



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



**GABRIEL DA COSTA RESENDE**

**DENSIFICAÇÃO DA REDE GEODÉSICA HORIZONTAL NO MUNICÍPIO DE**  
**MONTE CARMELO – MG**

Monte Carmelo/MG

2017



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



**GABRIEL DA COSTA RESENDE**

**DENSIFICAÇÃO DA REDE GEODÉSICA HORIZONTAL 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 Guimarães Nascimento.

Monte Carmelo/MG

2017



GABRIEL DA COSTA RESENDE

DENSIFICAÇÃO DA REDE GEODÉSICA HORIZONTAL NO MUNICÍPIO DE  
MONTE CARMELO – MG

Aprovado:

Prof. Dr. Gabriel do Nascimento Guimarães  
(Orientador)

Prof. Dr. Wagner Carrupt Machado  
(Coorientador)

Eng. Ramires Silva Rosa  
(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

2017



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



## **DEDICATÓRIA**

*Ao meu grande irmão, Paulo Henrique Costa Resende (in memorian).*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus o dom da vida e por tudo que tem me permitido conquistar.

Agradeço aos meus pais, Paulo Cesar Resende e Maria Jaqueline da Costa Resende, meus maiores exemplos. Obrigado por cada incentivo e orientação, pelas orações em meu favor, pela preocupação para que estivesse sempre andando pelo caminho correto. Obrigado por estarem ao meu lado sempre!

Ao meu amado irmão, Paulo Henrique da Costa Resende, que foi um incentivador para minha vida, quando estávamos com dificuldade sempre soube encarar a vida de uma melhor maneira. Mesmo não estando aqui presente entre nós, mais sempre presente no meus pensamentos e o mais importante no coração.

A minha namorada, Amanda Caroline Lacerda Borges que esteve comigo nessa caminhada acadêmica e pode aparar-me nos momentos difíceis.

A Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo/MG e todo seu corpo docente, além da direção e a administração pelo trabalho realizado.

Agradeço ao professor Doutor Gabriel do Nascimento Guimarães por toda orientação, paciência, dedicação e ensinamentos que possibilitaram para a realização deste trabalho.

Da mesma forma, presto meus agradecimentos aos meus amigos, amigos estes que vou levar para a vida profissional: Ramires Silva Rosa, Valmir dos Reis Tavares e Lucas França Máximo. Bem como aos técnicos: Januário Chirieleison Fernandes e Carlos Roberto Borges Júnior, pela colaboração ao acompanhamento de levantamentos de campo.



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



“O mundo judia, mas também ensina. Estou contrariado, mas não derrotado, Eu sou bem guiado pelas mãos divinas.”

**Gerson Coutinho da Silva**  
**(GOIÁ)**



## RESUMO

A existência de uma rede de apoio geodésico municipal possui grande importância, pensando-se no apoio ao Cadastro Técnico Multifinalitário e a obras de infraestrutura urbana. É também fundamental que esteja referenciada a um sistema geodésico e que as precisões de suas coordenadas atendam às finalidades às quais se destinem. Recentemente fora iniciado o trabalho de implantação da rede geodésica municipal urbana na cidade de Monte Carmelo (MG) e o objetivo deste trabalho foi realizar a densificação dessa rede, integrando a ela dez novos marcos. Para tanto, realizou-se posicionamento baseado no GNSS para obtenção das coordenadas dos marcos, estrategicamente distribuídos em diferentes localidades. Trabalhou-se com o conceito de sessões de levantamento, obtendo-se um erro planimétrico médio de 0,033 m.

**Palavras chave:** Densificação. Rede geodésica.



## ABSTRACT

The existence of a municipal geodetic support network is of great importance, considering the support to the Multi-Terminal Technical Cadastre and urban infrastructure works. It is also essential that it is referenced to a geodetic system and that the precisions of its coordinates serve the purposes for which they are intended. Recently the work of implantation of the urban municipal geodesic network in the city of Monte Carmelo (MG) had begun and the purpose of this work was to densify this network, integrating 10 new landmarks. For this, a GNSS-based positioning was performed to obtain the coordinates of the landmarks, strategically distributed in different locations. We worked with the concept of survey sessions, obtaining an average planimetric error of 0.033 m.

**Keywords:** Densification, Geodetic network.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da rede geodésica clássica.....	18
Figura 2 – Cartograma com a localização das estações da RBMC. ....	20
Figura 3 – Método de posicionamento relativo. ....	23
Figura 4 – Mapa de localização do município de Monte Carmelo e dos marcos.....	26
Figura 5 – Fluxograma abordando as etapas do trabalho. ....	27
Figura 6 – Vista do perfil do marco.....	28
Figura 7 – Definição dos locais de implantação.....	28
Figura 8 – Marcos de concreto .....	29
Figura 9 – Equipe realizando a implantação dos marcos. ....	29
Figura 10 – Localidades para densificação da rede. ....	32
Figura 11 – Seção BASE .....	33
Figura 12 – Seção SESI.....	35
Figura 13– Seção CAMILÃO. ....	36
Figura 14 – Seção ROSARIO.....	37
Figura 15 – Receptores GNSS.....	38
Figura 16 – Gráfico de Representação dos valores dos Desvios-Padrão .....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Codificação e localidade dos marcos.....	31
Tabela 2 - Seção BASE .....	33
Tabela 3 – Seção e linhas de base.....	34
Tabela 4 – Seção SESI.....	36
Tabela 5 – Seção CAMILÃO .....	37
Tabela 6 – Seção ROSÁRIO .....	38
Tabela 7 – Previsão de orçamento .....	40
Tabela 8 – Orçamento de acordo com referencial.....	40
Tabela 9 – Previsão de orçamento.....	40
Tabela 10 – Coordenadas Geodésicas ajustadas .....	41
Tabela 11 – Coordenadas UTM ajustadas .....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DD – Dupla diferença

EGNOS – *European Geostationary Navigation Overlay Service*

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

GPS – *Global Positioning System*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGS – *International GPS Service for Geodynamics*

IGSO – *Inclined Geostation System*

MEO – *Mediun Earth Orbit*

MMQ – Método dos Mínimos Quadrados

MSAS – *Multifunctional Satellite Augmentation System*

NGS – *National Geodetic Survey*

PD – Pseudodistância

PP – Posicionamento por Ponto

PPP – Posicionamento por Ponto Preciso

RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

RINEX – *Receiver Independent Exchange Format*

RN – Referência de Nível

RRNN – Referências de Nível

SBAS – *Satellite Basead Augmentation System*

SCA – Sistema Controle Ativo

SD – Simples Diferença

SGB – Sistema Geodesico Brasileiro

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

TEC – *Total Electron Contents*

WAAS – *Wide Area Augmentation System*

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
2 CONCEITOS RELEVANTES	14
2.1 Sistema Geodésico Brasileiro (SGB)	14
2.2. Redes Horizontais	15
2.2.1 Rede Geodésica Passiva	16
2.2.2 Rede geodésica ativa	18
2.3 <i>O Global Navigation Satellite System (GNSS)</i>	20
2.4 Princípio do posicionamento por satélites	22
2.5 Métodos de posicionamentos pelo GNSS	22
2.6 Erros nas observáveis GNSS	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Área de estudo	25
3.2 Planejamento dos levantamentos de campo	26
3.3 Equipamentos e software	38
4. ORÇAMENTO DE EXECUÇÃO	39
5 . RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS	44

## 1 INTRODUÇÃO

Os levantamentos geodésicos são dotados de crucial importância quando se pensa na necessidade de uma representação otimizada, eficaz e precisa da superfície terrestre graficamente. Neste contexto a geodésia espacial, representada pelo posicionamento baseado em satélites constituiu um marco conceitual e técnico. O *Global Positioning System* (GPS), inicialmente concebido para embasar o planejamento militar norte americano e depois disponibilizado para uso civil representou a passagem a esta nova era. Após esse, outros sistemas similares foram lançados: o russo *GLObalnaya Navigatsionaya Sputnikovaya Sistema* (GLONASS), o *Galileo* da agência espacial europeia, o chinês *Beidou/COMPASS*, além de outros sistemas menores com características geoestacionárias. Ao conjunto formado por todos esses sistemas operando conjuntamente fora dado o nome de *Global Navigation Satellite System* (GNSS).

O posicionamento pelo GNSS propicia a determinação das coordenadas de pontos sobre qualquer porção da superfície terrestre com elevada confiabilidade. Outra importante característica que representa uma vantagem do emprego das técnicas do posicionamento baseado em satélites em relação às técnicas clássicas de levantamento é a não necessidade da intervisibilidade das estações situadas sobre os pontos que constituem a rede (MONICO, 2008).

