providing for the standardization and systematization of all topographic surveys, carried out at any scale and for all purposes in the municipal domain, by public or private agents. All municipal management must have as premise the updating and maintenance of the cadastre of its municipality, since it is an important tool for planning and territorial planning. Being of fundamental importance therefore, it helps mainly in the planning for the best decision making. The present work aimed at the densification of the high accuracy altimetric network in the urban area of Monte Carmelo-MG, starting from an RN that is already part of the High Accuracy Altimetry Network (RAAP) implemented by IBGE on 05/10/1967. The final values to be considered to be defined as the orthometric altitudes of each NB implanted were obtained by adjusting all observations acquired in the field. The method of adjustment was the Parametric. The calculation step for adjustment was possible because in each leveling line, the procedures and the rigor imposed by the norm NBR 13133 for IIN leveling were achieved.

Keywords: Geodesy. Altimétrica Network. Leveling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro	16
Figura 2: Rede Altimétrica de Alta Precisão	17
Figura 3: Terra como um elipsoide.....	19
Figura 5: Método Nivelamento Geométrico para Altitude Nivelada	20
Figura 6: Representação da altitude ortométrica	20
Figura 7: Ilustração de uma rede altimétrica	23
Figura 8: Sistema de eixos do nível.....	24
Figura 9: Demonstração do erro de verticalidade do eixo principal.....	24
Figura 10: Demonstração da influência do erro de colimação	25
Figura 11: Nível ótico	29
Figura 12: Régua estadimétrica	31
Figura 13: Marcos.....	31
Figura 14: Mapa de localização	32
Figura 15: Fluxograma abordando as etapas do trabalho	33
Figura 16: Formato para confecção dos marcos	33
Figura 17: Mapa de localização das linhas de nivelamento.....	35
Figura 18: Mosaico das etapas para implantação dos marcos	36
Figura 19: Mosaico das etapas para implantação dos marcos	36
Figura 20: RN implantada	36
Figura 21: Verticalidade da régua.....	37
Figura 22: Trabalhos de campo	38
Figura 36: Disposição do caminhamento	40
Figura 23: Perfil Vertical	43
Figura 24: Perfil Vertical	43
Figura 25: Perfil Vertical	43
Figura 26: Perfil Vertical	44
Figura 27: Perfil Vertical	44
Figura 28: Perfil Vertical	44
Figura 29: Perfil Vertical	44
Figura 30: Perfil Vertical	45
Figura 31: Perfil Vertical	45
Figura 32: Perfil Vertical	45

Figura 33: Perfil Vertical	46
Figura 34: Perfil Vertical	46
Figura 35: Perfil Vertical	46
Figura 37: Altitude Ajustada Versus Altitude GNSS	48
Figura 38: Mapa representando a diferença da ondulação geoidal.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos métodos de nivelamento	21
Tabela 2: Classificação dos níveis quanto a sua precisão.....	29
Tabela 3: Códigos e local das RRNN	32
Tabela 4: Distâncias entre as RRNN	34
Tabela 5 : Simulação de custos.....	42
Tabela 6: Simulação de custos.....	42
Tabela 7: Altitude Nivelamento Ajustada Versus Altitude Geodésica (GNSS).	47
Tabela 9: Ondulação geoidal GPS/Niv Versus MAPGEO2015	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

H – Altitude Ortométrica

h – Altitude Geométrica

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IAGS – *Inter-American Geodetic Survey*

IGG – Instituto Geográfico e Geológico

N – Ondulação Geoidal

NMM – Nível Médio do Mar

RAAP – Rede Altimétrica de Alta Precisão

RN - Referência de Nível

RRNN – Referências de Nível

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro

SNi – Seção de Nivelamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Justificativa	14
1.2 Objetivo	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 <i>Datum</i> Vertical.....	15
2.2 Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro.....	16
2.4 Altitudes.....	18
2.4.1 Altitude elipsoidal	18
2.4.2 Altitude nivelada	19
2.4.3 Altitude Ortométrica	20
2.5 Nivelamento.....	21
2.5.1 Métodos de nivelamento	22
2.6 Ajustamento	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Material.....	28
3.2 Área de estudo	31
4 METODOLOGIA.....	33
4.1 Procedimentos de levantamento em campo.....	34
4.1.1 Linhas de nivelamento	34
4.1.2 Coleta de dados	37
4.2 Procedimentos de escritório.....	39
4.2.1 Cálculo do Desnível.....	39
4.3 Custo do projeto.....	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
6 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS.....	53
APENDICE.....	54

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que possui grande extensão territorial e formação geológica diversa, esses atributos contribuíram para a atual estrutura do relevo brasileiro, apresentando grande variedade morfológica de feições, como serras, planaltos, chapadas, depressões, planícies e outras. No aspecto altimétrico, o território brasileiro caracteriza-se pelo predomínio de altitudes relativamente modestas, mas com bastante mudanças em suas características ao longo do seu território, definindo bem cada região.

A determinação da altitude em um ponto na superfície da Terra é uma etapa fundamental, pois, projetos de redes de esgoto, traçados de estradas, linhas de transmissão de energia, projetos de irrigação, dimensionamento de barragens, planejamento urbano, cadastro urbano, mapeamentos em geral, dentre outros, são exemplos de aplicações da engenharia, que somente são possíveis de serem executados quando se utilizam destas informações.

Quando o objetivo é determinar a altitude de um ponto é necessário basear em métodos que permitem obter o desnível entre pontos, onde conhecendo uma Referência de Nível (RN), ou seja, o valor da altitude em um ponto específico, é possível calcular outras altitudes em diversos outros pontos de interesse. Os métodos para tal fim são denominados de nivelamento, no qual existem diferentes técnicas, que permitem determinar os desníveis com precisões que variam de centímetros até sub milímetro. A aplicação de cada método dependerá principalmente da finalidade do projeto, suas exigências e qualidade dos instrumentos de medição.

Existe no Brasil, a rede altimétrica do Sistema Geodésia Brasileiro possuindo mais de 65 mil Referências de Nível (RRNN) espalhadas pelo território nacional em que se reveste de extrema importância servindo de base para obras de engenharia (LUZ; GUIMARÃES, 2001). Atendendo também, os objetivos científico e cartográfico do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), fornecendo apoio aos trabalhos de mapeamento executados no território nacional, determinando que todas as estações das redes altimétrica, planimétrica e gravimétrica que fazem parte deste sistema sejam materializadas no terreno. Esta concretização se dará através de chapas cravadas, marcos ou pilares, de forma a garantir sua permanência e resistência (IBGE, 2008). No entanto, a referida rede não disponibiliza de dados altimétricos em todas as regiões do país.

A densificação da rede altimétrica no âmbito municipal estabelece a infraestrutura de apoio geodésico e topográfico no município, proporcionando a normalização e sistematização de todos os levantamentos topográficos, quer pelo método direto, quer pelo método

aerofotogramétrico, executados em qualquer escala e para qualquer finalidade no domínio municipal, por agentes públicos ou privados.

1.1 Justificativa

Toda gestão municipal deve ter como premissa a atualização e manutenção do cadastro de seu município, visto que se trata de uma importante ferramenta para o planejamento e ordenamento territorial. Uma base cartográfica confiável é uma importante ferramenta para os gestores públicos, sendo de fundamental importância pois, auxilia principalmente no planejamento para as melhores tomadas de decisões. No entanto, é necessário que os municípios tenham claro os limites de seus territórios, sendo a cartografia um instrumento indispensável para representar adequadamente a localização geográfica das propriedades e seus limites territoriais. Devendo os dados que compõe o sistema de informações serem padronizados, o que consiste em ter o mesmo referencial geodésico, mesmo sistema de coordenadas, e o mesmo detalhamento para a escala de levantamento.

Avaliando esses detalhes, o município de Monte Carmelo-MG é desprovido destes. Este trabalho visa a apresentação da metodologia necessária para a densificação, apresentando também, todos os resultados obtidos por meio da Topografia (nivelamento geométrico de visadas iguais) seguindo padrões, critérios e normas de levantamento topográfico para fins cadastrais, que comporão a rede altimétrica. A partir dos resultados, vinculado as técnicas anteriormente citadas, esses resultados contribuirão para vários outros projetos proporcionando maior detalhamento aplicando escalas desejadas para trabalhos relacionados a Cartografia e Agrimensura, para fins de mapeamento, cadastro urbano, planejamento urbano, levantamentos topográficos em geral, cooperando assim para um melhor desenvolvimento do município.

1.2 Objetivo

O presente trabalho objetivou a densificação da rede altimétrica de alta precisão na zona urbana do município de Monte Carmelo-MG, partindo de uma RN que já faz parte da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) implantada pelo IBGE em 10/05/1967, disponibilizando o último resultado através do Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011, podendo obter melhores informações desta RN no relatório da estação geodésica, presente na coluna de dados altimétricos, em (<http://www.bdg.ibge.gov.br/bdg/pdf/relatorio.asp?L1=635H>).

Na zona urbana do município de Monte Carmelo-MG foi encontrada apenas uma RN padrão IBGE, e encontra-se em local de difícil acesso, tornando seu uso restrito pelos profissionais que dela necessita. Então, partindo dessa premissa, a coleta de dados para a densificação no âmbito municipal, partiu desta RN que já faz parte da rede altimétrica de alta precisão. E trabalho este foi executado utilizando técnicas de nivelamento geométrico para coletas de dados em campo por meio de Topografia, seguindo a NBR 13133.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Datum Vertical*

Segundo LUZ et al (2002), o Datum Altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), designado usualmente Datum de Imbituba, foi definido em 1959 através da média móvel das medidas anuais do nível do mar, no período de 1949 a 1957, no Porto de Imbituba. As observações utilizadas foram coletadas por uma estação maregráfica instalada pelo *Inter-American Geodetic Survey* (IAGS) e pelas autoridades portuárias brasileiras, que fazia parte de uma rede formada por outras oito estações maregráficas ao longo da costa brasileira.

De acordo com a ALENCAR (1990), até 1946 não existia uma superfície de referência a partir da qual fossem calculadas todas as altitudes no Brasil, ou seja, não havia definido ainda o *Datum* Altimétrico Brasileiro expresso pelo Nível Médio do Mar (NMM). Somente depois que o IBGE iniciou os trabalhos para implantar no território brasileiro a rede de nivelamento de precisão, é que foi adotado o nível médio do mar, o marco de referência zero, referido ao Marégrafo de Torres, RS, como o primeiro *Datum* Altimétrico Brasileiro.

Foi temporária a adoção do Marégrafo de Torres como *Datum* Altimétrico, a finalidade era mais para atender ao cálculo de altimetria da Cadeia de Triangulação de 1ª ordem, iniciada também em 1945 ao longo do Meridiano de 49°, que iria fornecer as coordenadas dos pontos de apoio básico necessários ao mapeamento da Zona Carbonífera de Santa Catarina, trabalho conveniado com o Departamento Nacional de Produção Mineral (IBGE 1990).

Segundo também Alencar (1990), justificava-se o caráter provisório do *Datum* de Torres, estabelecido pela antiga Comissão da Carta Geral do Brasil, pelo seu curto período de observações maregráficas, que possuía apenas dados de um ano, o ano de 1919, considerando que o mínimo desejável para que sejam reduzidos os efeitos das variações periódicas provocadas pelas influências astronômicas seja um o ciclo de 19 anos (ALENCAR, 1990).

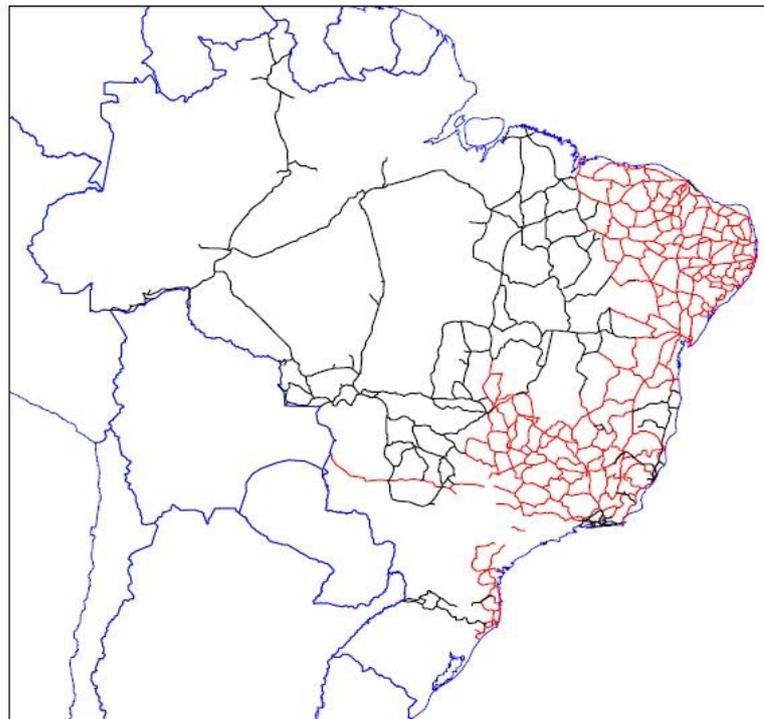
Em 1958, quando a rede de nivelamento já tinha alcançado o Estado da Paraíba, totalizando mais de 30 mil quilômetros, espalhados em 78 circuitos que estavam sendo ajustados em bloco, o *Datum* de Torres foi substituído pelo de Imbituba, que prevalece até hoje (IBGE 1990).

2.2 Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro

Freitas e Blitzkow (1999), denomina que as redes clássicas de controle vertical (rede altimétrica) são estabelecidas, em geral, mediante o nivelamento geométrico e materializadas através de marcos de concreto ou com chapas metálicas colocadas em local estável. No entanto, também atualmente podem ser obtidas via técnicas espaciais, por exemplo, o GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

A Seção de Nivelamento (SNI) teve início em 13 de outubro de 1945, começando então, nesta referida data os trabalhos de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão, dando partida ao estabelecimento da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do SGB (IBGE, 2015). Uma ideia relacionada a esta rede altimétrica brasileira pode se obter a partir da observação a seguir na Figura 1.

Figura 1: Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro



Fonte: IBGE (2017)

As medições de nivelamento geométrico foram realizadas, em sua grande maioria, com níveis Wild N3, tripés rígidos e miras invar de dupla graduação, segundo os procedimentos usuais para obtenção de alta precisão (BESERRA, 1948; IBGE, 1983; ALENCAR, 1985).

Segundo ALENCAR (1968) apud (LUZ, 2001; GUIMARÃES, 2001), o desenvolvimento da RAAP pode ser dividido em três períodos: o primeiro é onde até 1969, foram levantadas as áreas de maiores densidades populacional e desenvolvimento econômico “as linhas em vermelho” (Figura 1), correspondendo essencialmente às faixas de poucas centenas de quilômetros do litoral. As redes altimétricas de outras instituições, como a do Serviço Geográfico do Exército (SGE) na Região Sul, a do antigo Instituto Geográfico e Geológico (IGG) de São Paulo, e a do Departamento Geográfico do Rio de Janeiro, foram também aproveitadas.

O segundo período é que de 1970 a 1980, a RAAP foi estendida ao interior do país e aos pontos mais distantes do Território Brasileiro servidos por rodovias, nos estados do Acre e de Roraima, “linhas em preto”. O terceiro, partir da década de 80, passaram a ser reconstituídos os trechos da RAAP nas áreas com alto índice de destruição e também naquelas em que, no passado, existiram as redes altimétricas de outras instituições (ALENCAR, 1968).

Então, após analisar que as três etapas da Figura 1, apresentada anteriormente foram determinadas aproximadamente 65 mil RRNN, ao longo das principais rodovias e ferrovias do Brasil, correspondendo mais de 160 mil quilômetros de duplo caminhamento de nivelamento geométrico (LUZ; GUIMARÃES, 2001). Designando assim, a Rede Altimétrica de Alta Precisão, mostrada na Figura 2 torna-se de fundamental para os estudos e trabalhos relacionados à Geodésia no Brasil.

Figura 2: Rede Altimétrica de Alta Precisão



Fonte: IBGE (2017).