Posicionar-se baseado em satélites consiste em conhecer as posições dos satélites na esfera celeste, a velocidade de propagação do sinal emitido e o tempo decorrido entre a emissão do sinal e sua recepção. A partir disso, é possível se determinar a posição dos pontos sobre os quais estão instalados os receptores (SEEBER, 2003).

Das considerações acerca da Geodésia espacial desprendem-se outros conceitos importantes, como o conceito de *redes geodésicas de referência*. Uma rede geodésica pode ser entendida como um conjunto de marcos com coordenadas conhecidas e vinculadas a um sistema geodésico, bem como suas respectivas precisões e que, uma vez ocupados, servem como referência para que outros levantamentos geodésicos também possam estar referenciados a este mesmo sistema geodésico a partir do qual a rede foi concebida.

O conceito de redes, quando comparadas à utilização de uma única estação de referência, apresenta vantagens importantes. Por meio de uma rede, é possível se possuir maior redundância e superabundância de dados, proporcionando um melhor ajustamento das observações, além de oferecer maior integridade e confiabilidade ao sistema, uma vez que não há o risco de perda de dados caso uma das estações da rede falhe.

Dentre os levantamentos geodésicos que podem se basear em redes, destacam-se aqueles relativos à infraestrutura urbana, notadamente ao cadastro técnico multifinalitário e ao planejamento urbano. São de fundamental importância para o direcionamento de políticas públicas e para o bom êxito de projetos de infraestrutura como, por exemplo, obras de saneamento básico.

### **1.1 Justificativa**

A relevância deste trabalho reside na constante necessidade de confiabilidade no apoio a serviços geodésicos para fins de planejamento urbano. Melhor confiabilidade no apoio geodésico significa maior segurança de que os resultados apresentados nos levantamentos realmente são uma representação da realidade que se apresenta no município, possibilitando o correto dimensionamento de obras de infraestrutura urbana, otimizando sua construção e evitando erros de construção que podem se refletir em desperdício de dinheiro público ou ainda gerar transtornos como danificação de obras urbanas em função de erros de projeto.

Portanto, a densificação de uma rede geodésica municipal significa dispor de uma maior quantidade de vértices de referência para amparar ao Cadastro Técnico Multifinalitário, permitindo que o banco de dados oriente-se de forma fidedigna à realidade fiscal do município, para que projetos de saneamento atinjam de forma mais efetiva à população, além de propiciar que a tributação seja justa e se equilibre com as necessidades mais imediatas .

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Este trabalho de conclusão de curso possui como objetivo geral a realização da densificação da rede de apoio geodésico da cidade de Monte Carmelo (MG) como forma de complementação à rede previamente estabelecida.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

De maneira específica, este projeto objetiva:

- ✓ Implantar um novo conjunto de marcos para apoio geodésico e topográfico em locais estrategicamente definidos e realizar rastreamento com receptor GNSS e
- ✓ Definir uma rede geodésica que melhor se adapte à situação.
- ✓ Processar os dados do levantamento e apresentar monografia para cada marco implantado.
- ✓ Intervisibilidade entre os marcos.

## **2 CONCEITOS RELEVANTES**

### **2.1 Sistema Geodésico Brasileiro (SGB)**

O estabelecimento de um sistema de referência dá-se a partir de sua idealização conceitual. A partir dessa consideração, um sistema geodésico de referência pode ser definido a partir da observação de um conjunto de parâmetros e convenções, baseado em um elipsoide ajustado à forma e dimensões da Terra e com orientação correta, estabelecendo-se dessa forma um referencial conceitual e matemático para a determinação das coordenadas de pontos sobre a superfície terrestre (MONICO, 2008).

Assim, pode-se fazer a afirmação de que a realização de um sistema geodésico de referência dá-se a partir da materialização de pontos sobre a superfície física da Terra, para os quais as coordenadas são determinadas. Tal realização torna-se disponível

ao usuário a partir do momento em que as coordenadas dos pontos materializados são divulgadas.

A concepção do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB, constituído pelas redes altimétrica, planimétrica e gravimétrica possui duas fases bem definidas: antes e após o desenvolvimento das técnicas de posicionamento baseado em satélites que possibilitou, dentre outros, que o sistema geodésico alcançasse a região amazônica e fornecesse apoio ao mapeamento sistemático da região (IBGE, 2017).

## 2.2. Redes Horizontais

As redes geodésicas são estabelecidas com o fim de materializar em campo pontos com coordenadas geocêntricas precisas. Podem-se considerar, para uma rede geodésica, os seguintes níveis, no que diz respeito à sua abrangência: *redes globais*, que realizam o sistema de referência definido internacionalmente por convenções; *redes nacionais*, que se prestam como apoio a serviços de levantamento em território nacional ou continental, embasando também a elaboração de cartas topográficas e temáticas e *redes locais*, pensadas para fins de projetos de engenharia e geofísicos (RIZOS, 2002).

Ao se definir e se realizar uma rede geodésica, espera-se que as coordenadas possam atingir a critérios pré-determinados de precisão baseando-se nos objetivos para os quais a rede fora concebida. Além disso, espera-se também que seja possível se ter uma dimensão da influência dos possíveis erros não detectáveis nas observações sobre as coordenadas dos pontos que constituem a rede (OLIVEIRA, 2007).

Para que seja possível a estimação dos parâmetros em uma rede, entendam-se as coordenadas dos pontos e suas precisões, são executadas observações geodésicas (medidas de ângulos e distâncias e de observáveis GNSS para os pontos de interesse) e tal estimação é normalmente obtida a partir do ajustamento das observações por meio do *Método dos Mínimos Quadrados* (MMQ) (GHILANI; WOLF, 2006).

### 2.2.1 Rede geodésica passiva

Conforme escrevem Gama e Seixas (2008), dependendo da distância de implantação dos pontos, as redes podem ser classificadas como de: primeira, segunda, terceira e quarta ordem. Os pontos de primeira ordem são aqueles advindos da trilateração e encontram-se espaçados de 30 km a 60 km. Os pontos da rede de segunda ordem estão espaçados de 10 km; os pontos de rede de terceira e quarta ordem são distribuídos com alcances variando de 1 km a 2 km, sendo estes últimos partes integrantes da rede geodésica municipal. A escolha de cada ponto segue os seguintes critérios:

- abrangência de uma região preestabelecida;
- possibilidade de medições abundantes;
- possibilidade de ligação com pontos próximos visíveis e
- possibilidade da simples ligação e amarração entre medições.

A implantação de uma rede geodésica municipal presta-se, sobretudo, ao objetivo de atualizar a base cartográfica e cadastral. Como implicação imediata, tem-se a otimização de levantamentos de forma geral, a partir da possibilidade de amarração às poligonais estabelecidas sob diferentes circunstâncias (ROCHA; WESCHENFELDER, 2015).

A rede geodésica municipal define-se, assim, como uma densificação da rede geodésica estadual que por sua vez representa a densificação da rede geodésica nacional. Embora seja essa uma necessidade inerente ao planejamento urbano de qualquer município, poucos ainda são dotados desse sistema. Estima-se que menos de 400 dos mais de 5.500 municípios brasileiros possuam uma rede geodésica instalada.

Inserir referência

De acordo com Rocha e Weshenfelder (2015), a implantação de uma rede geodésica no município requer a realização de 4 etapas:

1ª) Planejamento: na qual se define a precisão preterida para os vértices que comporão a rede, quantidade e distribuição espacial dos marcos a serem implantados, a técnica a ser empregada para determinação das coordenadas e suas precisões, dentre outros. A quantidade de marcos de apoio implantado é função: da extensão territorial,

da existência de grandes obras verticais, arborização, perspectivas de crescimento, dentre outros fatores. Aqui também se definem a projeção cartográfica a ser empregada e o sistema de referência.

2<sup>a</sup>) Materialização: nessa etapa são escolhidos os tipos de marcos a serem fixados, bem como a forma de fixação. Esses podem ser dotados de pinos de centragem forçada, ou mesmo serem marcos simples com formato de tronco de pirâmide.

3<sup>a</sup>) Medição: aqui são determinadas as técnicas a serem empregadas para a determinação das coordenadas. Tem sido usual empregarem-se técnicas de posicionamento pelo GNSS para determinação das coordenadas planimétricas e nivelamento geométrico de precisão para o cálculo das altitudes ortométricas.

4<sup>a</sup>) Documentação: na qual são elaborados memoriais descritivos para cada marco implantado. Deve contar a localização, coordenadas e suas respectivas precisões, fotografia do marco e panorâmica do entorno, data de implantação, data de rastreamento e informações sobre a preservação do ponto.