No passado, como visto, a altimetria era determinada por meio de nivelamento geométrico e, atualmente pode ser obtida com auxílio das observações de satélites. Com o advento do posicionamento por satélites, a determinação das altitudes geodésicas com facilidade e alta precisão. A altitude oficialmente adotada no Brasil é a ortométrica (H), a qual representa a diferença entre a superfície física terrestre e uma superfície de referência, sendo que sua grandeza tem significado físico. Assim, foram determinadas todas as altitudes dos marcos geodésicos implantados pelo IBGE no vasto território brasileiro (GOLDANI, et, al. 2004).

Os pontos nivelados para redes geodésicas verticais fundamentais são comumente obtidos com nivelamento geométrico e atualmente com a aplicação de técnicas espaciais, tal como por GNSS. No entanto, as redes atuais, tais como aquelas de países da América do Sul, ainda são predominantemente baseadas em nivelamento geométrico (FREITAS; BLITZKOW, 1999).

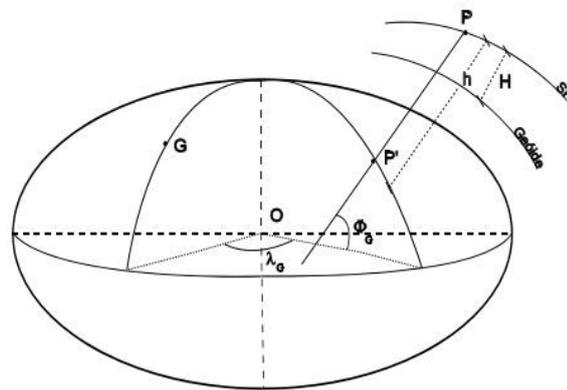
Em 10/05/1967 de acordo com as informações contidas no relatório de estação geodésica presente no banco de dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), disponível em: (<http://www.bdg.ibge.gov.br/bdg/pdf/relatorio.asp?L1=635H>), a equipe de trabalhos de campo originou nesta data na cidade de Monte Carmelo a estação 635H do tipo RN, o transporte dessa e de todas as demais RRNN que compõem a RAAP foram obtidas através do duplo caminhamento de nivelamento geométrico de visadas iguais.

2.4 Altitudes

2.4.1 Altitude elipsoidal

São consideradas altitudes geométrica, aquela que basicamente não envolvem nenhuma grandeza física para a sua determinação, na Figura 3 está exposto de forma mais objetiva. Compõem este grupo as altitudes as altitudes niveladas e geodésicas, provenientes de observações obtidas através de receptores GNSS (FREITAS; BLITZKOW, 1999). Então, denomina-se altitude elipsoidal, a distância entre a superfície física da Terra e o elipsoide de referência, medida ao longo da normal (Figura 3).

Figura 3: Terra como um elipsoide



Fonte: FREITAS; BLITZKOW (1999)

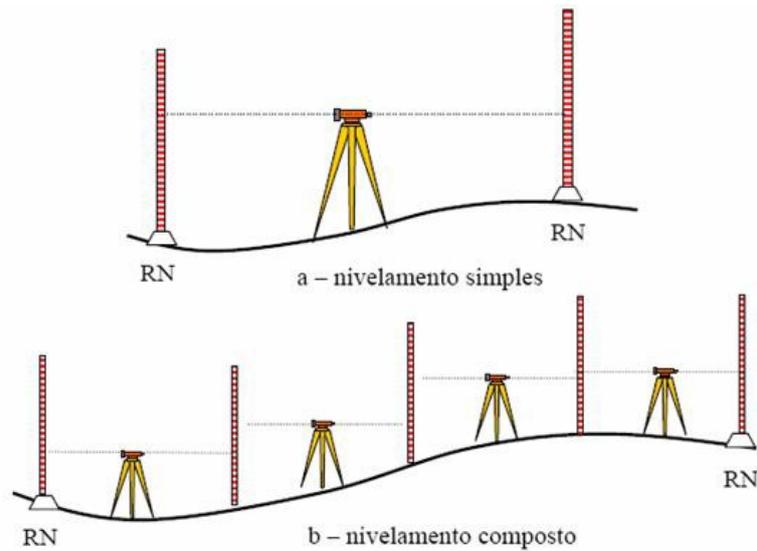
A figura geométrica que melhor representa a forma da Terra é o elipsoide, sendo que a altitude determinada é utilizando o GNSS, a qual não está relacionada ao nível médio do mar, relacionada apenas em figuras matemáticas com parâmetros conhecidos. Sendo assim, é importância conhecer a ondulação geoidal, ou, diferença entre o geoide e o elipsoide.

2.4.2 Altitude nivelada

As altitudes niveladas são obtidas com uma melhor precisão através do processo de nivelamento geométrico via métodos ópticos ou opto/eletrônicos de medição, sendo que podem ser adquiridas também através do nivelamento taqueométrico e trigonométrico (ambos não são objetivos desse trabalho). As diferenças de altitudes medidas podem ser distintas de acordo com o campo de gravidade na região, além das irregularidades topográficas ao longo do percurso (FREITAS; BLITZKOW, 1999).

Basicamente o método de obtenção de dados da altitude nivelada, segue o mesmo princípio do nivelamento geométrico, que consiste na leitura de miras graduadas, processo de ré e vante, efetuando a diferença de valores e, onde a diferença de altitude entre dois pontos, representa a altitude nivelada. Em suma, o princípio da determinação da altitude nivelada está na diferença de altitude entre dois pontos na superfície terrestre, (FREITAS; BLITZKOW, 1999). Na Figura 5 fica mais evidente a interpretação.

Figura 4: Método Nivelamento Geométrico para Altitude Nivelada

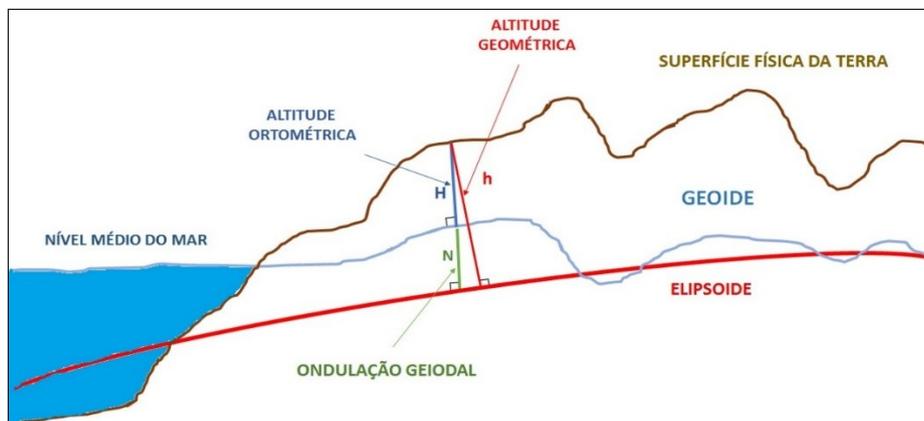


Fonte: FREITAS; BLITZKOW (1999)

2.4.3 Altitude Ortométrica

A altitude ortométrica (Figura 6), é aquela em que se determina a distância entre um ponto da superfície terrestre ou física até o geóide (superfície equipotencial que coincide com o nível médio não perturbado dos mares). Gemael (1999) define altitude ortométrica, como a distância de um ponto até o geóide, contado ao longo da vertical, podendo ser obtida por meio de nivelamento geométrico associado a gravimetria. Esse tipo de associação com a gravimetria é estudado em Geodésia, que se preocupa com o campo da gravidade e suas aplicações geodésicas.

Figura 5: Representação da altitude ortométrica



Fonte: Adaptada do Banco de Dados Geodésicos

As diferenças observadas por meio do nivelamento geométrico (ΔH) satisfazem às distâncias existentes entre as superfícies equipotenciais do campo de gravidade terrestre. O somatório dos desníveis permite conhecer a diferença de altura entre os pontos extremos de interesse.

2.5 Nivelamento

De acordo com a norma NBR 13.133 (em seu item 3.15), para execução de levantamento topográfico, o termo Nivelamento pode ser entendido como:

“Levantamento que objetiva, exclusivamente, a determinação das alturas relativas a uma superfície de referência, dos pontos de apoio e/ou dos pontos de detalhes, pressupondo-se o conhecimento de suas posições planimétricas, visando à representação altimétrica da superfície levantada.” (NBR 13.133).

Os nivelamentos são classificados na NBR 13.133 de acordo com a sua metodologia desenvolvida, desenvolvimento empregado e tolerância de fechamento. Na Tabela 1 está exposto as suas classificações.

Tabela 1: Classificação dos métodos de nivelamento

Classe	Metodologia	Desenvolvimento					Tolerâncias de fechamento
		Linha Seção	Extensão Máxima	Lance Máximo	Lance Mínimo	Nº máx. de lances	
IN Geom.	Nivelamento geométrico a ser executado com nível classe 3, utilizando miras dobráveis, centimétricas, devidamente aferidas, providas de prumo esférico, leitura a ré e vante dos três fios, visadas eqüidistantes com diferença máxima de 10 m, ida e volta em horários distintos e com Ponto de Segurança (PS) a cada km, no máximo.		10 km	80 m	15 m		12 mm \sqrt{K}
IIN Geom.	Nivelamento geométrico a ser executado com nível classe 2, utilizando miras dobráveis, centimétricas, devidamente aferidas, providas de prumo esférico, leitura do fio médio, ida e volta ou circuito fechado, com Ponto de Segurança (PS) a cada dois km, no máximo.		10 km	80 m	15 m		20 mm \sqrt{K}

Tabela 2 (continuação): Classificação dos métodos de nivelamento

IIIN Trig.	Nivelamento trigonométrico a ser realizado através de medidas de distâncias executadas com medidor eletrônico de distância - MED - classe 1, leituras recíprocas (vante e ré) em uma única série, ou medidas de distâncias executadas à trena de aço devidamente aferida, com controle estadimétrico de erro grosseiro, leituras do ângulo vertical conjugadas, direta e inversa, em uma série direta e inversa, com teodolito classe 2 ou estação total classe 2.	Princ.	10 km	500 m	40 m	40	0,15 m \sqrt{K}
		Sec.	5 km	300 m	30 m	20	0,20 m \sqrt{K}
IVN Taqueo.	Nivelamento taqueométrico a ser realizado através de leitura dos três fios sobre miras centimétricas, devidamente aferidas, providas de prumo esférico, leitura vante e ré, leitura do ângulo vertical simples, com correção de PZ ou de índice obtida no início e no fim da jornada de trabalho, por leituras conjugadas, direta e inversa, com teodolito classe 1.	Princ.	5 km	150 m	30 m	40	0,30 m \sqrt{K}
		Sec.	2 km	150 m	30 m	20	0,40 m \sqrt{K}

Fonte: NBR 13.133 (1994)

2.5.1 Métodos de nivelamento

Com a finalidade de obter a distância vertical entre dois pontos distintos, ou seja, a diferença de nível, existe várias metodologias que podem ser utilizadas. Mas para apenas fins de conhecimentos que existem outras metodologias para obter desnível. Os outros métodos existentes são conhecidos como nivelamento trigonométrico, nivelamento taqueométrico e nivelamento barométrico. Aqui neste tópico será discorrido apenas sobre o nivelamento geométrico, o qual foi o método utilizado neste trabalho.

2.5.1.2 Nivelamento Geométrico

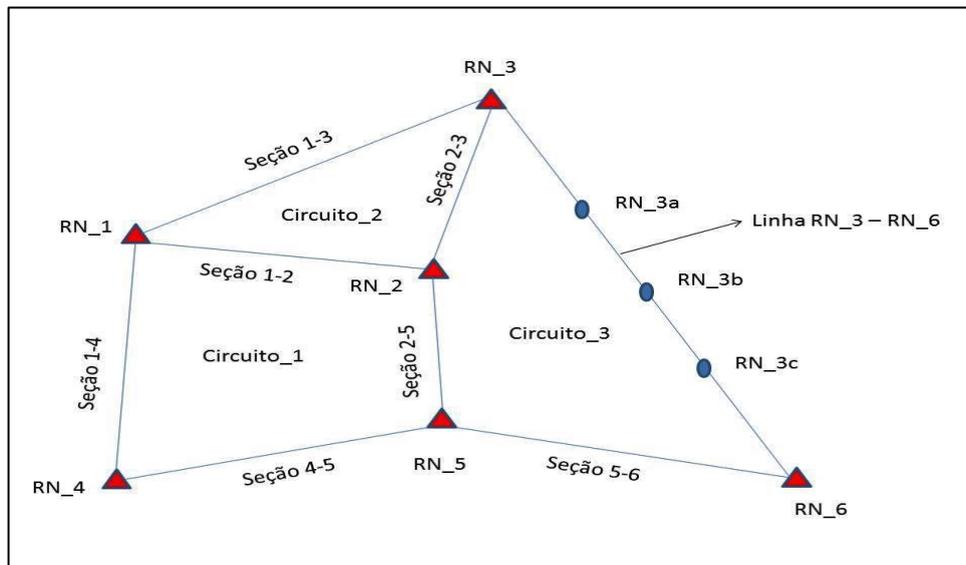
Nivelamento que realiza a medida da diferença de nível entre pontos do terreno por intermédio de leituras correspondentes a visadas horizontais, obtidas com um nível, em miras colocadas verticalmente nos referidos pontos (ABNT).

Dentro deste, alguns conceitos devem ser destacados para um melhor entendimento do processo.

- I. **Visada:** leitura efetuada sobre a mira.
- II. **Lance:** é a medida direta do desnível entre duas miras verticais;
- III. **Seção:** é a medida do desnível entre duas referências de nível e é obtida pela soma algébrica dos desníveis dos lances;

- IV. **Linha de nivelamento:** é o conjunto das seções compreendidas entre duas RN chamadas principais;
- V. **Circuito de nivelamento:** é a poligonal fechada constituída de várias linhas justapostas. Pontos nodais são as RN principais, às quais concorrem duas ou mais linhas de nivelamento;
- VI. **Rede de nivelamento:** é a malha formada por vários circuitos justapostos (Figura 7). Ver Figura 07.

Figura 6: Ilustração de uma rede altimétrica



Fonte: o autor

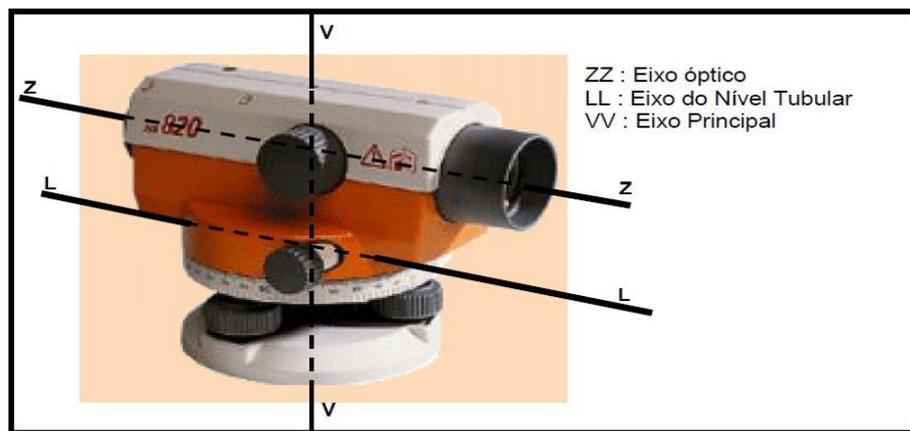
Freitas; Blitzkow (1999) trazem uma interpretação de que o problema mais usual a ser considerado no nivelamento geométrico é o de que o desnível entre dois pontos, obtido com precisão compatível com a operação, não é o mesmo, pois, estes dependem do trajeto seguido entre os dois pontos. Em um circuito fechado, mesmo que o nivelamento tenha sido conduzido com todo o rigor possível, existirá uma diferença no fechamento. Isto acontece pelo fato de que as linhas de colimação dos níveis são, nas posições niveladas, tangentes à superfície entre si equipotencial do campo da gravidade no local em diferentes superfícies equipotenciais não são paralelas.