*A rede geodésica clássica do Brasil* foi constituída por pontos com coordenadas obtidas a partir de métodos analíticos (triangulação e poligonação, basicamente), levantados ao longo de impressionantes 45 anos e que serviam às necessidades de georeferenciamento para a época em que foram idealizadas.

A grande extensão territorial do Brasil fez com que se fizesse a opção pelo reajustamento das observações das estações integrantes da rede clássica conjugadas às técnicas de posicionamento pelo GPS, ao invés de se implantar uma nova rede geodésica, como fora feito nos outros países sul-americanos. Assim, pôde-se aproveitar o gigantesco conjunto de dados que a rede clássica continha.

Para a rede clássica, a precisão planimétrica varia de 40 cm a 70 cm. As altitudes, obtidas a partir de nivelamento trigonométrico, não sofreram reajuste pelas técnicas GPS.

Figura 1 – Representação da rede geodésica clássica.



Fonte: IBGE (2017).

### 2.2.2 Rede geodésica ativa

A possibilidade em utilizar as técnicas de rastreamento via GNSS trouxeram um desenvolvimento nas aplicações para posicionamento navegação. A realização dos trabalhos foi otimizada, apresentando assim, melhorias significativas tanto em relação à rapidez, a precisão e economia. Portanto, à medida que as técnicas de posicionamento evoluem, diversas aplicações em tempo real e pós-processado têm surgido, tornando o papel da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) cada vez mais abrangente e eficiente.

Nas aplicações geodésicas do GNSS está implícita a utilização do método relativo, isto é, um vértice é ocupado com uma antena receptora e ao mesmo tempo

outro vértice é ocupado por uma segunda antena receptora. As estações da RBMC desempenham justamente o papel do ponto de coordenadas conhecidas pertencentes ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), eliminando a necessidade de que o usuário imobilize um receptor em um ponto que, muitas vezes, oferece grandes dificuldades de acesso. Além disso, os receptores que equipam as estações da RBMC são de alto desempenho, proporcionando observações de grande qualidade e confiabilidade.

As estações da RBMC são materializadas através de pinos de centragem forçada, especialmente projetados, e cravados em pilares estáveis. A maioria dos receptores da rede possui a capacidade de rastrear satélites GPS e GLONASS, enquanto alguns rastreiam apenas GPS. Esses receptores coletam e armazenam continuamente as observações do código e da fase das ondas portadoras transmitidos pelos satélites das constelações GPS ou GLONASS. Cada estação possui um receptor e antena geodésica, conexão de Internet e fornecimento constante de energia elétrica que possibilita a operação contínua da estação (IBGE, 2017).

As coordenadas das estações da RBMC são outro componente importante na composição dos resultados finais dos levantamentos a ela referenciados. Nesse aspecto, a grande vantagem da RBMC é que todas as suas estações fazem parte da Rede de Referência SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), cujas coordenadas finais têm precisão da ordem de  $\pm 5$  mm, configurando-se como uma das redes mais precisas do mundo. Outro papel importante da RBMC é que suas observações vêm contribuindo, desde 1997, para a densificação regional da rede do IGS (*International GPS Service for Geodynamics*), garantindo uma melhor precisão dos produtos do IGS – tais como órbitas precisas – sobre o território brasileiro (IBGE, 2008). A (Figura 2) ilustra a distribuição das estações da RBMC.

Figura 2 – Cartograma com a localização das estações da RBMC.



Fonte: IBGE (2017).

### 2.3 O Global Navigation Satellite System (GNSS)

Os principais sistemas globais que compõem o GNSS são: GPS (*Global Positioning System*), GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), Galileo e o *Beidou/Compass*. O GPS, desenvolvido pelos Estados Unidos, se encontra em plena operação e em fase de modernização. Em setembro de 2005 foi lançado o primeiro satélite GPS modernizado. Atualmente existem 10 desses satélites em operação (7 do bloco IIRM e 3 do bloco IIF) ([www.navcen.uscg.gov](http://www.navcen.uscg.gov)). O último lançamento (satélite do bloco IIF) foi realizado em outubro de 2012. Os satélites do bloco IIRM possuem o novo código civil na portadora L2 denominado L2C. Já os satélites do bloco IIF, além do L2C, também transmitem sinais em uma nova portadora, a L5 ([www.gps.gov](http://www.gps.gov)).

O GLONASS, similar ao GPS, desenvolvido na antiga URSS, é hoje de responsabilidade da República da Rússia. Foi declarado operacional em 1995 ([http://www.nisglonass.ru/en/glonass/development\\_history/](http://www.nisglonass.ru/en/glonass/development_history/)), mas não teve a devida manutenção por alguns anos. Atualmente, encontra-se com a constelação completa (31 satélites). Geralmente, o número de satélites em operação na constelação GLONASS varia entre 22 e 24 (MONICO, 2008)

No que concerne ao Galileo, sistema europeu, foi concebido para operar com capacidade operacional inicial por volta de 2014 com 18 satélites em órbita. Já a constelação completa é esperada para 2020 (<http://www.galileoic.org>) (ESA, 2017).

A China, que no passado revolucionou a navegação a partir do desenvolvimento da bússola, surpreendeu com o Beidou/Compass. A ideia do sistema começou como um serviço regional e mais tarde expandiu para um serviço global. Atualmente, o sistema conta com 16 satélites, destes 5 satélites são MEO (*Medium Earth Orbit*), similares ao GPS. Os demais satélites são de órbita geostacionária ou geostacionária inclinada (IGSO - *Inclined Geostationary Orbit*) (<http://www.insidegnss.com/node/3246>). O último lançamento de satélites MEO foi realizado em setembro de 2012 (satélites M5 e M6). Espera-se que a constelação esteja completa em 2020. A página oficial do Beidou/Compass é [www.beidou.gov.cn](http://www.beidou.gov.cn).

Além desses sistemas, compõem o GNSS, os chamados SBAS (*Satellite Based Augmentation System*), tais como o WAAS (*Wide Area Augmentation System*) nos Estados Unidos, o EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) na Europa, o MSAS (*Multifunctional Satellite Augmentation System*) no Japão, o GAGAN (*GPS Aided GEO Augmented Navigation*) na Índia, além de outras iniciativas similares. Assim, além de alta acurácia, o GNSS pode proporcionar integridade e disponibilidade do sistema (SEEBER, 2003).

Espera-se que num futuro próximo, com a existência de diversos sistemas de posicionamento por satélites disponíveis, seja realizada efetivamente a integração entre tais sistemas. Com isso, poderá ser obtido um posicionamento mais acurado, devido principalmente à grande quantidade de dados.

## 2.4 Princípio do posicionamento por satélites

O posicionamento pelo GNSS conceitua-se na medida de distâncias entre o satélite (emissor) e o usuário (receptor). A partir da medida de 3 distâncias e sendo conhecidas as posições de 3 satélites, é possível se determinar a posição absoluta do receptor por meio de trilateração. As distâncias são determinadas a partir do conhecimento do tempo de propagação do sinal transmissor-receptor e da sua velocidade de propagação no meio.

O deslocamento relativo satélite-receptor (efeito *Doppler*) e a interferometria (*delay* da portadora devido à diferença de localização entre duas antenas) também são considerados quando da determinação da posição tridimensional de um ponto sobre a superfície terrestre.

O princípio básico para cálculo de posição por meio do sistema GNSS é o método da trilateração : determina-se a posição do usuário, coordenadas (X, Y, Z) num sistema referencial, a partir do conhecimento da posição relativa entre o usuário e três pontos de referência (distâncias  $D_i$   $i=1, 2, 3$ ), e as posições dos três pontos de referência (X, Y, Z)  $si$   $i=1, 2, 3$  em relação ao sistema de referência absoluto. Os pontos de referência podem estar fixos ou em movimento, mas é necessário conhecer suas posições absolutas e relativas simultaneamente para se obter cálculos de posição precisos. A equação que relaciona as coordenadas do usuário, as distâncias entre o usuário e os pontos de referência, e as coordenadas dos pontos de referência, são dadas por:

$$D_i^2 - (X_u - X_{si})^2 + (Y_u - Y_{si})^2 + (Z_u - Z_{si})^2 \quad i=1, 2, 3. \quad (1)$$

## 2.5 Métodos de posicionamentos pelo GNSS

No PP ou PPP (Posicionamento por Ponto ou Posicionamento por Ponto Preciso) o conceito básico é a utilização de apenas um receptor para realizar o posicionamento. Esses métodos se diferenciam pelas observáveis empregadas e a acurácia alcançada. Enquanto no PP a acurácia gira em torno de metros, o PPP pode alcançar acurácia centimétrica. Hoje, o PPP em tempo real representa o estado da arte no posicionamento por ponto (MARQUES, 2012)