2.5.1.3 Fontes de erros no nivelamento

Assim, como em todo e qualquer trabalho que o objetivo é a obtenção de medidas, utilizando de metodologias distintas, existe a possibilidade de ocorrer falhas, ou seja, existe fonte de erros, e no nivelamento geométrico não é diferente.

Vários são as fontes de onde podem surgir erros, como por exemplo: os erros instrumentais de um nível, estão relacionados com seu sistema de eixos (Figura 8). O eixo do nível tubular (LL) refere-se aos níveis mecânicos, os níveis automáticos utilizam um sistema de pêndulo.

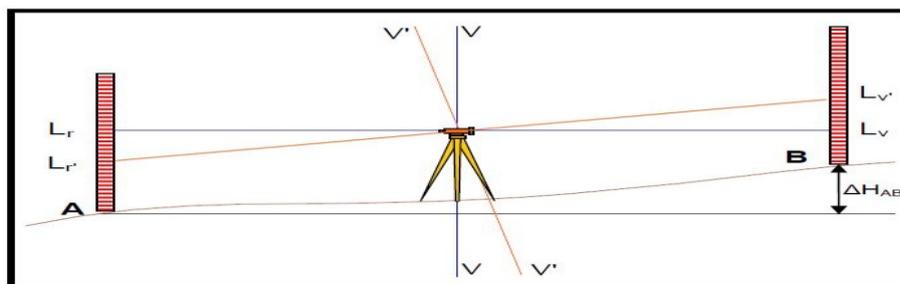
Figura 7: Sistema de eixos do nível



Fonte: VEIGA; ZEHNPFENNIG; FAGGION (2012).

- Erro de verticalidade do eixo principal, (Figura 09): ocorre quando o nível tubular não está perfeitamente coincidente com a linha horizontal, então o eixo principal do instrumento não coincide com a vertical. Este erro impossibilita a obtenção da linha horizontal de visada.

Figura 8: Demonstração do erro de verticalidade do eixo principal



Fonte: VEIGA; ZEHNPFENNIG; FAGGION. (2012)

Onde:

V'V'= eixo principal do nível;

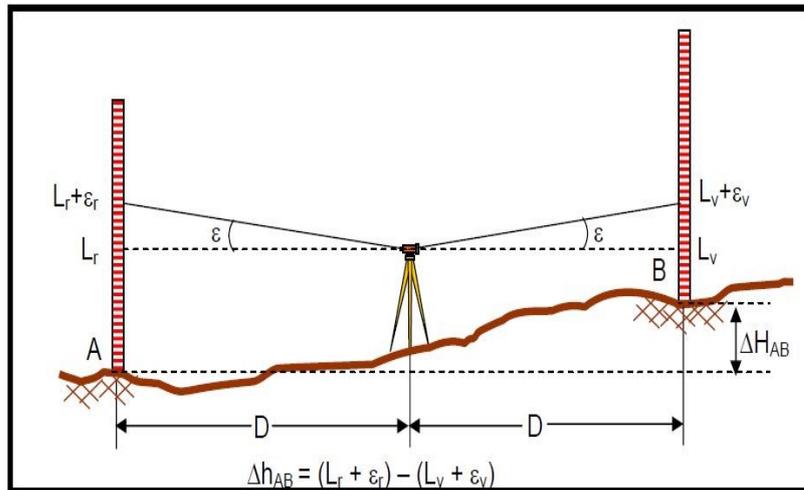
VV= vertical do lugar;

Lr' e Lv'= leituras de ré e vante, respectivamente, eivadas do erro de verticalidade;

Lr e Lv= leituras de ré e vante, respectivamente, isentas do erro de verticalidade.

Erro de colimação: ocorre quando a linha de visada não está paralela ao eixo óptico, entenda melhor na Figura 10.

Figura 9: Demonstração da influência do erro de colimação



Fonte: VEIGA; ZEHNPENNIG; FAGGION.(2012)

Onde: Lr e Lv = leituras em ré e vante, respectivamente ϵ_r e ϵ_v = erro de colimação em ré e vante, respectivamente.

Como o erro de colimação é proporcional à distância e o nivelamento geométrico de precisão utiliza visadas iguais (distância da visada de ré igual a de vante), obtém-se:

$$\epsilon_r = \epsilon_v$$

$$\Delta h_{AB} = L_r + \epsilon_r - (L_v + \epsilon_v)$$

$$\Delta h_{AB} = L_r - L_v$$

- Erro de verticalidade da mira: ocorre quando o nível esférico, localizado na parte posterior da mira, não permite a coincidência da mira com a vertical. Verificação e correção encontram-se em Faggion (1993) e Alencar (1985).
- Erro de graduação da mira: ocorre na gravação da fita de ínvar no momento de sua fabricação, ou devido discrepâncias em seu comprimento causadas pelo tempo e pelo uso. As miras de ínvar devem ser calibradas periodicamente e emitidos certificados de calibração (FAGGION, 1993).
- Erro de índice da mira: ocorre no processo de colocação da escala de ínvar no corpo da mira. Não se pode garantir que o zero da escala coincida rigorosamente com a base da mira (D' ALGE, 1986).

2.6 Ajustamento

Em Geodésia e Topografia, bem como em muitas outras áreas da ciência e da Engenharia, as grandezas observadas em campo são, frequentemente usadas para calcular outras grandezas de interesse. Visto que em muitos casos, o processamento dessas grandezas é feito por meio de expressões, cujas variáveis são as medidas do campo. Os resultados de uma mesma observação, repetida várias vezes por um mesmo operador, provavelmente não serão idênticos, por maior que seja o cuidado empregado nas observações. Assim, podemos afirmar que, de uma forma ou de outra, todas estas contêm erros.

De acordo com GEMAEL (1994), devido à natureza experimental do processo de medições, as observações são contaminadas por erros de diferentes tipos. Tradicionalmente, os erros que contaminam as observações são classificados em aleatórios, sistemáticos e grosseiros

Segundo DALMOLIN (2002):

“O ajustamento é um ramo da matemática aplicada que tem por objetivo a solução única para problemas onde o número de observações é superabundante e o sistema de equações lineares é inconsistente”.

Uma sistemática adotada nos levantamentos de campo para amenizar a influência dos erros está na grande quantidade de observações, gerando uma superabundância de resultados. Em consequência da diversidade de resultados, torna-se difícil apontar qual deles melhor

representa a real grandeza medida; para aproximar mais do real é necessário ajustar as observações por alguma modelagem matemática, através do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

Ao se realizar um ajustamento, três são as opções de modelagem matemática. Assim, quando as observações puderem ser explicitadas em função dos parâmetros, isto é, no caso de observações indiretas, usa-se o modelo das equações de observações, mais conhecido por modelo paramétrico, descrito pela equação (2):

$$L_a = F(X a) \quad (2)$$

Onde,

L_a = vetor das observações ajustadas

Xa = vetor dos parâmetros ajustados

F = função matemática não linear

De acordo com CAMARGO (2000):

“No ajustamento pelo método paramétrico, cada observação proporciona uma equação. Denotando-se por n o número total de observações, tem-se então n equações. As equações serão de tal forma que se pode explicitar cada observação em função dos parâmetros envolvidos, os quais serão em número igual a u ”.

Utilizando a expressão (3), que representa a matriz dos coeficientes normais, e a expressão (4) que representa o vetor dos termos independentes.

$$N = A^T P A \quad (3)$$

$$U = A^T P L \quad (4)$$

Onde,

A^T é a transposta da matriz dos coeficientes;

P é a matriz dos pesos;

L é o vetor das observações.

Designando assim, através de (3) e (4) o vetor das correções aos parâmetros (5).

$$X = -N^{-1}U \quad (5)$$

Aplicando os resultados de (5) ao vetor dos parâmetros aproximados, obtém (6) representando o vetor dos parâmetros ajustados:

$$X_a = X_0 + X \quad (6)$$

Onde,

X_a é o vetor dos parâmetros ajustados;

X_0 é o vetor dos parâmetros aproximados;

X é o vetor das correções aos parâmetros.

De acordo com CAMARGO (2000), a estimativa de um valor ou de um conjunto de valores, devem ser mostrados com um indicador de qualidade (precisão). No processo de ajustamento, tal precisão é obtida através da matriz variância covariância (7).

$$MVC = \sigma_0^2 N^{-1} \quad (7)$$

Onde

σ_0^2 é um valor numérico real e é obtido por (8)

$$\sigma_0^2 = \frac{X^t + L^t PL}{n - u} \quad (8)$$

Sendo assim, o ajustamento dessas observações é um quesito que se encontra em primeira instância para que os trabalhos finais tenham uma confiança maior, pois, além de apresentar uma solução única, torna as observações ajustadas consistentes com modelos matemáticos apropriados. No Apêndice A estão o passo a passo do método de ajustamento utilizado nesse trabalho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Este tópico faz descrição dos equipamentos que foram utilizados para a execução do levantamento em campo, o qual permitiu o registro das informações necessárias para a execução do projeto.

Todos equipamentos de topografia para a execução de levantamento de dados em campo devem encontrar-se aferidos e calibrados para que os resultados se enquadram nas precisões desejadas. Estações Totais, Teodolitos, Níveis, Trenas, receptores (GNSS) devem possuir certificados de aferição expedidos por entidades oficiais ou universidades.

O material utilizado para auxiliar na execução deste trabalho, desde a confecção dos marcos até a materialização das RRNN, passando também pela fase de levantamento de campo até o relatório final foram:

- Nível ótico (Figura 11): trata-se de um equipamento clássico para nivelamento. É constituído de um suporte munido de três parafusos calantes, uma luneta fixada ou apoiada sobre a barra horizontal, um nível de bolha circular para o nivelamento da base. É um instrumento que tem a finalidade de medição de desníveis entre pontos que estão a distintas alturas ou trasladar a cota de um ponto conhecido a outro desconhecido. Os níveis são classificados quanto a sua precisão, na norma NBR 13.133 é mostrado a classificação da precisão do aparelho da seguinte forma (Tabela 2).

Tabela 3: Classificação dos níveis quanto a sua precisão

Classes de níveis	Desvio-padrão
1 - precisão baixa	$> \pm 10$ mm/km
2 - precisão média	$\leq \pm 10$ mm/km
3 - precisão alta	$\leq \pm 3$ mm/km
4 - precisão muito alta	$\leq \pm 1$ mm/km

Fonte: NBR13.133

Figura 10: Nível ótico



Fonte: o autor

O aparelho que foi utilizado neste trabalho pertence ao Laboratório de Topografia e Geodésia da Universidade Federal de Uberlândia. De acordo com as especificações técnicas, este equipamento possui precisão de 2 mm/km no duplo nivelamento, atendendo assim a qualidade a priori de precisão exigida para este levantamento, em que este foi submetido a teste de aferição.

Mas para determinar a real precisão do método utilizado nesse trabalho, foi calculado o erro de fechamento para dois desníveis em uma mesma altitude por caminhos diferentes, com a somatória dos desníveis direto, e também a somatória das distâncias. O primeiro caminho foi partindo da RN inicial (IBGE) passando pela RN 4001 (Cristo), em seguida passando pela RN 4007 (Sesi), também pela RN 4008 (Exposição), assim, chegando na RN 4004 (Camilão). De forma análoga o segundo caminho (somatória dos desníveis direto e somatória das distâncias) para chegar na RN 4004 (Camilão), foi partindo da RN inicial (IBGE) passando pela RN 4001 (Cristo), em seguida passando pela RN 4002 (Matriz) e chegando assim, na RN de interesse (4004). Através da formulação (9) foi possível obter a precisão do método para esse trabalho.

$$\varepsilon = \alpha * \sqrt{d} \quad (9)$$

Onde:

ε é o erro de fechamento;

α é a precisão do equipamento;

\sqrt{d} é a distância percorrida em km.

Obteve uma precisão de 3,95 cm/km.

Esse valor foi associado em todas as distâncias, para constatar assim a influência da precisão do método utilizado para adquirir a altitude final. Sendo então esse peso de acordo com o comprimento de cada linha de nivelamento. Posteriormente o resultado desta associação em cada linha, foi utilizado na etapa do ajustamento para montar a matriz variância covariância. Sendo estes valores o peso atribuído em cada observação. Consta no Apêndice A

- **Mira** (Figura 12): são réguas graduadas que são colocadas verticalmente nos pontos a nivelar, nas quais se mede a intersecção da linha horizontal traçado pelo nível. Sua menor célula gráfica é o cm. Um nível de cantoneira ou um nível de bolha junto à mesma facilita sua verticalidade. Podem ser extensíveis ou dobráveis.

Figura 11: Régua estadimétrica



Fonte: o autor

- **Marcos** (Figura 13): Monumento confeccionado com cimento, areia, brita, em formato piramidal.

Figura 12: Marcos

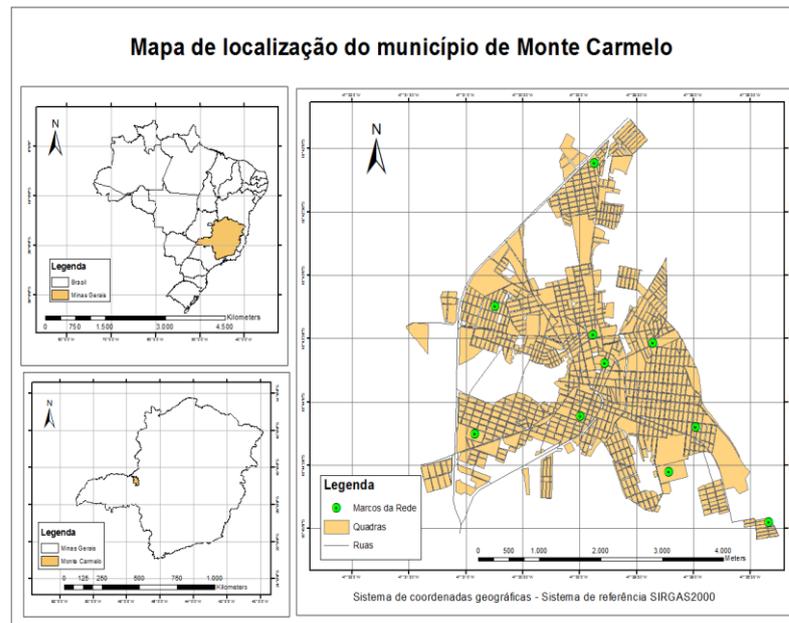


Fonte: o autor

3.2 Área de estudo

A área do trabalho está localizada na região do Alto Paranaíba, compreende a zona urbana do município de Monte Carmelo-MG. A Figura 14 demonstra com mais clareza e mais detalhes o local onde este trabalho foi executado.

Figura 13: Mapa de localização



Fonte: Rosa (2017)

Por questão de organização e sabendo de possíveis trabalhos futuros, os códigos das RRNN começaram em 4001, pois haverá um banco de dados específico, que será preenchido com resultado de outros trabalhos do curso de graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia (*Campus Araras*). Então, a partir deste pretexto, todas as monografias que possuírem o código dentro do intervalo numérico de 4000 até 6999, pode entender que são resultados intrínsecos de trabalhos relacionados com altimetria, onde os valores foram adquiridos através dos métodos de nivelamento. Nesse banco de dados terão resultado de outros trabalhos cujo os códigos que estiverem dentro do intervalo numérico de 1000 a 3999, estes estão relacionados com resultados advindo de técnicas vias GNSS. Concomitante a este raciocínio, dados de gravimetria também terão seus códigos neste banco de dados e o intervalo numérico é de 7000 a 9999.

Códigos das RRNN que compõem a densificação no município, também local onde estão implantadas estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 4: Códigos e local das RRNN

CÓDIGO	4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	4008	4009	4010
LOCAL	Cristo	Matriz	Rosário	Camilão	Fucamp	Catulina	Sesi	Exposição	Sta Rita	São Sebastião

Fonte: o autor

4 METODOLOGIA

A abordagem metodológica desenvolvida encontra-se resumida na Figura 15, onde propõe um cuidadoso planejamento das atividades que permeou as etapas do trabalho.