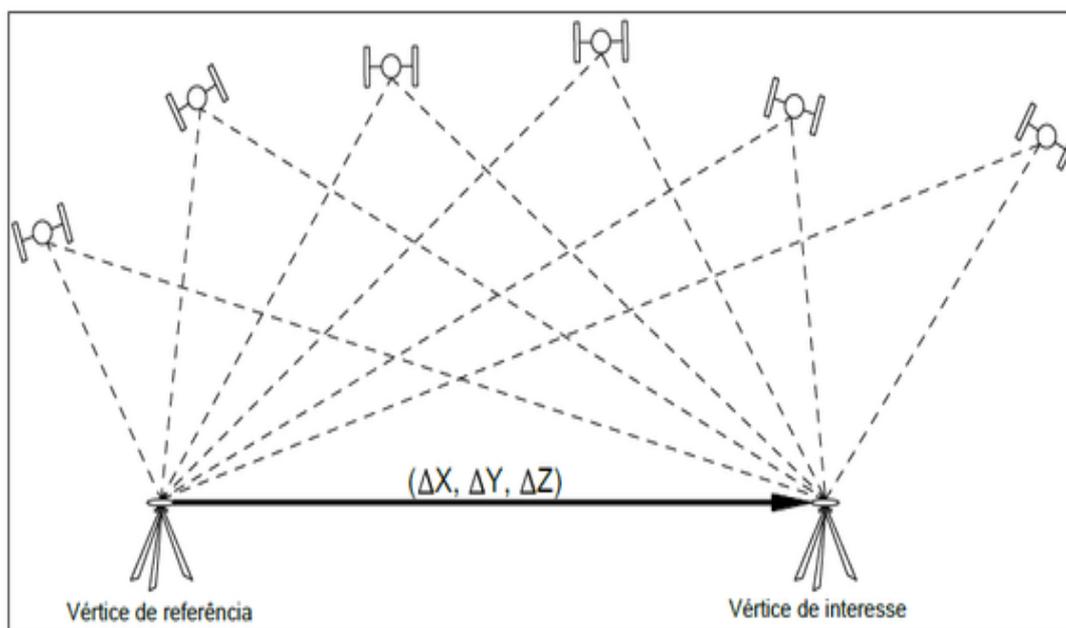
O PPP geralmente requer dados de receptores de dupla frequência. Desta forma, as equações linearizadas que fazem parte do PPP para receptores de dupla frequência são a pseudodistância e a fase da onda portadora (MONICO, 2008).

A pseudodistância é determinada pelo tempo de propagação do sinal, contado desde a sua geração no satélite até o receptor multiplicado pela velocidade da luz no vácuo e outros fatores que interferem no sinal (efeitos atmosféricos e multicaminho).

Para a medida da fase de batimento da onda portadora, a qual é determinada a partir da diferença entre a fase gerada pelo satélite, no instante de transmissão do sinal, e sua réplica gerada pelo receptor, no instante de recepção do sinal. Apenas uma medida fracionária é obtida, restando um número inteiro de ciclos no instante inicial do rastreo, denominado de ambiguidade.

Dentre os métodos de posicionamento existentes, um dos mais empregados é o relativo (Figura 3). No posicionamento relativo, a posição de um ponto é determinada com relação à de outro(s), cujas coordenadas são conhecidas. Estes pontos com coordenadas conhecidas são chamados de estações de referência ou estações base.

Figura 3 – Método de posicionamento relativo.



Fonte: Adaptado de IBGE (2008).

Além da alta acurácia proporcionada, algo que tem fortalecido o método é a disponibilização de dados das redes ativas. Utilizando dados dessas redes para a estação base, o usuário pode realizar o posicionamento relativo com apenas um receptor.

Para realizar o posicionamento relativo, o usuário deve dispor de dois ou mais receptores que rastreiam, simultaneamente, os mesmos satélites. Entretanto, com o advento dos chamados Sistemas de Controle Ativos (SCA), o usuário que dispõe apenas de um receptor pode efetuar o posicionamento relativo. Deve para tal, acessar os dados de uma ou mais estações pertencentes ao SCA, como por exemplo: a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) ou a Rede GPS Ativa do estado de São Paulo. Neste caso, o sistema de referência do SCA será introduzido na solução do usuário via as coordenadas e observações das estações utilizadas como estações de referência. Se a estação de referência possui erros, tais como o multicaminho, estes são propagados para as coordenadas do usuário.

Logo, é importante que estes efeitos, sejam corrigidos em estações de referência para que as coordenadas obtidas pelos usuários a partir deste método de posicionamento sejam mais acuradas. O posicionamento relativo pode ser realizado utilizando as seguintes observáveis: pseudodistância e fase da onda portadora.

## **2.6 Erros nas observáveis GNSS**

No que se refere aos erros causados pela órbita dos satélites GNSS, esses erros dependem do tipo de efeméride que é utilizada no ajustamento. Podem ser utilizadas as efemérides transmitidas pelos satélites, com erro de aproximadamente 1 m, ou as efemérides precisas fornecidas pelo IGS, com erro de aproximadamente 10 cm para efemérides fornecidas em tempo real (IGS, 2004). A partir das efemérides são calculadas as posições dos satélites GNSS, normalmente, injuncionadas como fixas durante o processo de ajustamento dos dados GPS. Erros nas coordenadas dos satélites se propagam para a posição do usuário (ALVES et. al., *s.d.*).

“O multicaminho é causado, principalmente, por reflexões do sinal em superfícies próximas ao receptor, tais como construções, carros, árvores, colinas, entre outros” (MONICO, 2008). O multicaminho causa erros nas medidas de pseudodistância e de fase da onda portadora, dependendo da geometria do cenário envolvendo as

antenas, os satélites e os objetos refletoras e da natureza do material reflexivo. Consequentemente, a posição do objeto de interesse terá sua precisão e acurácia deterioradas. O erro causado pelo multicaminho na fase da onda portadora pode chegar a 1/4 do comprimento de onda. Já para a pseudodistância esse erro pode alcançar  $\pm 150$  m (RAY, 2000).

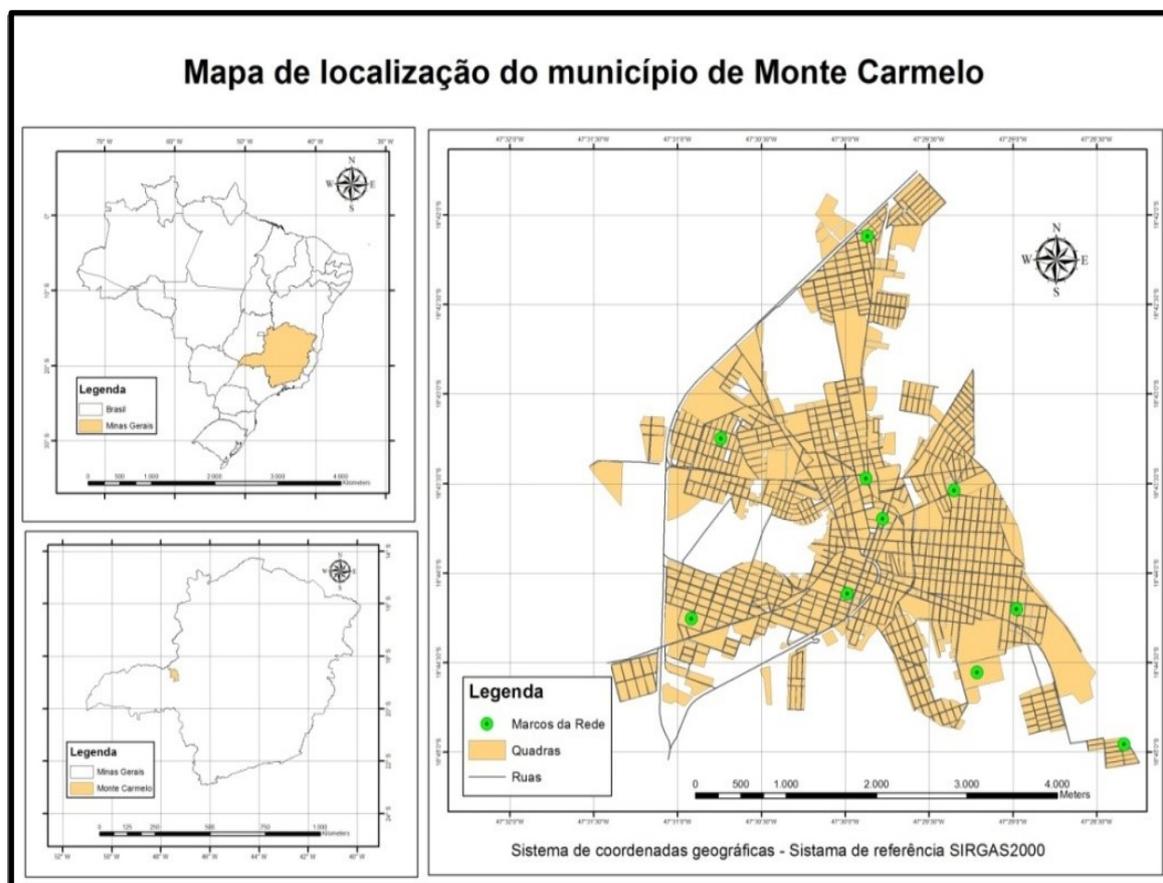
Outras fontes de erros no posicionamento pelo GNSS são os denominados efeitos atmosféricos, associados às camadas da ionosfera e da troposfera. Na ionosfera, por se tratar de um meio dispersivo, a propagação dos sinais que a transpõem depende da frequência de transmissão e ocorrem atrasos e avanços nas medidas das fases de onda portadora. Na troposfera, o que ocorrem são desvios do sinal transmitido pela presença de vapor de água (componente úmida) e de outros materiais em suspensão (componente hidrostática) (CAMARGO, 1999; SAPUCCI, 2001; SEEBER, 2003; MATSUOKA, 2003).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de Estudo**

Monte Carmelo é um município do interior do Estado de Minas Gerais (Figura 4), que segundo o IBGE (2010), se estende por 1.343,035 km<sup>2</sup>, com uma população de 45.772 habitantes no último censo, e densidade demográfica é de 34,08 habitantes por km<sup>2</sup> no território do município. Com uma altitude média de 890 metros e coordenadas geográficas -18° 44' 5" (Latitude) e -47° 29' 47" (Longitude).

Figura 4– Mapa de localização do município de Monte Carmelo e dos marcos.

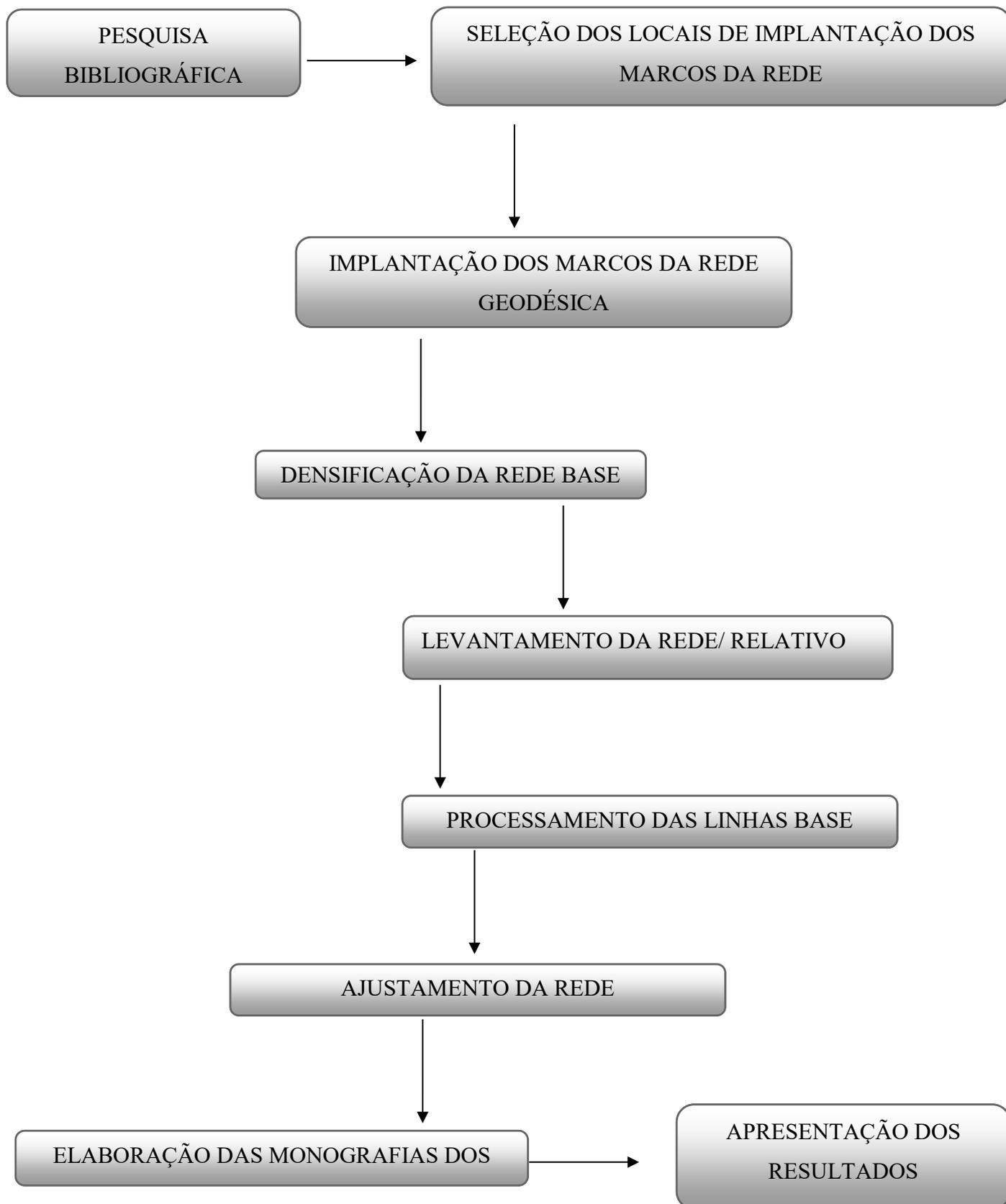


Fonte: Rosa (2017).

### 3.2 Planejamento dos levantamentos de campo

Os procedimentos adotados para a realização do trabalho estão apresentados na (Figura 5).

Figura 5- Fluxograma abordando as etapas do trabalho.

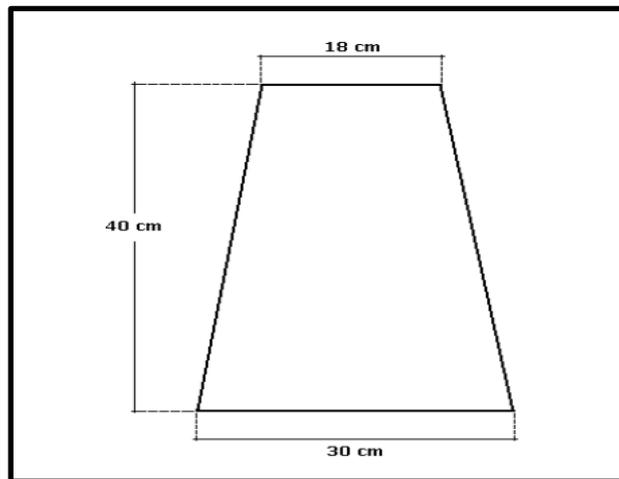


Fonte: O Autor.

Segundo IBGE (2008), o marco (Figura 6) deve obedecer aos seguintes formatos e dimensões:

- Formato de tronco de pirâmide;
- Base quadrangular de 30 cm de lado;
- Topo quadrangular de 18 cm de lado;
- Altura 40 cm.

Figura 6 - Vista do perfil do marco.



Fonte: Adaptado de IBGE (2008).

Os marcos foram implantados estrategicamente para obter a Intervisibilidade dos pontos em pontos da cidade de Monte Carmelo (MG). A (Figura 7) mostra o estaqueamento dos locais para a implantação dos marcos.

Figura 7 – Definição dos locais de implantação.



Fonte: O Autor.

Um exemplar dos marcos utilizados neste trabalho encontra-se na (Figura 8).

Figura 8- Marcos de concreto



Fonte: O Autor.

Na (Figura 9) é possível notar-se os trabalhos de implantação em suas diferentes etapas.

Figura 9– Equipe realizando a implantação dos marcos.



Fonte: O Autor.

O posicionamento relativo foi estabelecido por meio da formação de linhas de base. Trabalhou-se com o conceito de sessões de levantamento, procedimento no qual ocorre reocupação dos pontos que compõem a rede. Para este caso, os vértices reocupados fazem parte da primeira etapa de levantamentos para fins de estabelecimento da rede municipal, desenvolvido por Rosa (2017).

Os *softwares* de processamento de dados GNSS realizam primeiro o cálculo de linhas de base (LB) e, posteriormente, o ajustamento da rede. Assim, determinam as coordenadas das estações rastreadas e suas respectivas incertezas. No processamento de dados de uma mesma sessão, algumas das LB podem ser interpretadas como sendo um vetor resultante da soma de outros vetores também calculados nesse processamento. Esse tipo de LB é denominada trivial. As demais LB são chamadas de independentes (CRAYMER, 1995).