Genericamente, as etapas vistas nesse trabalho foram:

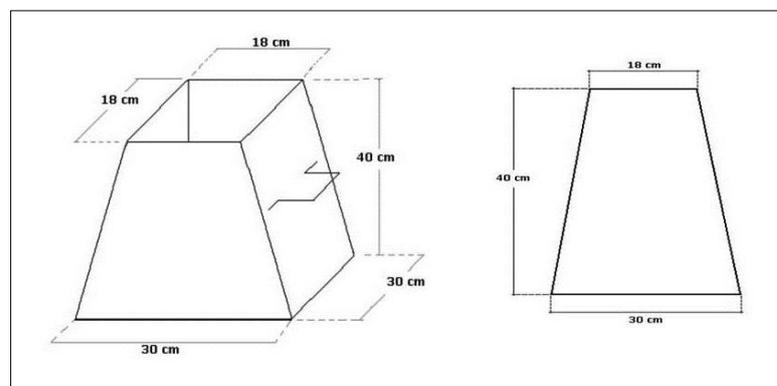
Figura 14: Fluxograma abordando as etapas do trabalho



Fonte: O autor.

Para densificação da rede, após definir o tema, um planejamento estratégico foi elaborado para assim iniciar os trabalhos de campo. O passo inicial dos trabalhos de campo foi a definição do local onde implantar os marcos. Após essa definição foram confeccionados marcos com formato e medidas especiais, seguindo as especificações do IBGE a fim de que estes monumentos tenham característica que se assemelham as RRNN implantadas na RAAP. Na Figura 16, pode ter uma noção melhor relacionada aos formatos dos marcos.

Figura 15: Formato para confecção dos marcos



Fonte: Adaptado de IBGE (2008)

4.1 Procedimentos de levantamento em campo

4.1.1 Linhas de nivelamento

Como visto, para compor uma rede altimétrica, é necessário que alguns critérios sejam respeitados, como por exemplo: exista ligação entre uma RN e outra. Então, a densificação da rede foi formada por várias linhas de nivelamento dentro do perímetro urbano do município, como pode observar na Tabela 4. Tais ligações entre as RRNN foram constituídas da forma em que sempre atendessem a melhor logística:

Tabela 5: Distâncias entre as RRNN

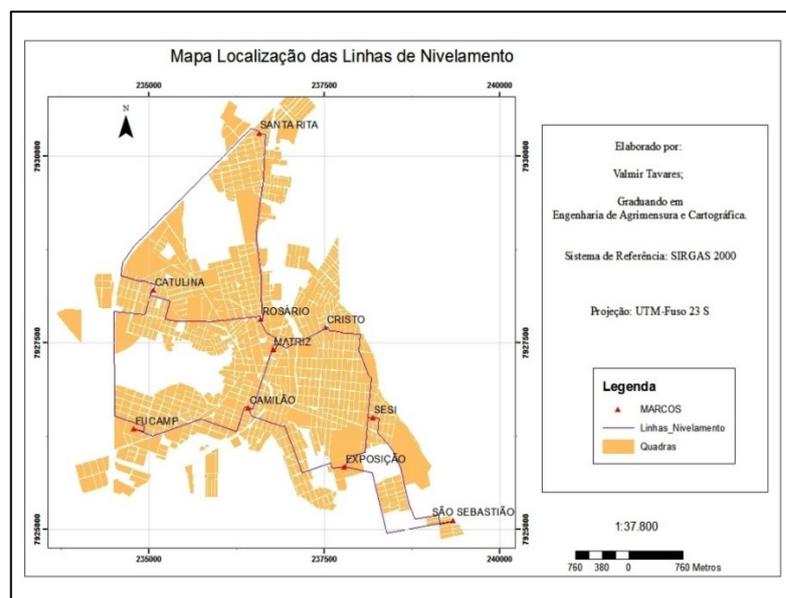
Linhas de Nivelamento	Distância (Km)
RN-> CRISTO	0,028
CRISTO -> MATRIZ	0,884
MATRIZ -> CAMILÃO	1,016
CAMILÃO -> FUCAMP	1,831
MATRIZ -> ROSÁRIO	0,587
ROSÁRIO -> SANTA RITA	2,335
ROSÁRIO -> CATULINA	1,986
CRISTO -> SESI	1,358
SESI -> EXPOSIÇÃO	0,665
SANTA RITA -> CATULINA	2,848
CATULINA -> FUCAMP	2,614
CAMILÃO-> EXPOSIÇÃO	2,234
EXPOSIÇÃO ->SÃO SEBASTIÃO	2,029
SESI-> SÃO SEBASTIÃO	2,514
Σ	21,571

Fonte: o autor

A metodologia que foi utilizada no decorrer deste trabalho abordou o uso de técnicas de nivelamento geométrico composto de visadas iguais, partindo de uma RN já com altitude ortométrica conhecida, em que esta foi implantada pelo IBGE em 10/05/1967 com o seu último valor disponibilizado através do ajuste de 15/06/2011 pelo Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica, possuindo o código 635H e valor da altitude ortométrica de 887,4474m com desvio padrão de 0,07m, mais informações desta poderá ser adquirido em <http://www.bdg.ibge.gov.br/bdg/pdf/relatorio.asp?L1=635H>.

Ao todo, foram implantados dez marcos para compor a rede altimétrica no âmbito municipal, proporcionando ao total quatorze linhas de nivelamentos e obtendo as ligações entre as RRNN. Sendo que os critérios para a escolha do local de cada um, foram: fácil acesso, praças públicas, distribuição espacial de tal forma que abrange maior parte da cidade e tenha uma melhor logística para o levantamento de campo. Sabendo que já existia uma RN padrão IBGE, onde dela, partiu para os outros pontos (marcos) implantados em locais distintos na cidade. A figura 17, objetiva mostrar de forma espacial os locais e, principalmente a ideia do itinerário de onde passaram as linhas de nivelamento.

Figura 16: Mapa de localização das linhas de nivelamento



Fonte: o autor

Todos os marcos foram implantados em local que possibilitam acessá-los com facilidade (nas praças públicas), isto só foi possível, juntamente com a autorização e parceria da Prefeitura Municipal de Monte Carmelo-MG, onde a mesma assumiu a responsabilidade de confeccionar e implantar os marcos (RN). Nas Figuras 18,19 e 20, ilustram essa implantação.

Figura 17: Mosaico das etapas para implantação dos marcos



Fonte: o autor

Figura 18: Mosaico das etapas para implantação dos marcos



Fonte: o autor

Figura 19: RN implantada



Fonte: o autor

4.1.2 Coleta de dados

Primeiramente foram feitos reconhecimentos de campo, de acordo com o levantamento de cada linha, onde nestas foram definidos os melhores traçados a percorrer. Tal visitas foram feitas a fim de obter uma familiaridade com possíveis obstáculos, tais como alta declividade, caminhos com várias mudanças de direções, dentre outros. Todos estes intemperes são condições que poderiam influenciar no rendimento do trabalho em campo.

Para efetuar a coleta de dados, foi efetuado o nivelamento duplo, ou seja, o nivelamento e contranivelamento de forma simultânea, isso por critérios de controle e segurança principalmente de erros grosseiros, sabendo também que são eliminados os erros sistemáticos, erros de efeitos de colimação, erros pela curvatura terrestre e os erros pela refração atmosférica.

Neste procedimento as leituras foram efetuadas da seguinte forma:

- ✓ Para o nivelamento faz a leitura lida em ré e a leitura lida em vante e faz as anotações na caderneta de campo;
- ✓ Para o contranivelamento modificou-se a posição do nível (aumentando ou diminuindo a sua altura no tripé), para obter leituras em outra posição nas régua stadimétricas. Faz a leitura lida em ré e a leitura lida em vante e faz as anotações na caderneta.

Esse procedimento (nivelamento e contranivelamento simultâneo) foi feito para que as leituras fossem efetuadas nas mesmas condições de temperatura e pressão atmosférica. Para manter também a rigorosidade das distâncias do equipamento entre uma visada a ré e uma visada a vante no mesmo lance, e que essas medidas fossem mais semelhantes possível uma da outra.

O levantamento foi feito da forma em que as miras ficaram perfeitamente perpendiculares no momento de efetuar a leitura, condição esta que foi monitorada pelo nível de cantoneira. Figura 21.

Figura 20: Verticalidade da régua



Fonte: o autor

As distâncias das visadas foram de aproximadamente iguais e de no máximo, 40m, de modo a compensar os efeitos da curvatura terrestre e da refração atmosférica, além de melhorar a exatidão do levantamento e por facilitar a leitura da mira.

Os horários dos levantamentos obedeceram aos seguintes critérios para que não houvesse influência de refração.

- ✓ Ao amanhecer, na medida que já conseguia efetuar as leituras, até as dez horas da manhã, com um intervalo de parada até as quinze horas com o intuito de evitar os efeitos do fenômeno de refração.

Sendo que o levantamento foi no perímetro urbano e este fenômeno é mais forte neste intervalo, pela questão da temperatura do asfalto.

- ✓ As visadas foram efetuadas acima de 50 cm do solo, evitando ao máximo o efeito de reverberação.
- ✓ As réguas graduadas foram posicionadas aos pares, com alternância a vante e a ré, de modo que a régua posicionada no ponto de partida (lida a ré) foi posicionada, em seguida, no ponto de chegada (lida a vante), sendo conveniente que o número de lances seja par, isso com a finalidade de que se existir algum erro de índice em alguma régua, este será anulado.

E ao mesmo tempo no levantamento de campo (Figura 22), uma calculadora fez necessário para ter um controle de erros grosseiros. Em questão, principalmente do desnível direto, no qual é obtido de lance em lance (fio médio lido em ré subtraindo o fio médio lido em vante). Pois quando acontecia, era percebido no mesmo instante, e assim corrigido imediatamente, não sendo necessário o trabalho de voltar em campo para corrigir um erro que pode ser solucionado em primeira instância de campo.

Figura 21: Trabalhos de campo



Fonte: o autor

As leituras nas régua milimétricas foram efetuadas por somente um operador no equipamento em toda linha, anotado e confirmada por outro membro (o anotador). Todos os valores das leituras foram anotados em uma caderneta de campo Apêndice B, compondo assim os dados de uma só a linha.

Para então posteriormente efetuar os procedimentos de escritório que envolvem os cálculos matemáticos e obter assim os valores final das RRNN para a densificação da rede altimétrica de referência na zona urbana de Monte Carmelo-MG.

4.2 Procedimentos de escritório

4.2.1 Cálculo do Desnível

A altitude de um ponto é obtido através de desníveis partindo de uma RN conhecida. São calculados através de simples formulações matemáticas, que cosiste apenas em obter a distância vertical, podendo ser direto ou composto. O processo direto é quando obtém a diferença de nível através das leitruas das régua estadimétricas em apenas um lance. O processo composto advém da equação 01, ou seja, é quando os pontos de interesse encontram-se a uma distância superior a distância de um lance, existindo a necessidade de fazer vários lances. Para tanto, como o objetivo principal deste trabalho é obter a altitude das RRNN implantadas, e estas encontram-se a uma distância superior a ditância de um único lance, utilizou então o procedimento composto.

$$H_{interesse} = H_{conhecida} + \sum \Delta h \quad (10)$$

Onde:

$H_{interesse}$ é altitude em que deseja encontrar,

$H_{conhecida}$ é a altitude que já é conhecida,

$\sum \Delta h$ é a somatória de todos os desníveis.

Sendo que,

$$\Delta h = FM_{ré} - FM_{vante}$$

Onde:

Δh é a diferença de nível de apenas um lance,

$FM_{ré}$ é a leitura do fio médio lido na régua posicionada na posição ré,

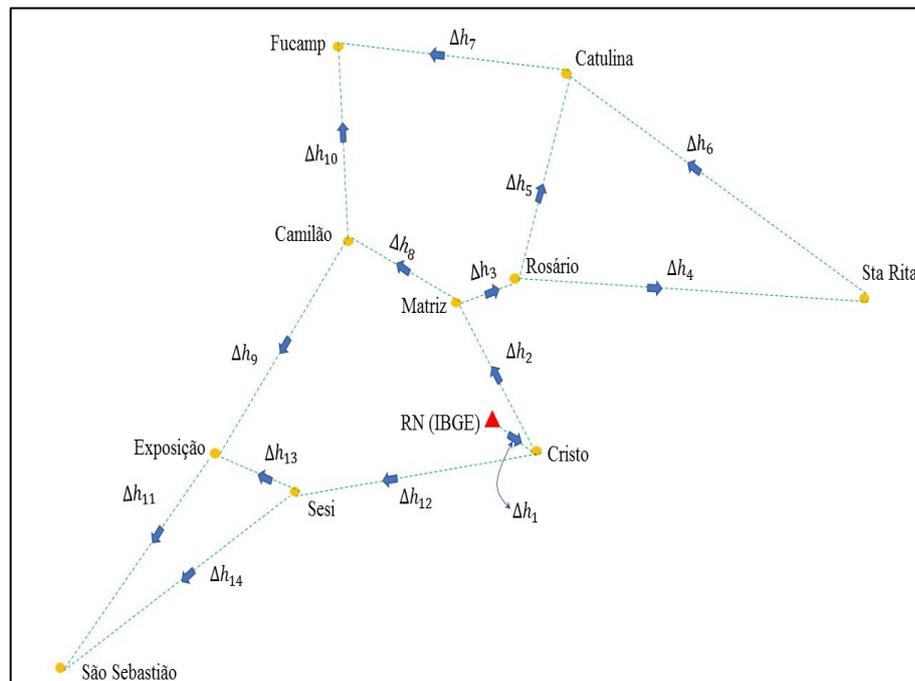
FM_{vante} é a leitura do fio médio lido na régua posicionada na posição vante.

$$H_{interesse} = H_{conhecida} + \Delta h$$

Os valores finais a serem considerados para definir como sendo as altitudes ortométrica de cada RN, foram obtidos através do ajustamento de todas as observações adquiridas em campo. O método do ajustamento foi o Paramétrico. A etapa de cálculos para ajustamento foi possível pois em cada linha de nivelamento, os procedimentos e a rigorosidade imposto pela norma NBR 13133 para nivelamento do tipo IN foram alcançados. Todas as equações e os procedimentos utilizados no ajustamento encontra no Apêndice A.

A Figura 36 demonstra como foi organizada a rede para uma visão geral e simplificada do sentido de caminhamento em que cada desnível (observação) foi adquirido. Também para um fácil entendimento de onde saíram as equações de observações. Sendo que estes desníveis são os valores que compõem o vetor das observações. As dez incógnitas (altitudes) foram ajustadas em função das quatorze observações (desníveis) encontrados.

Figura 22: Disposição do caminhamento



Fonte: O Autor.

Designando assim as equações de observações, para através dela determinar os coeficientes e confeccionar a matriz A. Sendo elas da seguinte forma:

$$\Delta h_1 = H_{Cristo} - H_{RN}$$

$$\Delta h_2 = H_{Matriz} - H_{Cristo}$$

$$\Delta h_3 = H_{Rosário} - H_{Matriz}$$

$$\Delta h_4 = H_{Sta Rita} - H_{Rosário}$$

$$\Delta h_5 = H_{Catulina} - H_{Rosário}$$

$$\Delta h_6 = H_{Catulina} - H_{Sta Rita}$$

$$\Delta h_7 = H_{Fucamp} - H_{Catulina}$$

$$\Delta h_8 = H_{Camilão} - H_{Matriz}$$

$$\Delta h_9 = H_{Exposição} - H_{Camilão}$$

$$\Delta h_{10} = H_{Fucamp} - H_{Camilão}$$

$$\Delta h_{11} = H_{São Sebastião} - H_{Exposição}$$

$$\Delta h_{12} = H_{Sesi} - H_{Cristo}$$

$$\Delta h_{13} = H_{Exposição} - H_{Sesi}$$

$$\Delta h_{14} = H_{São Sebastião} - H_{Sesi}$$

4.3 Custo do projeto

Todo projeto de engenharia existe um valor de custo para a sua execução, e com isso neste trabalho também não é diferente, mesmo que para essa realização não houve, pois existe o vínculo com a Universidade, onde se trata de um Trabalho de Conclusão de Curso. Mesmo assim, vale a pena frisar o valor simbólico deste trabalho. Na Tabela 5 estão expostos todos os valores de forma rateada para todos os tipos de mão de obra, equipamentos e materiais utilizados.