Craymer (1995) e Silva e Romão (2009) mencionam que a utilização de linhas de base triviais em conjunto com as independentes resulta em menores valores para as incertezas das coordenadas dos vértices em uma sessão de levantamento. Entretanto, esse resultado advém de uma falsa redundância de observações que acaba por superestimar o processamento e o ajustamento e conclui-se que a utilização exclusivamente de linhas de base independentes produz efeito mais realístico sobre as coordenadas e as incertezas a elas associadas.

A (Tabela 1) mostra a codificação de cada um dos marcos implantados e a localidade na qual estão inseridos.

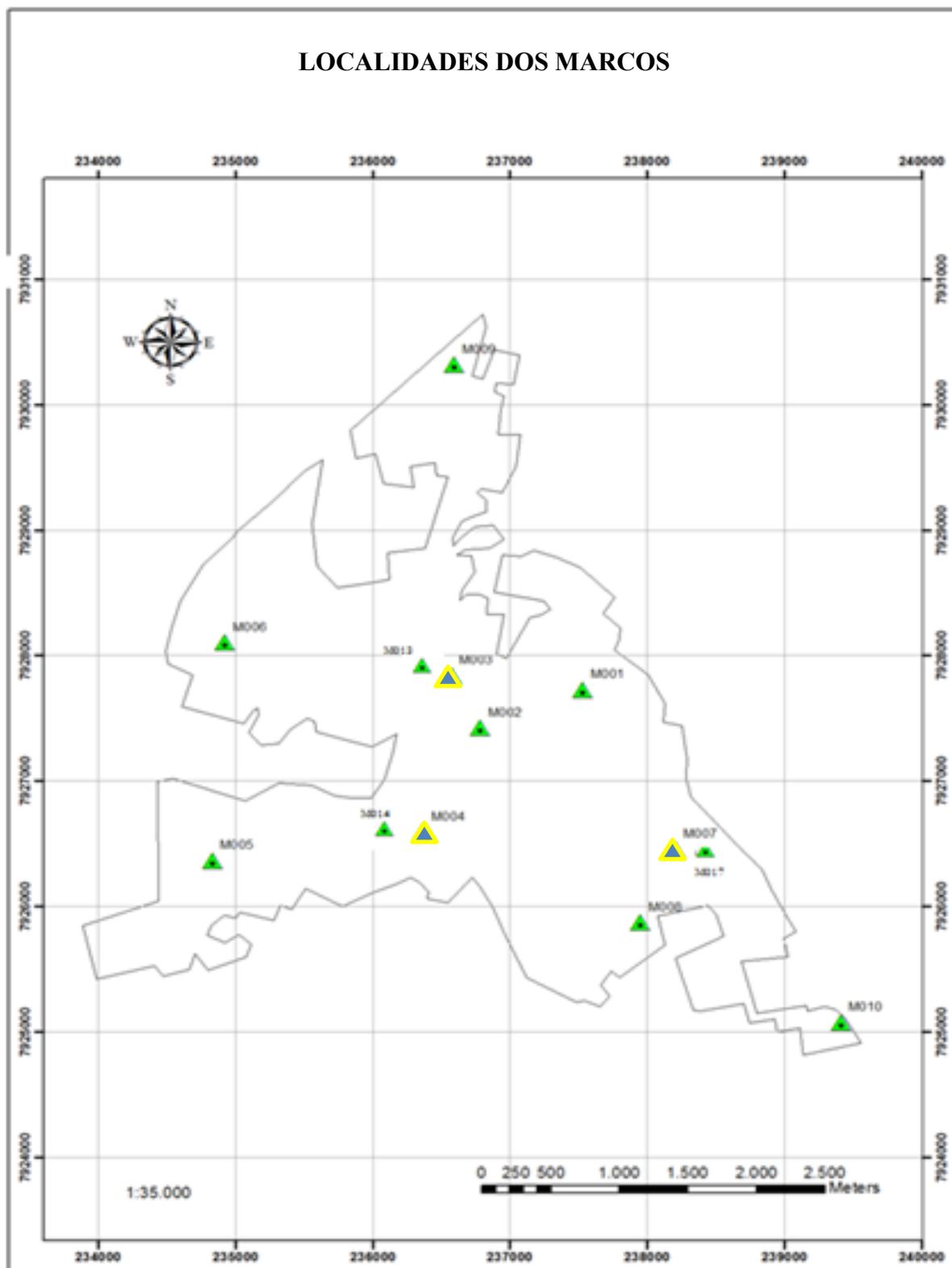
Tabela 1 – Codificação e localidade dos marcos.

<b>NÚMERO DO MARCO</b>	<b>LOCALIDADE</b>
 M0011	CRISTO
 M0012	MATRIZ
 M0013	ROSÁRIO
 M0014	CAMILÃO
 M0015	FUCAMP
 M0016	CATULINA
 M0017	SESI
 M0018	EXPOSIÇÃO
 M0019	SANTA RITA
 M0020	SÃO SEBASTIÃO
<b>NÚMERO DO MARCO</b>	<b>LOCALIDADE</b>
<b>BASE</b>	
 M007	SESI
 M004	CAMILÃO
 M003	ROSÁRIO

Fonte: O Autor.

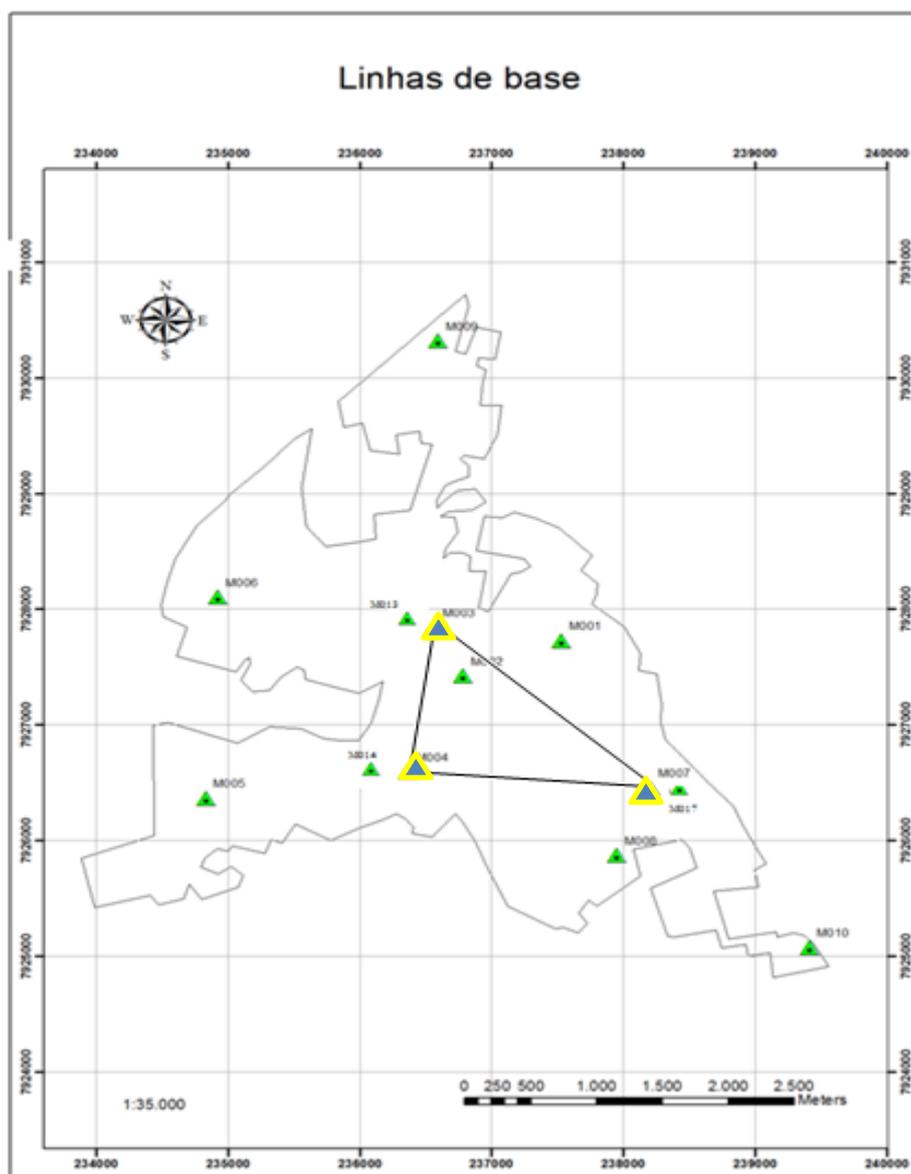
A seguir (Figura 10) estão apresentadas as localidades dos marcos sobre a base cartográfica urbana de Monte Carmelo.

Figura 10- Localidades para densificação da rede.



Fonte: O Autor.

Figura 11: Seção BASE



Fonte: O Autor.

Tabela 2: Seção BASE

NÚMERO DO MARCO BASE	LOCALIDADE
▲ M007	SESI
▲ M004	CAMILÃO
▲ M003	ROSÁRIO

Fonte: O Autor.

Os locais escolhidos para a implantação dos marcos foram determinados com base no projeto anterior de implantação da rede geodésica municipal. Como esta pesquisa trata da densificação da rede já existente, buscou-se posicionar os novos vértices nas proximidades dos anteriores, possibilitando assim a intervisibilidade que permita a realização do transporte de informações de altimetria e também sirva de apoio para trabalhos de topografia (poligonais, por exemplo).

A (Tabela 3) apresenta as seções que foram adotadas, bem como as linhas base dependentes e independentes formadas. Os números nela inseridos retomam à codificação que ficou estabelecida na tabela anterior (Tabela 1).

Tabela 3- Seções e linhas de base.

<b>SEÇÕES</b>	<b>LINHAS BASE</b>	<b>LINHAS INDEPENDENTES</b>		<b>LINHAS DEPENDENTES</b>
SESI (07)	07, 17,20	07,17	07,20	17,20
	07, 14,15	07,14	07,15	14,14
	07, 18,11	07,18	07,11	18,11
	07, 12,11	07,12	07,13	12,13
	07, 19,16	07,19	07,16	19,16
CAMILÃO (04)	04, 18,20	04,18	04,20	18,20
	04, 14,15	04,14	04,15	14,15
	04, 17,11	04,17	04,11	17,11
	04, 13,12	04,13	04,12	13,12
	04, 19,16	04,19	04,16	19,16
ROSÁRIO (03)	03, 13,14	03,13	03,14	13,14
	03, 19,11	03,19	03,11	19,11
	03, 12,15	03,12	03,15	12,15
	03, 18,20	03,18	03,20	18,20
	03, 16,17	03,16	03,17	16,17

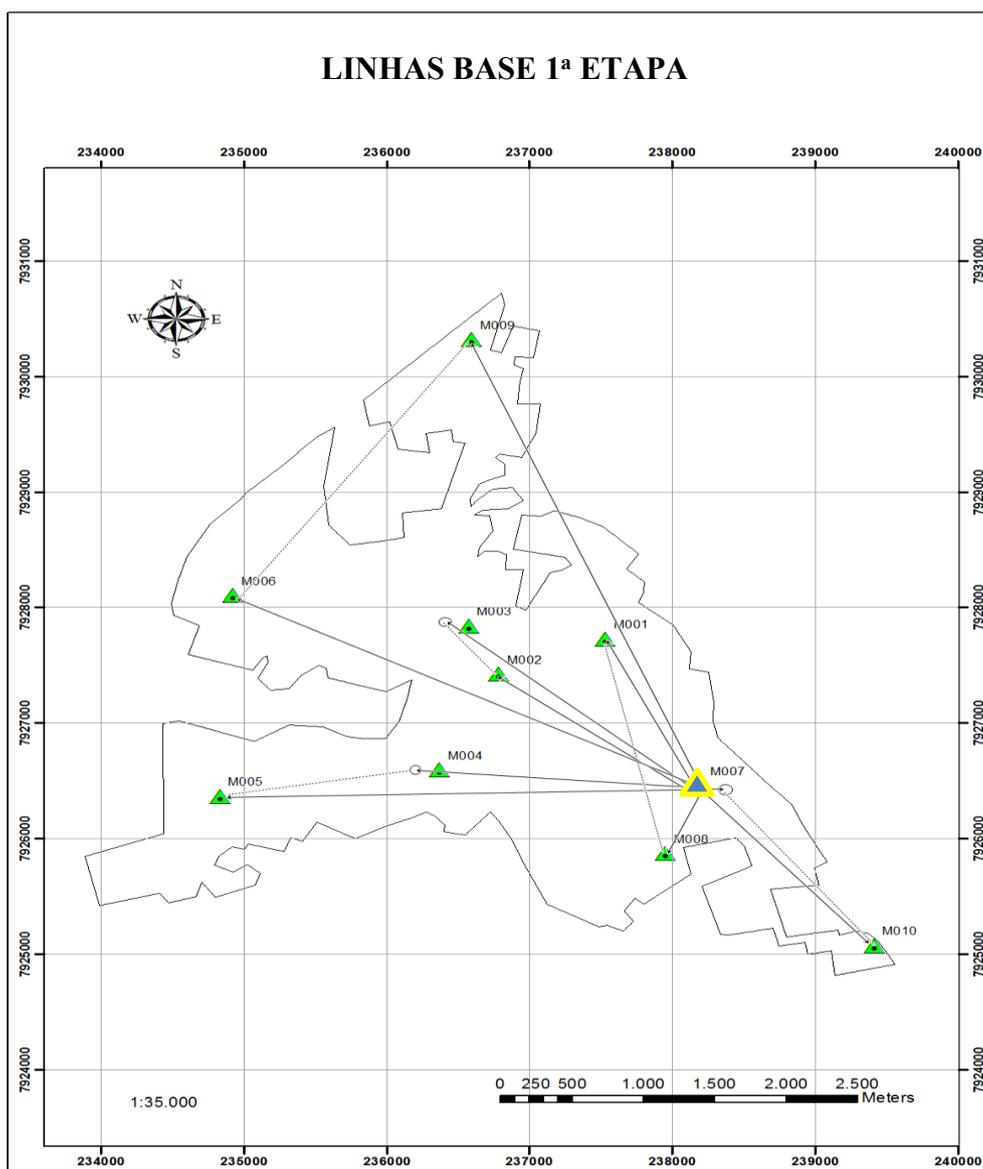
Fonte: O Autor.

Seguindo-se essa metodologia baseada em seções, o tempo de rastreamento definido é de 30 minutos pois a literatura sugere (IBGE, 2008) que, para tal tempo de rastreamento, espera-se a obtenção de uma incerteza planimétrica da ordem de  $0,005 \text{ m} + 1 \text{ ppm}$ . É possível notar-se que houve reocupações de todos os marcos implantados.

As seções representadas nas figuras abaixo mostram as etapas do levantamento da rede. Linhas contínuas com uma seta no final indicam linhas de base independentes, linhas pontilhadas indicam linhas dependentes, como mostram as Figuras de 12 a 14, todas partindo da sua estação base. Assim, este levantamento foi dividido em seções, para melhor planejamento de rastreamento e logística da rede em questão.

As Figuras de 12 a 14 apresentam a geometria das seções adotadas.

Figura 4 – Seção SESI.