Tabela 6 : Simulação de custos

Descrição	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Marco padrão IBGE	12	R\$ 30,00	R\$ 360,00
Dia locação Nível Otico	15	R\$ 250,00	R\$ 3.750,00
Deslocamento veículo	45 km	R\$ 2,50	R\$ 120,00
Dia de campo Engenheiro	15	R\$ 252,27	R\$ 3.784,05
Dia de campo ajudante	45	R\$ 90,00	R\$ 4.050,00
Dia de Cálculo	5	R\$ 252,27	R\$ 1.261,35
Σ	-----	-----	R\$ 13.325,40

Fonte: o autor

De acordo com o Simulador Referencial de Preços de Serviços de Agrimensura disponível em <http://www.amiranet.com.br/simulador>, o valor para a execução deste trabalho estaria enquadrado no seguinte valor mostrado a seguir na Tabela 6.

Tabela 7: Simulação de custos

Descrição	Quantidade (km)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Nivelamento Geométrico classe IN	21,571	R\$ 1.304,00	R\$ 28.128,58

Fonte: Adaptado de Revista Mira (2017)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado no qual se almejou desde a proposição inicial nos objetivos deste trabalho, estão apresentados neste tópico. Com o intuito de apresentá-lo de uma forma objetiva, para que possa ter um entendimento claro relacionado com as altitudes ortométrica, os resultados são apresentados em tabelas e figuras. Os valores resultantes do processo são expostos para facilitar a compreensão e análise do comportamento das altitudes ao longo da área trabalhada.

Após adquirir todos os dados através dos levantamentos de campo, os mesmos foram inseridos em planilhas eletrônicas no excel, o qual continha toda as formulações para calcular de forma simultânea os desníveis, e obtendo assim as altitudes niveladas de cada RN. Podendo

então assim, elaborar para uma boa visualização do comportamento em forma de perfil, os gráficos de cada seção de nivelamento.

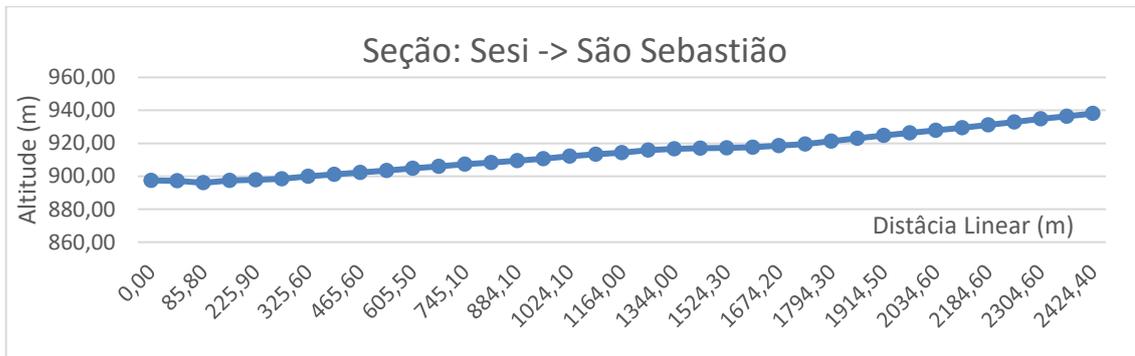
Com o intuito de representar o traçado por onde foram feito todos os caminhos, entre uma RN e outra, segue todos os perfis vertical a partir da Figura 23 até a Figura 35, de maneira ilustrativa o comportamento do terreno ao longo de cada linha.

Figura 23: Perfil Vertical



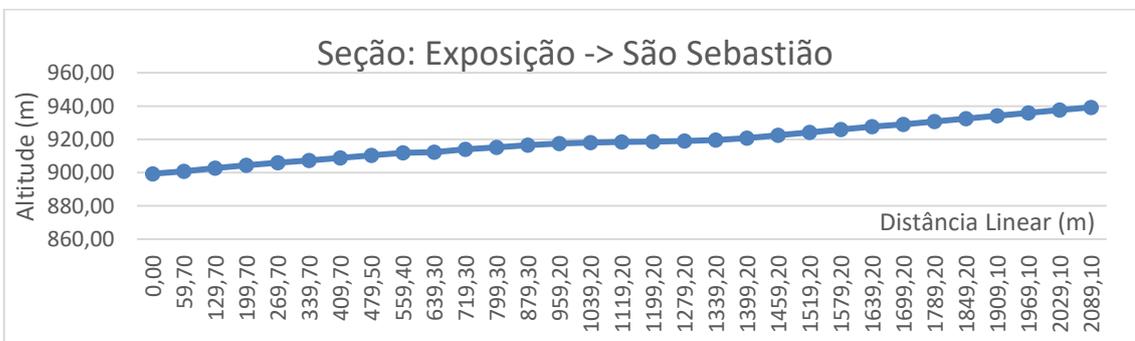
Fonte: o autor

Figura 24: Perfil Vertical



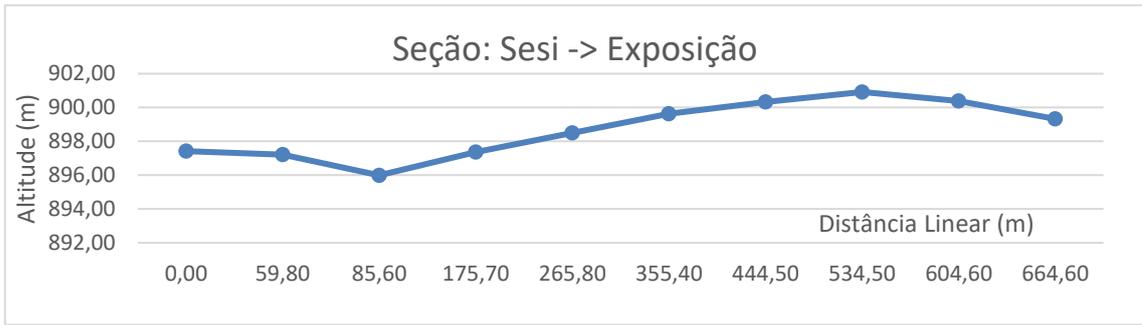
Fonte: o autor

Figura 25: Perfil Vertical



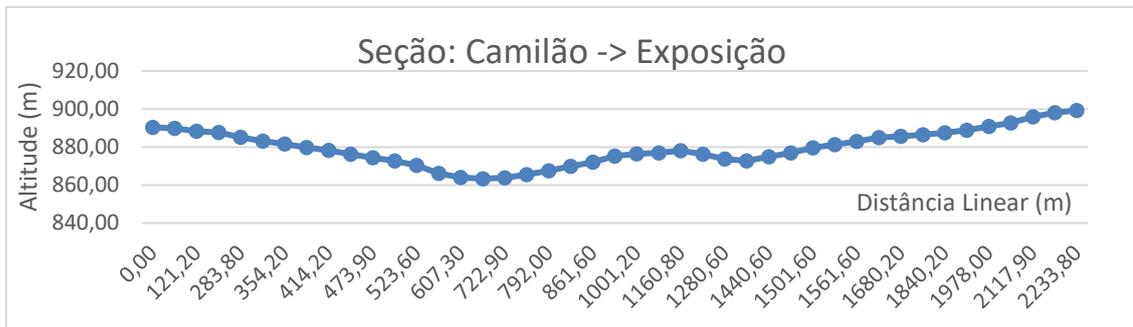
Fonte: o autor

Figura 26: Perfil Vertical



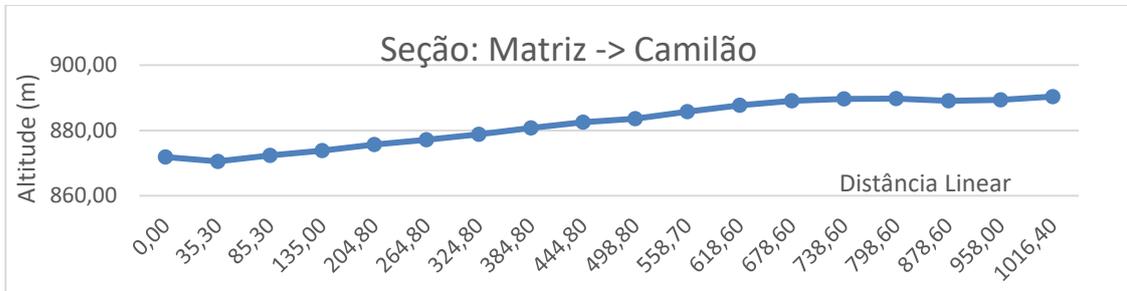
Fonte: o autor

Figura 27: Perfil Vertical



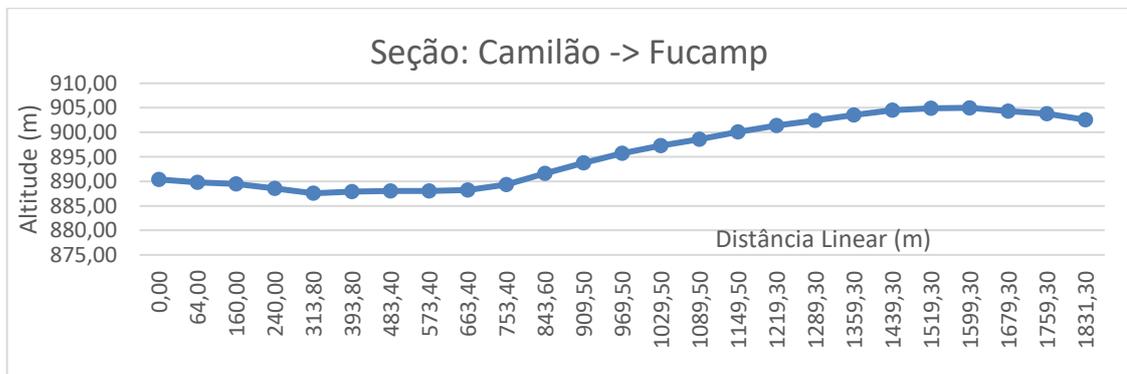
Fonte: o autor

Figura 28: Perfil Vertical



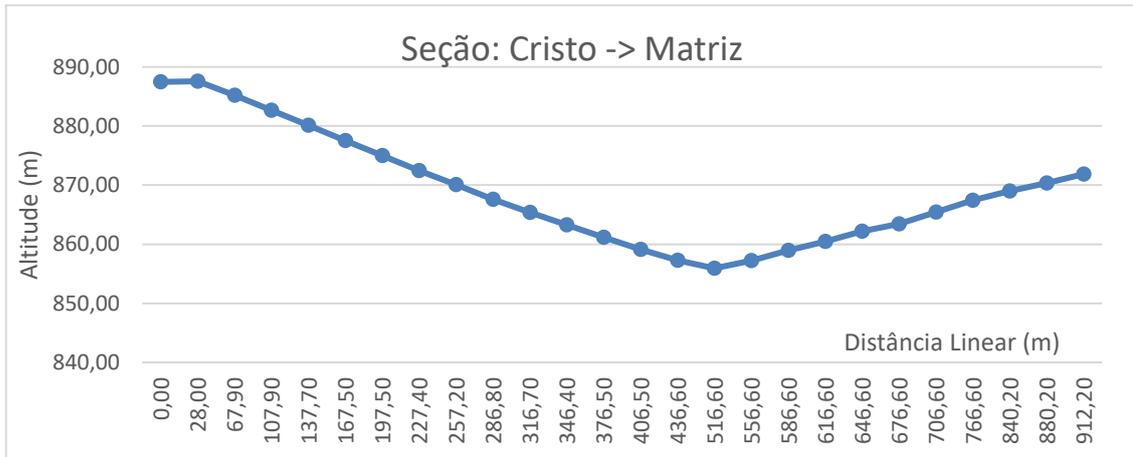
Fonte: o autor

Figura 29: Perfil Vertical



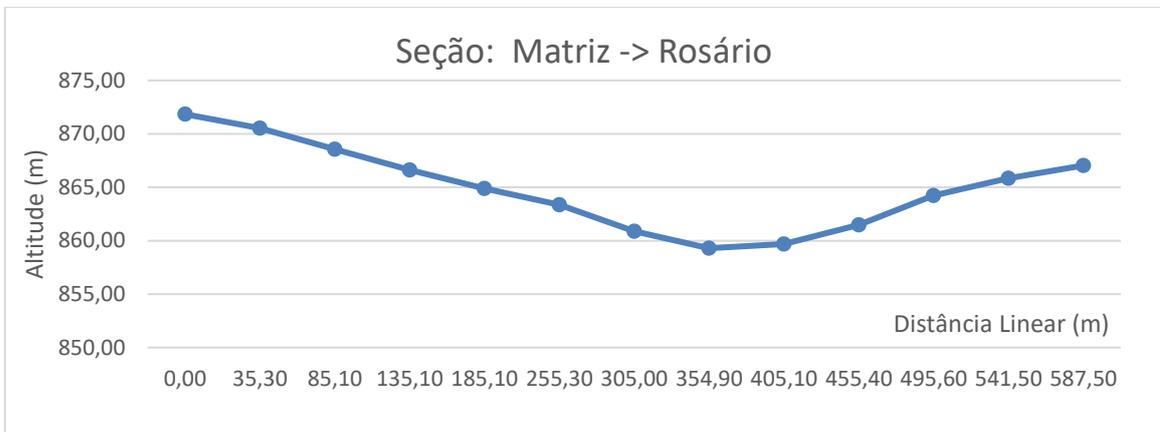
Fonte: o autor

Figura 30: Perfil Vertical



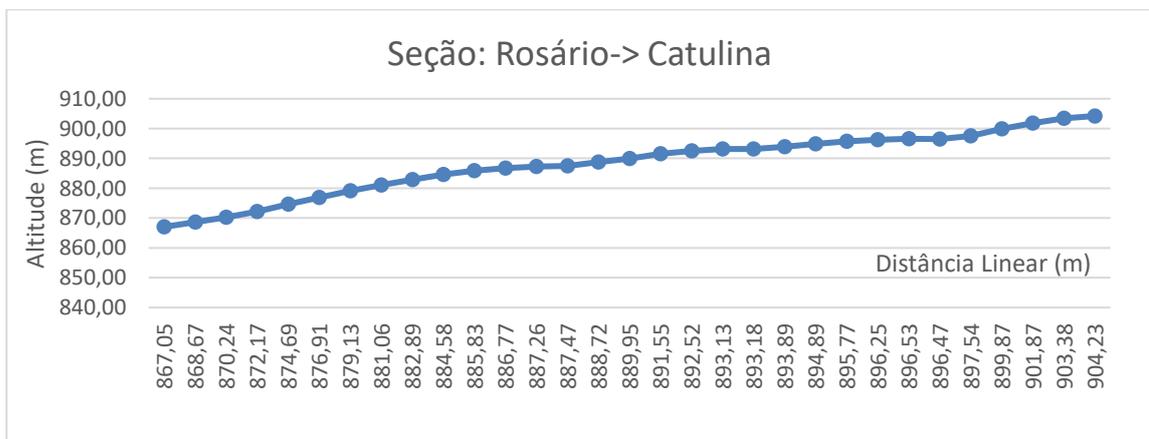
Fonte: o autor

Figura 31: Perfil Vertical



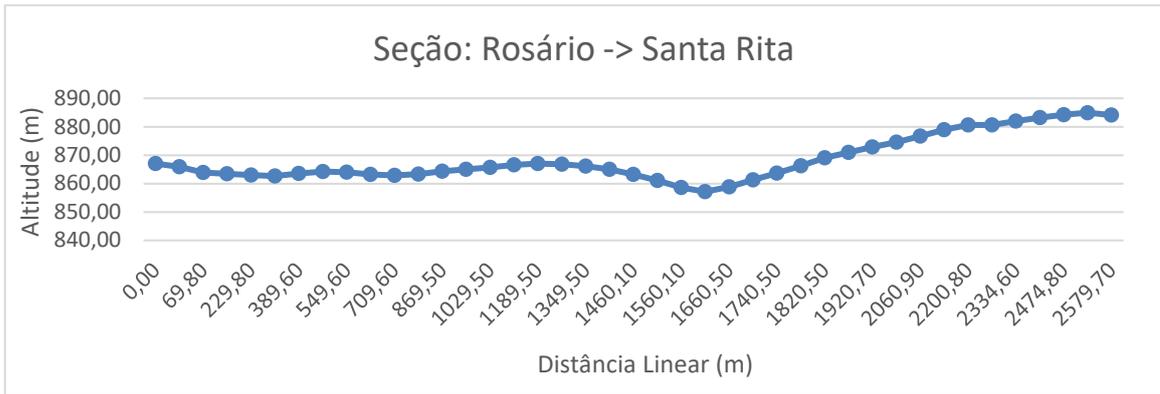
Fonte: o autor

Figura 32: Perfil Vertical



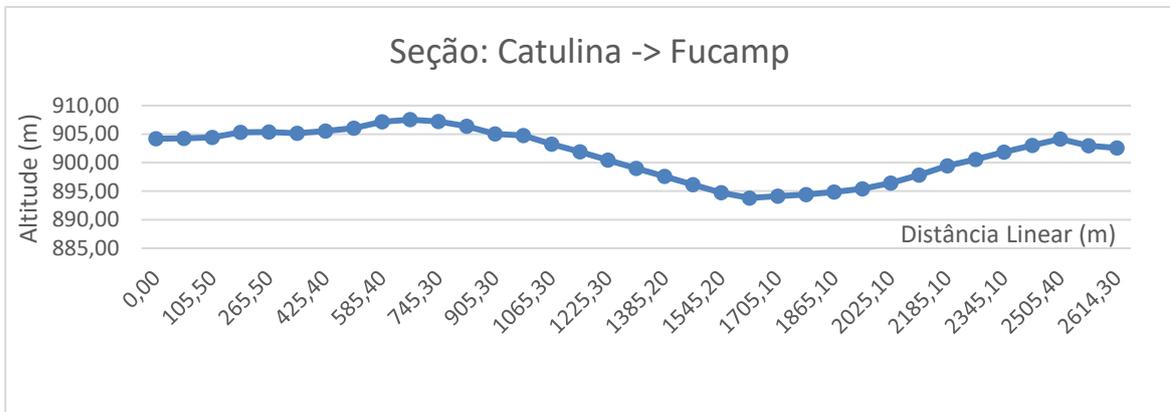
Fonte: o autor

Figura 33: Perfil Vertical



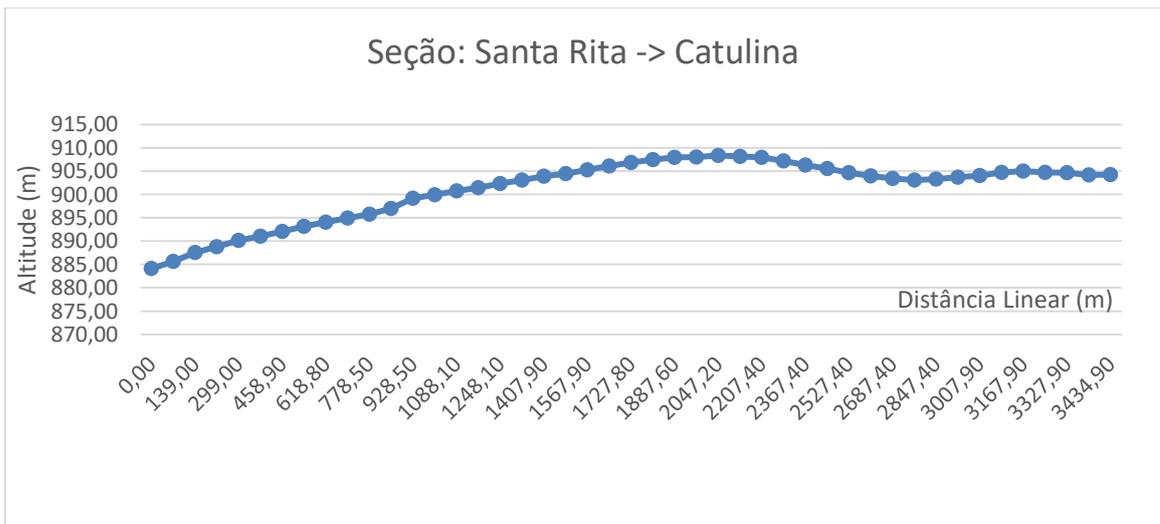
Fonte: o autor

Figura 34: Perfil Vertical



Fonte: o autor

Figura 35: Perfil Vertical



Fonte: o autor

Rosa (2017) executou uma metodologia para obtenção de coordenadas geográficas, por meio de técnicas GNSS, sendo possível por bom planejamento para a implantação de redes

geocêntrica (rede planimétrica), onde as coordenadas em um determinado ponto são adquiridas com facilidade, rapidez e precisão. Então essa técnica está sendo a mais utilizada atualmente, principalmente pela agilidade em relação aos métodos de nivelamento a para obter a coordenada da altitude. Na Tabela 7 estão dispostos os valores da altitude final ajustada através do método de nivelamento geométrico de visadas iguais. E também os valores das altitudes advindas dos rastreios via GNSS.

Tabela 8: Altitude Nivelamento Ajustada Versus Altitude Geodésica (GNSS)

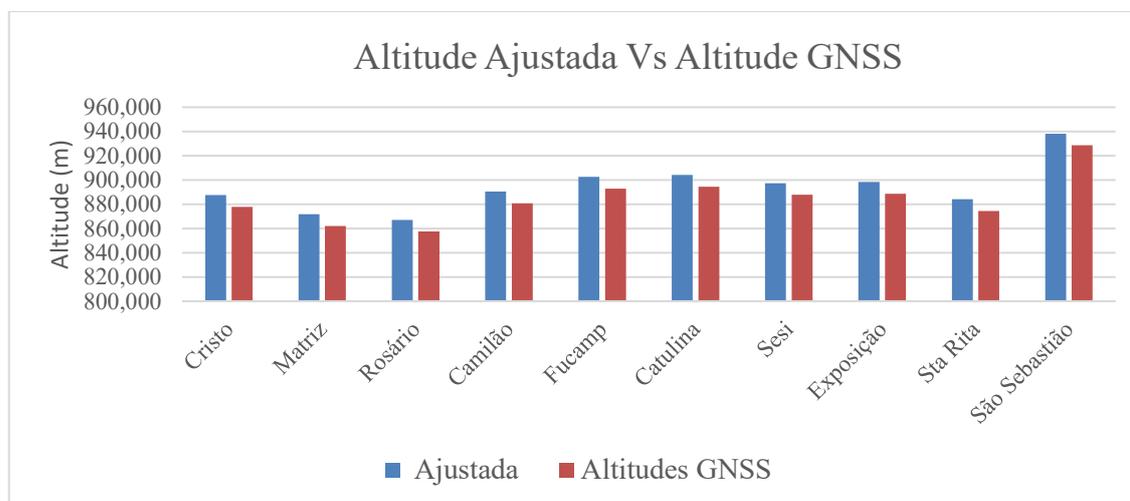
Código RN	Local	Altitude Nivelamento Ajustada (m)	Desvio Padrão (m)	Altitude Geodésica (GNSS) (m)	Desvio Padrão (m)
4001	Cristo	887,570	± 0,0006	877,872	± 0,015
4002	Matriz	871,833	± 0,019	862,121	± 0,013
4003	Rosário	867,043	± 0,023	857,482	± 0,011
4004	Camilão	890,373	± 0,048	880,798	± 0,013
4005	Fucamp	902,584	± 0,040	892,867	± 0,014
4006	Catulina	904,225	± 0,026	894,345	± 0,016
4007	Sesi	897,425	± 0,042	887,862	± 0,011
4008	Exposição	898,255	± 0,027	888,599	± 0,014
4009	Sta Rita	884,112	± 0,029	874,346	± 0,016
4010	São Sebastião	938,119	± 0,044	928,730	± 0,015

Fonte: o autor

Para a altitude geométrica a coordenada h , (via GNSS), principalmente quando envolve projetos que a finalidade é o transporte de fluidos através de escoamento superficial em um longo percurso. Escoamento este que envolve apenas a força da gravidade. Alguns cuidados devem ser adotados, pois a altitude geométrica geralmente não obedece a lei da gravidade, onde as características da superfície física da Terra (relevo) têm um comportamento variável em uma distância considerável pequena. Já o elipsoide (referencial da altitude geométrica) tem um comportamento que sua mudança é perceptível somente em uma longa distância. Podendo levar

falhas graves aos projetos. As diferenças dos valores final da altitude do mesmo ponto, por meio de duas técnicas distintas, podem ser analisadas melhor, a seguir na Figura 37.

Figura 36: Altitude Ajustada Versus Altitude GNSS



Fonte: o autor

As altitudes niveladas foram obtidas através dos desníveis direto entre uma RN e outra. Essa altitude foi calculada através da somatória dos desníveis diretos. Todos os valores finais da altitude nivelada obedeceram a média da altitude de interesse. Essa média foi possível através da somatória dos desníveis adquiridos por caminhos distintos até a RN de interesse. No mínimo, foram dois caminhos diferentes que interligam as RRNN, como foi mostrado na Figura 36.

Compreendendo que nenhum resultado possui valor científico ou técnico se não estiver acompanhado de sua precisão, o ajustamento é feito para que haja uma solução única, onde existe mais de uma observação para uma única incógnita. Induzindo assim um maior nível de confiabilidade no resultado final.

Tratando-se de um levantamento que utilizou técnicas de topografia convencional, onde também os cálculos foram efetuados sem considerar nenhuma grandeza física, ou seja, sem associar o valor médio da aceleração da gravidade em cada ponto onde foram posicionadas as réguas graduada. Pontos estes, que compõem os lances que formam a linha de nivelamento. Sendo que valor da aceleração da gravidade é variável de acordo com a declividade no traçado, e variável também de acordo com as camadas que compõem a crosta terrestre.

Sabendo que todas essas grandezas envolvidas e técnicas não utilizadas, poderiam ter influenciado no levantamento, afetando-o de forma significativa para uma melhor e uma maior confiabilidade dos resultados final. Nota-se que o resultado é relativamente confiável, pois a

média de todos os desvios padrão é de 0,030m, sendo que a maior variação obtida (desvio padrão), ou seja, a maior flutuação em torno da realidade não é superior a 0,048m.

Os maiores desvios padrão são perceptíveis nas altitudes em que as RRNN estão localizadas a uma maior distância do ponto inicial (RN IBGE). A precisão final é proporcional à distância percorrida, ou seja, quanto maior for a linha, e maior a quantidade de lances utilizados, mais alto será o desvio padrão, pois está relacionado com a precisão do equipamento. Sendo assim, as altitudes onde as linhas de nivelamento de maior comprimento são as mais afetadas, pois a precisão do equipamento que foi utilizado é de 3,95 cm/km.

Para validar a Altitude GNSS em termos de trabalhos físicos é necessário aplicar a transformação da ondulação geoidal em cada ponto. A ondulação geoidal pode ser obtida através do valor da altitude geométrica (GNSS) subtraindo o valor da altitude ortométrica (Nivelamento). Um grande problema está intrínseco a essa associação. Pois, o fato de ser bem trabalhoso e árduo o transporte da altitude ortométrica através de nivelamento geométrico para todos os pontos de interesse, visto que dependendo da região não existe de forma densificada as RRNN que fazem parte da RAAP.

Mas para facilitar essa transformação, o MAPGEO2015 é uma forte ferramenta que foi elaborado pelo IBGE para desenvolver um modelo de ondulação geoidal cada vez mais preciso e eficaz para aplicações nas áreas de mapeamento e engenharia no Brasil. Podendo fornecer a assim a ondulação geoidal pontual.

Para obter a ondulação pontual através do MAPGEO2015 é necessário que insira no *software* as coordenadas planimétricas do ponto, podendo ser inseridas em formato de arquivo, quando deseja obter a ondulação geoidal de vários pontos, e via teclado, quando deseja obter a ondulação geoidal de poucos pontos.

Através do valor da ondulação geoidal obtida neste processo, basta aplicar a transformação ($N=h-H$), com a manipulação desta equação obtém a altitude ortométrica (H). Não sendo necessário então, executar longos percursos de nivelamento. Para obter melhores informações sobre o MAPGEO2015 basta acessar em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm.

A ondulação geoidal pode ser adquirida através de metodologias distintas. Não é o propósito neste trabalho discorrer sobre todas elas. O resultado da ondulação geoidal adquirida através da técnica altitude geométrica (GNSS) juntamente com a altitude ortométrica (nivelamento), mais conhecida como GNSS sobre Nivelamento ($N=h-H$).

Uma análise entre a discrepância da ondulação geoidal proveniente do MAPGE2015 com a proveniente do GNSS sobre nivelamento pode ser feita nesses 10 pontos que densificou no município. A aquisição das coordenadas via GNSS (latitude, longitude e altitude geométrica) para essa análise, são advindas da rede horizontal que está implantada no município.

Para obter então o valor da ondulação geoidal, foi inserido no MAPGEO2015 as coordenadas planimétricas, que retornou instantaneamente o valor da ondulação geoidal do ponto. E também foi adquirida através da diferença da altitude geométrica com a altitude ortométrica ($N=h-H$). Então na Tabela 8 estão disponíveis os valores da ondulação geoidal proveniente dessas duas metodologias.

Tabela 9: Ondulação geoidal GPS/Niv Versus MAPGEO2015

Código RN	Local	GPS/ Niv N= h-H (m)	N (MAPGEO 2015) (m)	Diferença (m)
4001	Cristo	-9,70	-9,65	-0,05
4002	Matriz	-9,71	-9,65	-0,06
4003	Rosário	-9,61	-9,67	0,06
4004	Camilão	-9,58	-9,63	0,05
4005	Fucamp	-9,72	-9,65	-0,07
4006	Catulina	-9,88	-9,71	-0,17
4007	Sesi	-9,56	-9,61	0,05
4008	Exposição	-9,66	-9,6	-0,06
4009	Sta Rita	-9,77	-9,74	-0,03
4010	São Sebastião	-9,39	-9,56	0,17

Fonte: o autor

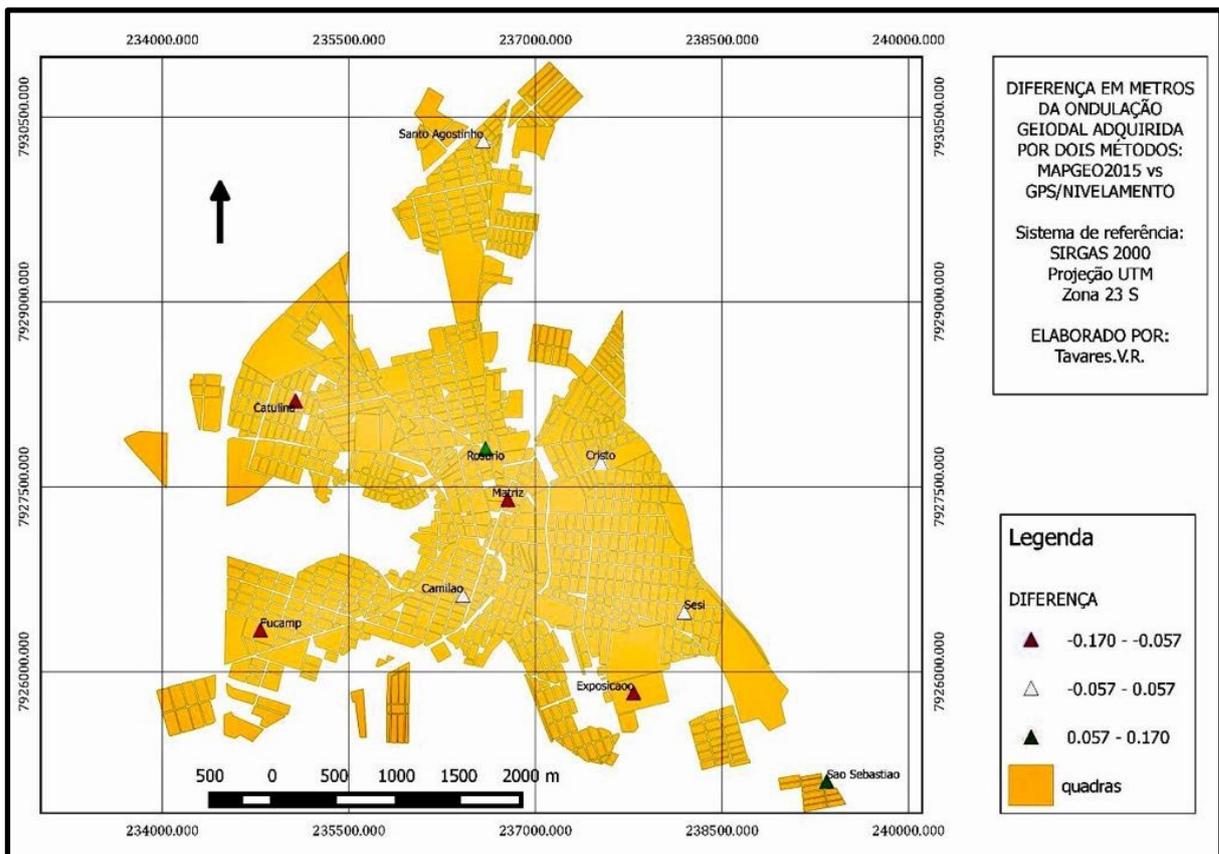
A ondulação geoidal com o valor negativo mostra que o elipsoide nessa região situa abaixo da superfície física da Terra. Nota se que o desvio padrão é de 0,094 da discrepância

entre a ondulação geoidal adquirida pelo MAPGEO2015 com a ondulação geoidal adquirida pelo GNSS sobre nivelamento. A **RN 4010** e a **RN 4006** apresentaram valores da discrepância fora do padrão (*outlier*). Sem a interferência desses valores o desvio padrão da discrepância entre as outras RRNN é de 0,056. Sendo que o motivo desse *outlier* pode estar relacionado com a precisão do equipamento utilizado na coleta de dados no nivelamento, ou também com algum erro grosseiro na coleta de dados vias GNSS.

Porém em próximos trabalhos que já estão em andamento, existirá a possibilidade de detectar falhas que originou esse (*outlier*) valor que está fora do padrão das demais RRNN. Então no resultado deste trabalho demonstra como as discrepâncias seguem um valor aproximado através de técnicas diferentes. Isso comprova a validade e a eficiência do MAPGEO2015 para aquisição da ondulação geoidal no ponto de interesse.

Para efeitos de visualização pontual, na figura 38 estão disponíveis de forma coroplética, o efeito da diferença da ondulação geoidal.

Figura 37: Mapa representando a diferença da ondulação geoidal



Fonte: o autor

6 CONCLUSÃO

Ficou evidente que, de acordo com as condições existentes, todas as etapas foram executadas de forma que obteve um resultado significativo proporcionando a consciência de passos e procedimentos fundamentais para planejamento e execução de obras de Engenharia, visto na prática. Assim, os objetivos foram alcançados com êxito, resultando em real aprendizado do conteúdo trabalhado na prática durante todo esse tempo de estudo. Capacitando com mais qualificação para atuar com profissionalismo enquanto Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo.

Visto que com uma boa interpretação de todos os resultados expostas nas tabelas de cada procedimento, ficou claro que os mesmos foram alcançados com sucesso, com uma atenção especial na última tabela, onde nesta estão expostos o resultado final, que era desde o início, o objetivo principal deste trabalho. Sendo este os valores do desvio padrão das altitudes ajustadas. Também das discrepâncias entre as diferentes metodologias aplicados para o mesmo objetivo (determinar a altitude).

Mais estudos e trabalhos poderão e devem ser feitos nestas RRNN implantadas, pois estes resultados já os tornarão público, facilitando assim a sua aquisição pelos usuários que demonstrar interesse na melhoria da rede. Poderá também fazer mais linhas de nivelamentos para obter mais observações, ou seja, maior quantidade de desníveis para um controle de qualidade da rede, com um novo ajustamento independente. Podendo estas RRNN, serem utilizadas como pontos de referência de nível para vários outros trabalhos, tanto na comunidade acadêmica. A implementação de novas RRNN próximas as já existentes (intervisibilidade entre duas RN de coordenadas conhecidas) também o tornará uma rede no qual possibilitará ideias para novos trabalhos intrínsecos aos métodos utilizados em topografia .

Uma ideia para atribuir mais robustez nessas altitudes é por exemplo: associar a aceleração da gravidade em cada ponto, ou seja, fazer um levantamento gravimétrico no município. Também estudos relacionados a análises de percursos e precisão de equipamentos, através de ajustamento de observações poderão ser feitos para obter mais detalhes nessas altitudes, e analisar influencias externas.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. C. M. **Sistema Nacional de Nivelamento de 1º Ordem. Conferência nacional de Geociências**, IBGE, Rio de Janeiro, 1968.

ALENCAR, J. C. M. **Nivelamento geodésico** – manual de instruções. Distrito de Levantamentos Geodésicos – IBGE, 1985.

BESERRA, H. **Instruções para Nivelamentos de Precisão**. Rio de Janeiro: CNG. vii, 29 p. Biblioteca Geográfica Brasileira, Série C, n. 4. 1948.

CAMARGO, P.O. **Ajustamento de Observações**. Notas de aula do Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, Campus Presidente Prudente- FCT/UNESP, 2000.

DALMOLIN, Q. **Ajustamento por mínimos quadrados**. Edição Revisada. Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - UFPR, 2002.

FAGGION, P. L. **Contribuição para implantação de um sistema de aferição de miras na Universidade Federal do Paraná**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

Veiga, L, A, K; Zehnpfennig, M, A, Z; Faggion, P, L; **FUNDAMENTOS DE TOPOGRAFIA**. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

FREITAS, S, R, C.; BLITZKOW, D.; Altitudes e geopotencial - Trabalho publicado no “IGeS Bulletin N.9 – International Geoid Service, June 1999, 47 – 62, Milan.

GEMAEL, C. **Introdução à geodésia física**. Curitiba: Editora da UFPR, 1999. 302 p.2002.

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

GOLDANI, D; MAGRO, F, H, S; GENRO, R, S; SALOMONI, R; **Determinação de um modelo geoidal local para o município de porto alegre Universidade Federal do Paraná**. -Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR, 2004.

IBGE, **Padronização de Marcos Geodésicos**- Agosto de 2008.

LUZ, R, T; GUIMARÃES, V, M; **Realidade e Perspectivas da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Departamento de Geodésia** – IBGE II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, maio/2001, Curitiba, PR.

LUZ, R,T; FREITAS, S, R, C; DALAZOANA, R; **Acompanhamento do Datum Altimétrico Imbituba através das Redes Altimétrica e Maregráfica do Sistema Geodésico Brasileiro**—VII Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra, octubre/2002, Santiago, Chile.

NBR 13.133- **Associação brasileira de normas técnicas**- Execução de levantamento topográfico - Maio, 1994.

ROSA, S, R; **Implantação de rede geodésica do município de Monte Carmelo – MG** – Monografia Apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia-Campus Monte Carmelo - Julho, 2017.

APENDICE



Monografia de Estação Geodésica

Estação: 4001		Nome da Estação: 4001		Tipo: RN	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 16/06/2017	
Conexões: 1001		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18° 43' 31,49732" S	Altitude Ortométrica (m):	887,570	Gravidade (mGal):	
Longitude:	47° 29' 20,93989" W	Sigma Altitude (m):	0,0006	Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	877,872	Datum: IMBITUBA		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,022	Data de medição:	05/05/2016	Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,016	Data do processamento:	12/07/2017	Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,030				
UTM (N):	7.927.723,044				
UTM (E):	237.524,514				
MC:	-45				
Sistema de Referência:	SIRGAS2000				
Data de medição:	19/09/2016				
Data do processamento:	14/11/2016				
Método de medição: Nivelamento Geométrico (visadas iguais)					
Observações:					
Descrição da localização: Marco de concreto piramidal localizado na praça do Cristo					

Foto detalhe:



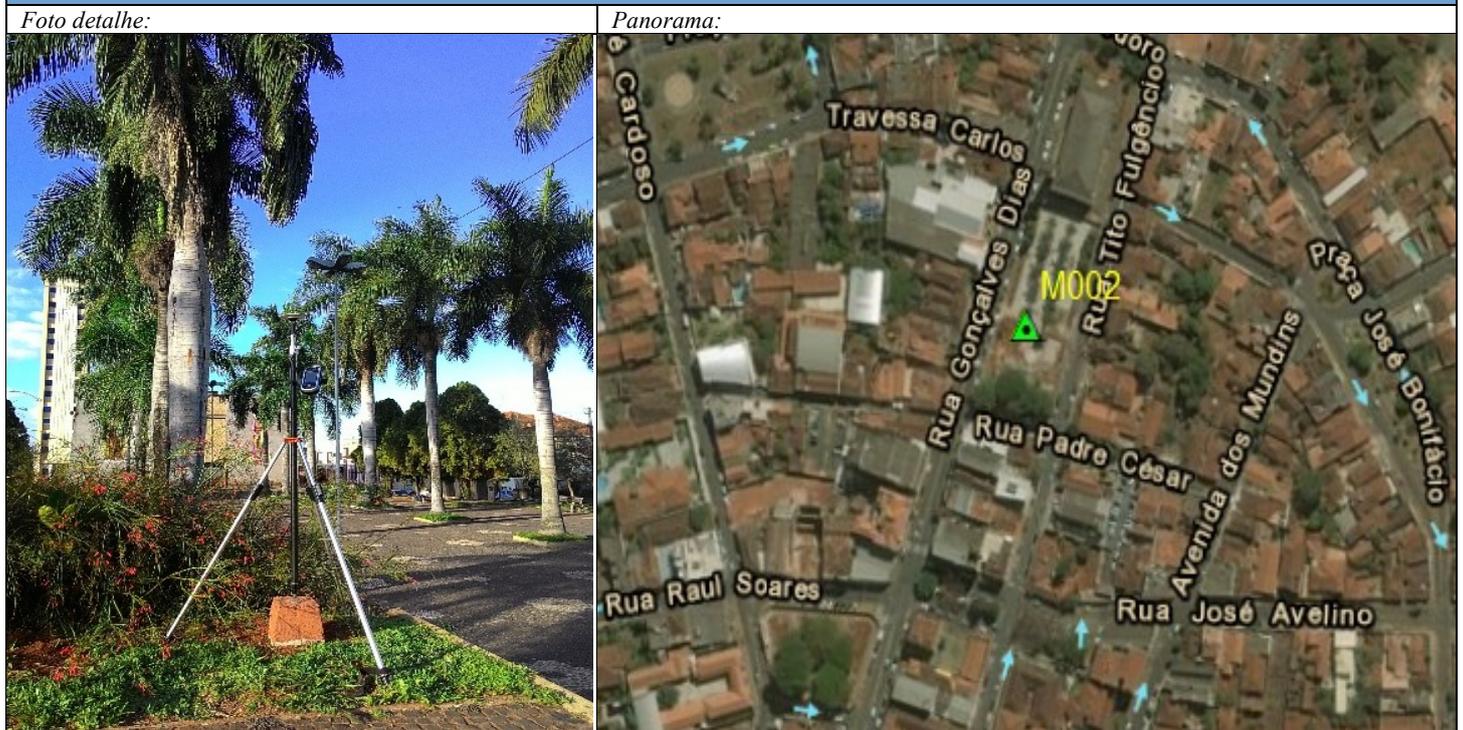
Panorama:





Monografia de Estação Geodésica

<i>Estação:</i> 4002	<i>Nome da Estação:</i> 4002	<i>Tipo:</i> RN			
<i>Município:</i> Monte Carmelo	<i>UF:</i> MG	<i>Última Visita:</i> 16/06/2017			
<i>Conexões:</i> 1002	<i>Estado de Conservação do marco:</i> Bom				
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
<i>Latitude:</i>	18° 43' 40,99543" S	<i>Altitude Ortométrica (m):</i>	871,833	<i>Gravidade (mGal):</i>	
<i>Longitude:</i>	47° 29' 46,47399" W	<i>Sigma Altitude (m):</i>	0,019	<i>Sigma gravidade:</i>	
<i>Altitude Geométrica (m):</i>	862,121	<i>Datum:</i> IMBITUBA		<i>Datum:</i>	
<i>Sigma Latitude (m):</i>	0,018	<i>Data de medição:</i>	05/05/2016	<i>Data de medição:</i>	
<i>Sigma Longitude (m):</i>	0,014	<i>Data do processamento:</i>	12/07/2017	<i>Data do processamento:</i>	
<i>Sigma Altitude Geométrica (m):</i>	0,026				
<i>UTM (N):</i>	7.927.420,444				
<i>UTM (E):</i>	236.780,304				
<i>MC:</i>	-45				
<i>Sistema de Referência:</i> SIRGAS2000					
<i>Data de medição:</i>	19/09/2016				
<i>Data do processamento:</i>	14/11/2016				
<i>Método de medição:</i> Nivelamento Geométrico (visadas iguais)					
<i>Observações:</i>					
<i>Descrição da localização:</i>					
Marco de concreto piramidal localizado na praça da igreja Matriz					





Monografia de Estação Geodésica

Estação: 4003		Nome da Estação: 4003		Tipo: RN	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 16/06/2017	
Conexões: 1003		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18° 43' 27,31605" S	Altitude Ortométrica (m):	867,043	Gravidade (mGal):	
Longitude:	47° 29' 53,5277" W	Sigma Altitude (m):	0,023	Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	857,482	Datum: IMBITUBA		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,018	Data de medição:	16/06/2016	Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,012	Data do processamento:	12/07/2017	Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,022				
UTM (N):	7.927.838,299				
UTM (E):	236.567,698				
MC:	-45				
Sistema de Referência:	SIRGAS2000				
Data de medição:	18/07/2016				
Data do processamento:	14/11/2016				
Método de medição: Nivelamento Geométrico (visadas iguais)					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado na praça da igreja do Rosário					
Foto detalhe:			Panorama:		



Monografia de Estação Geodésica

Estação: 4004		Nome da Estação: 4004		Tipo: RN	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 16/06/2017	
Conexões: 1004		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18° 44' 07,79945" S	Altitude Ortométrica (m):	890,373	Gravidade (mGal):	
Longitude:	47° 30' 01,06317" W	Sigma Altitude (m):	0,048	Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	880,798	Datum: IMBITUBA		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,022	Data de medição:	16/06/2016	Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,014	Data do processamento:	12/07/2017	Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,026				
UTM (N):	7.926.590,001				
UTM (E):	236.364,309				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	26/09/2016				
Data do processamento:	14/11/2016				
Método de medição: Nivelamento Geométrico (visadas iguais)					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado na praça do Camilão					

Foto detalhe:



Panorama:





Monografia de Estação Geodésica

Estação: 4005		Nome da Estação: 4005		Tipo: RN	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 16/06/2017	
Conexões: 1005		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18° 44' 14,48917" S	Altitude Ortométrica (m):	902,584	Gravidade (mGal):	
Longitude:	47° 30' 53,63912" W	Sigma Altitude (m):	0,040	Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	892,867	Datum: IMBITUBA		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,020	Data de medição:	22/10/2016	Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,016	Data do processamento:	12/07/2017	Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,028				
UTM (N):	7.926.362,579				
UTM (E):	234.826,519				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	26/09/2016				
Data do processamento:	14/11/2016				
Método de medição: Nivelamento Geométrico (visadas iguais)					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado na FUCAMP					
Foto detalhe:			Panorama:		
					



Monografia de Estação Geodésica

Estação: 4006	Nome da Estação: 4006	Tipo: RN
Município: Monte Carmelo	UF: MG	Última Visita: 16/06/2017
Conexões: 1006	Estado de Conservação do marco: Bom	

PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18° 43' 18,07576" S	Altitude Ortométrica (m):	904,225	Gravidade (mGal):	
Longitude:	47° 30' 49,75929" W	Sigma Altitude (m):	0,026	Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	894,345	Datum: IMBITUBA		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,024	Data de medição:	15/10/2016	Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,018	Data do processamento:	12/07/2017	Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,032				
UTM (N):	7.928.099,361				
UTM (E):	234.915,753				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	26/09/2016				
Data do processamento:	14/11/2016				

Método de medição: Nivelamento Geométrico (visadas iguais)

Observações:

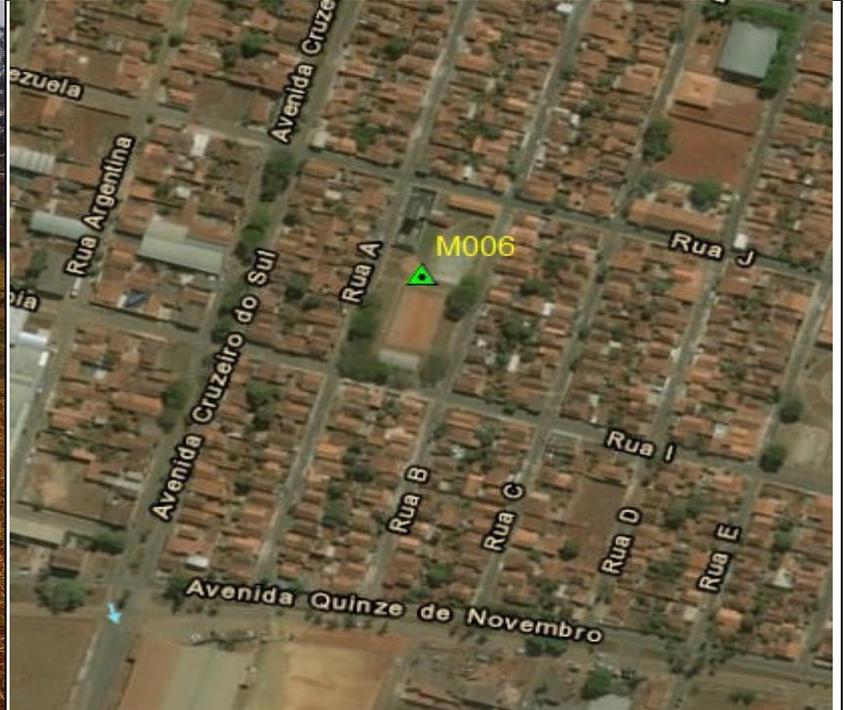
Descrição da localização:

Marco de concreto piramidal localizado na praça do Bairro Catulina

Foto detalhe:



Panorama:





Monografia de Estação Geodésica

Estação: 4007		Nome da Estação: 4007		Tipo: RN	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 16/06/2017	
Conexões: 1007		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18° 44' 13,14604" S	Altitude Ortométrica (m):	897,425	Gravidade (mGal):	
Longitude:	47° 28' 58,42833" W	Sigma Altitude (m):	0,042	Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	887,862	Datum: IMBITUBA		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,014	Data de medição:	02/06/2016	Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,008	Data do processamento:	12/07/2017	Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,022				
UTM (N):	7.926.451,226				
UTM (E):	238.202,056				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	11/07/2016				
Data do processamento:	14/11/2016				
Método de medição: Nivelamento Geométrico (visadas iguais)					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado no SESI (laboratórios campus UFU Monte Carmelo)					
Foto detalhe:			Panorama:		
					



Monografia de Estação Geodésica

Estação: 4008		Nome da Estação: 4008		Tipo: RN	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 16/06/2017	
Conexões: 1008		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18° 44' 32,0943" S	Altitude Ortométrica (m):	898,255	Gravidade (mGal):	
Longitude:	47° 29' 07,52299" W	Sigma Altitude (m):	0,027	Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	888,599	Datum: IMBITUBA		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,012	Data de medição:	02/06/2016	Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,016	Data do processamento:	12/07/2017	Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,028				
UTM (N):	7.925.867,004				
UTM (E):	237.943,658				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	03/10/2016				
Data do processamento:	14/11/2016				
Método de medição: Nivelamento Geométrico (visadas iguais)					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado no parque de Exposições					
Foto detalhe:			Panorama:		
					



Monografia de Estação Geodésica

Estação: 4009		Nome da Estação: 4009		Tipo: RN	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 16/06/2017	
Conexões: 1009		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18° 42' 06,79769" S	Altitude Ortométrica (m):	884,112	Gravidade (mGal):	
Longitude:	47° 29' 51,64365" W	Sigma Altitude (m):	0,029	Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	874,346	Datum: IMBITUBA		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,024	Data de medição:		Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,018	Data do processamento:	12/07/2017	Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,032				
UTM (N):	7.930.315,649				
UTM (E):	236.588,253				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	24/10/2016				
Data do processamento:	14/11/2016				
Método de medição: Nivelamento Geométrico (visadas iguais)					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado na praça do bairro Santa Rita de Cássia					
Foto detalhe:			Panorama:		
					



Monografia de Estação Geodésica

Estação: 4010		Nome da Estação: 4010		Tipo: RN	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 16/06/2017	
Conexões: 1010		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18° 44' 58,53892" S	Altitude Ortométrica (m):	938,119	Gravidade (mGal):	
Longitude:	47° 28' 18,0407" W	Sigma Altitude (m):	0,044	Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	928,730	Datum: IMBITUBA		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,026	Data de medição:	09/06/2016	Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,016	Data do processamento:	12/07/2017	Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,030				
UTM (N):	7.925.071,497				
UTM (E):	239.404,938				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	19/09/2016				
Data do processamento:	14/11/2016				
Método de medição: Nivelamento Geométrico (visadas iguais)					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado na praça do bairro São Sebastião					
Foto detalhe:			Panorama:		
					

Ajustamento

Modelo Matemático Utilizado

$$L_a = F(X_a)$$

Nome dado as variáveis envolvidas para o procedimento MATEMÁTICO em software

P= inv(MVC)

At= A'

P= inv(MVC)

U=(At*P*L)

N= (At*P*A)

Ni=inv (N)

Ni1= (Ni*(-1))

XA= (Ni1*U)

V= ((A*XA)+L)

Vt= (V')

n =14

u=10

FVP= ((Vt*P*V)/(n-u))

MVC_A=(FVP*Ni)

DP=(sqrt(MVC_A))

D=diag (DP)

A=[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0; -1 1 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 -1 1 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 -1 1 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 -1 1 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 -1 1 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 -1 1 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 -1 1 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 -1 1 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 1 0]

Lb=[0.123; -15.736; -4.789; 17.082; 37.182; 20.132; -1.627; 18.541; 7.893; 12.203; 39.919; 9.850; 0.836; 40.617]

Xa=[-887.4474]

Lzero=[Xa; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0]

L=Lzero-Lb

MVC=[0.1106^2 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 3.4928^2 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 2.3202^2 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 9.2213^2 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 7.8431^2 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 11.2476^2 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 10.3271^2 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 4.0150^2 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 8.8239^2 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.2340^2 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 8.0149^2 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 5.3633^2 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2.9056^2 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 9.5760^2]

// MATRIZ A

--> A=[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0; -1 1 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 -1 1 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 -1 1 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 -1 1 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 -1 1 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 -1 1 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 -1 1 0 0; 0 -1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 1 0; 0 0 0 0 0 0 0 -1 1 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 1 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 1]

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

// Vetor das observações em campo (Desnível em 14 observações)

--> Lb= [0,123; -15,736; -4,789; 17,082; 37,182; 20,132; -1,627; 18,541; 7,893; 12,203; 39,919; 9,850; 0,836; 40,617]

--> Ni=inv(N)

```
0,0122324 0,0122324 0,0122324 0,0122324 0,0122324 0,0122324 0,0122324 0,0122324 0,0122324 0,0122324
0,0122324 11,162415 11,129692 11,013252 10,840016 9,8736656 10,191756 2,4867274 3,1756901 2,8918728
0,0122324 11,129692 16,352249 15,780156 14,929014 10,181144 11,743982 2,5638817 3,2743262 2,9816595
0,0122324 11,013252 15,780156 72,139007 29,479436 11,275283 17,267474 2,8384303 3,6253162 3,3011596
0,0122324 10,840016 14,929014 29,479436 51,127098 12,90311 25,485154 3,2468952 4,1475081 3,7765018
0,0122324 9,8736656 10,181144 11,275283 12,90311 21,98351 18,994549 5,5254083 7,0604176 6,4280725
0,0122324 10,191756 11,743982 17,267474 25,485154 18,994549 56,236278 4,7753989 6,1015863 5,5552651
0,0122324 2,4867274 2,5638817 2,8384303 3,2468952 5,5254083 4,7753989 22,942724 21,318251 21,98745
0,0122324 3,1756901 3,2743262 3,6253162 4,1475081 7,0604176 6,1015863 21,318251 27,250391 24,806654
0,0122324 2,8918728 2,9816595 3,3011596 3,7765018 6,4280725 5,5552651 21,98745 24,806654 61,420891
```

--> Nil=(Ni*(-1))

```
-0,0122324 -0,0122324 -0,0122324 -0,0122324 -0,0122324 -0,0122324 -0,0122324 -0,0122324 -0,0122324 -0,0122324
-0,0122324 -11,162415 -11,129692 -11,013252 -10,840016 -9,8736656 -10,191756 -2,4867274 -3,1756901 -2,8918728
-0,0122324 -11,129692 -16,352249 -15,780156 -14,929014 -10,181144 -11,743982 -2,5638817 -3,2743262 -2,9816595
-0,0122324 -11,013252 -15,780156 -72,139007 -29,479436 -11,275283 -17,267474 -2,8384303 -3,6253162 -3,3011596
-0,0122324 -10,840016 -14,929014 -29,479436 -51,127098 -12,90311 -25,485154 -3,2468952 -4,1475081 -3,7765018
-0,0122324 -9,8736656 -10,181144 -11,275283 -12,90311 -21,98351 -18,994549 -5,5254083 -7,0604176 -6,4280725
-0,0122324 -10,191756 -11,743982 -17,267474 -25,485154 -18,994549 -56,236278 -4,7753989 -6,1015863 -5,5552651
-0,0122324 -2,4867274 -2,5638817 -2,8384303 -3,2468952 -5,5254083 -4,7753989 -22,942724 -21,318251 -21,987450
-0,0122324 -3,1756901 -3,2743262 -3,6253162 -4,1475081 -7,0604176 -6,1015863 -21,318251 -27,250391 -24,806654
-0,0122324 -2,8918728 -2,9816595 -3,3011596 -3,7765018 -6,4280725 -5,5552651 -21,98745 -24,806654 -61,420891
```

Vetor das altitudes ajustadas

--> XA=(Nil*U)

```
887,5704
871,83258
867,04283
884,11221
904,22544
890,37341
902,58366
897,42469
898,2548
938,11938
```

Vetor dos Residuos

--> V=((A*XA)+L)

```
0
-0,0018195
-0,000746
-0,0126196
0,0006053
-0,0187751
-0,0147784
-0,0001705
-0,0116128
0,0072515
-0,0544213
0,0042902
-0,0058931
0,0776856
```

--> Vt=(V')

Vt = [0 -0,0018195 -0,000746 -0,0126196 0,0006053 -0,0187751 -0,0147784 -0,0001705 -0,0116128 0,0072515 -0,0544213 0,0042902 -0,0058931 0,0776856]

--> n=14

n = 14

--> u=10

u = 10

Fator de Variância Posteriori

--> FVP=((Vt*P*V)/(n-u))

FVP = 0.0000316

Matriz Variância Covariância Ajustada

--> MVC_A=(FVP*Ni)

MVC_A =

0,0000004	0,0000004	0,0000004	0,0000004	0,0000004	0,0000004	0,0000004	0,0000004	0,0000004	0,0000004
0,0000004	0,000353	0,000352	0,0003483	0,0003428	0,0003122	0,0003223	0,0000786	0,0001004	0,0000915
0,0000004	0,000352	0,0005171	0,000499	0,0004721	0,000322	0,0003714	0,0000811	0,0001035	0,0000943
0,0000004	0,0003483	0,000499	0,0022813	0,0009323	0,0003566	0,0005461	0,0000898	0,0001146	0,0001044
0,0000004	0,0003428	0,0004721	0,0009323	0,0016169	0,0004081	0,000806	0,0001027	0,0001312	0,0001194
0,0000004	0,0003122	0,000322	0,0003566	0,0004081	0,0006952	0,0006007	0,0001747	0,0002233	0,0002033
0,0000004	0,0003223	0,0003714	0,0005461	0,000806	0,0006007	0,0017784	0,000151	0,000193	0,0001757
0,0000004	0,0000786	0,0000811	0,0000898	0,0001027	0,0001747	0,000151	0,0007255	0,0006742	0,0006953
0,0000004	0,0001004	0,0001035	0,0001146	0,0001312	0,0002233	0,000193	0,0006742	0,0008618	0,0007845
0,0000004	0,0000915	0,0000943	0,0001044	0,0001194	0,0002033	0,0001757	0,0006953	0,0007845	0,0019424

--> DP=(sqrt(MVC_A))

DP =

0,000622	0,000622	0,000622	0,000622	0,000622	0,000622	0,000622	0,000622	0,000622	0,000622
0,000622	0,0187884	0,0187608	0,0186624	0,0185151	0,0176705	0,0179529	0,008868	0,0100214	0,0095631
0,000622	0,0187608	0,0227405	0,0223391	0,0217283	0,0179436	0,0192716	0,0090045	0,0101759	0,0097105
0,000622	0,0186624	0,0223391	0,0477635	0,0305331	0,0188832	0,0233682	0,0094744	0,0107074	0,0102175
0,000622	0,0185151	0,0217283	0,0305331	0,0402102	0,0202003	0,0283893	0,0101332	0,0114526	0,0109284
0,000622	0,0176705	0,0179436	0,0188832	0,0202003	0,0263669	0,024509	0,0132188	0,0149426	0,0142578
0,000622	0,0179529	0,0192716	0,0233682	0,0283893	0,024509	0,0421715	0,012289	0,013891	0,0132545
0,000622	0,008868	0,0090045	0,094744	0,0101332	0,0132188	0,012289	0,026936	0,0259649	0,0263693
0,000622	0,0100214	0,0101759	0,0107074	0,0114526	0,0149426	0,013891	0,0259649	0,029356	0,0280088
0,000622	0,0095631	0,0097105	0,0102175	0,0109284	0,0142578	0,0132545	0,0263693	0,0280088	0,0440726

Vetor do Desvio Padrão das Altitudes Ajustadas

--> D=diag(DP)

D =

0,000622
0,0187884
0,0227405
0,0477635
0,0402102
0,0263669
0,0421715
0,026936
0,029356
0,0440726

Apêndice

CADERNETA DE CAMPO: Elaborada por Valmir Tavares.

NIVELAMENTO					CONTRANIVELAMENTO						
Ponto	RÉ		VANTE		DESNÍVEL	Ponto	VANTE		RÉ		DESNÍVEL
	FIOS ESTADIMÉTRICOS	Distância (m)	FIOS ESTADIMÉTRICOS	Distância (m)			FIOS ESTADIMÉTRICOS	Distância (m)	FIOS ESTADIMÉTRICOS	Distância (m)	
	FS=		FS=				FS=		FS=		
	FM=		FM=				FM=		FM=		
	FI=		FI=				FI=		FI=		
	FS=		FS=				FS=		FS=		
	FM=		FM=				FM=		FM=		
	FI=		FI=				FI=		FI=		
	FS=		FS=				FS=		FS=		
	FM=		FM=				FM=		FM=		
	FI=		FI=				FI=		FI=		
	FS=		FS=				FS=		FS=		
	FM=		FM=				FM=		FM=		
	FI=		FI=				FI=		FI=		
	FS=		FS=				FS=		FS=		
	FM=		FM=				FM=		FM=		
	FI=		FI=				FI=		FI=		
	FS=		FS=				FS=		FS=		
	FM=		FM=				FM=		FM=		
	FI=		FI=				FI=		FI=		
					DESNÍVEL MÉDIO						DESNÍVEL MÉDIO