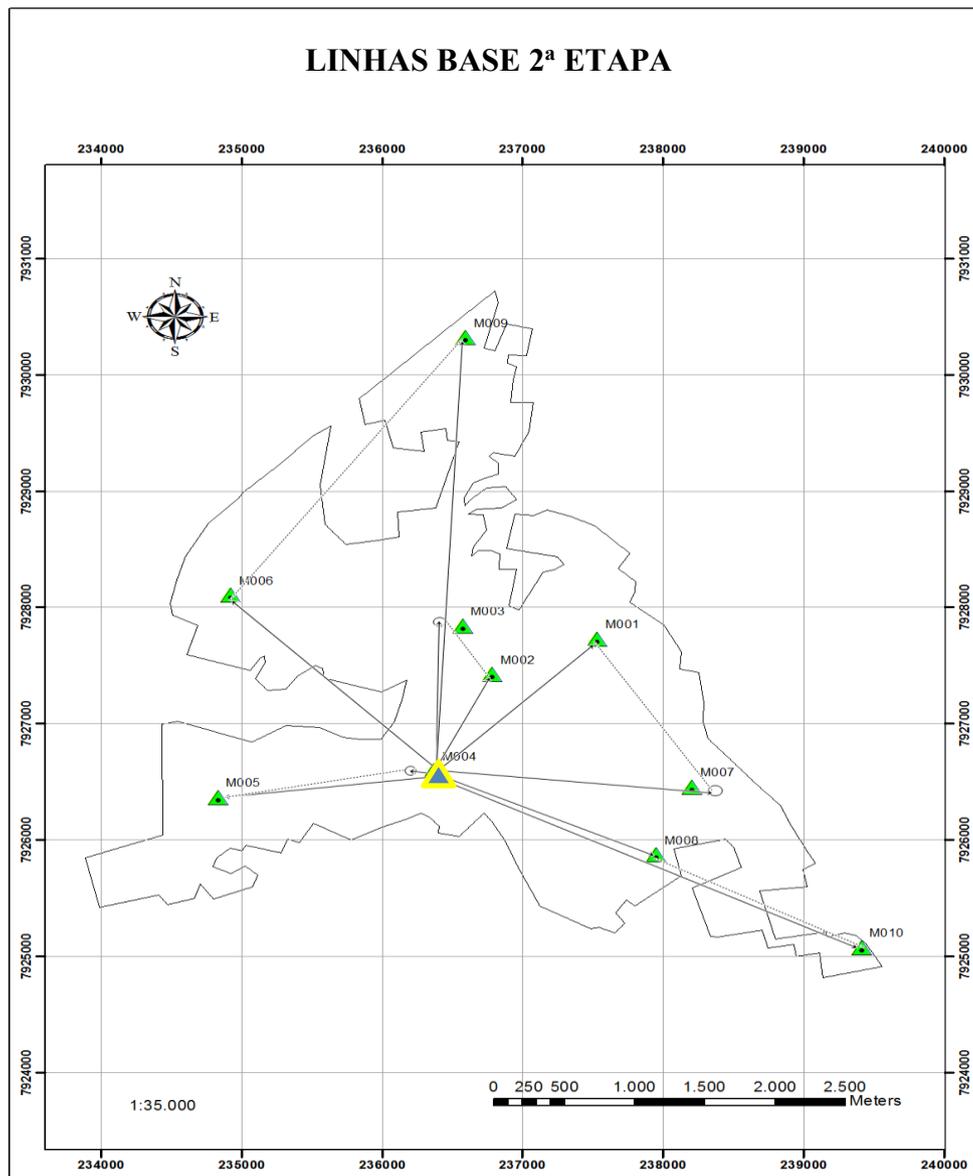
Fonte: O Autor.

Tabela 4: Seção SESI.

SEÇÕES	LINHAS BASE	LINHAS INDEPENDENTES		LINHAS DEPENDENTES
SESI (07)	07, 17,20	07,17	07,20	17,20
	07, 14,15	07,14	07,15	14,14
	07, 18,11	07,18	07,11	18,11
	07, 12,11	07,12	07,13	12,13
	07, 19,16	07,19	07,16	19,16

Fonte: O Autor

Figura 5– Seção CAMILÃO.



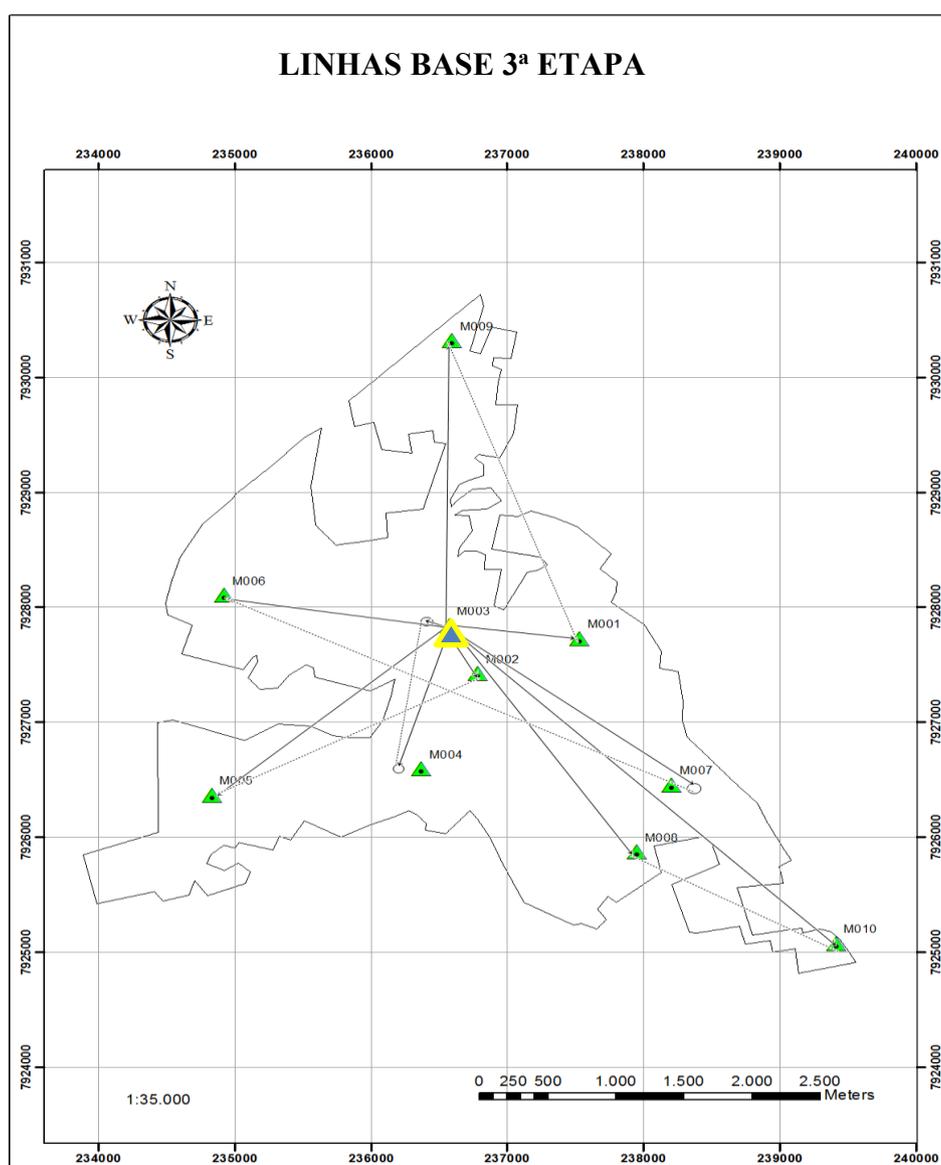
Fonte: O Autor.

Tabela 5: Seção CAMILÃO

SEÇÕES	LINHAS BASE	LINHAS INDEPENDENTES		LINHAS DEPENDENTES
CAMILÃO (04)	04, 18,20	04,18	04,20	18,20
	04, 14,15	04,14	04,15	14,15
	04, 17,11	04,17	04,11	17,11
	04, 13,12	04,13	04,12	13,12
	04, 19,16	04,19	04,16	19,16

Fonte: O Autor

Figura 6 – Seção ROSÁRIO.



Fonte: O Autor.

Tabela 6: Seção ROSÁRIO

SEÇÕES	LINHAS BASE	LINHAS INDEPENDENTES		LINHAS DEPENDENTES
ROSÁRIO (03)	03, 13,14	03,13	03,14	13,14
	03, 19,11	03,19	03,11	19,11
	03, 12,15	03,12	03,15	12,15
	03, 18,20	03,18	03,20	18,20
	03, 16,17	03,16	03,17	16,17

Fonte: O Autor.

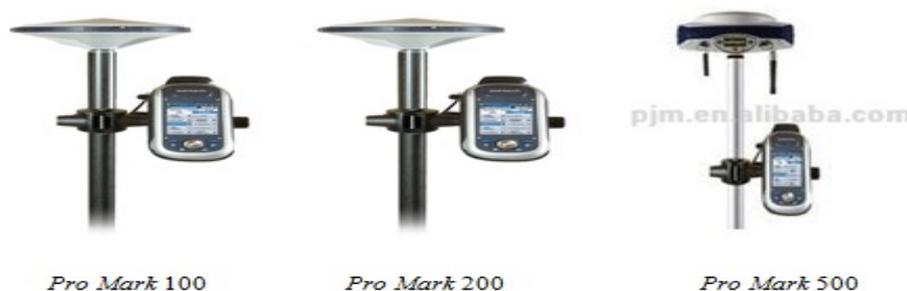
### 3.3 Equipamentos e software

Visando a determinação das coordenadas geodésicas dos marcos da rede, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Um receptor de simples frequência *Pro Mark 100* da *Ashtech/Spectra Precision*, com todos os acessórios e equipamentos – precisão estática horizontal de 5 mm + 1 ppm e vertical de 10 mm + 1 ppm;
- Um receptor de dupla frequência *Pro Mark 200* da *Ashtech/Spectra Precision*, com todos os acessórios e equipamentos – precisão estática horizontal de 5 mm + 1 ppm e vertical de 10 mm + 1 ppm;
- Um receptor de dupla frequência *Pro Mark 500* da *Ashtech/Spectra Precision*, com todos os acessórios e equipamentos - precisão estática horizontal de 5 mm + 1 ppm e vertical de 10 mm + 1 ppm.

A ilustração da (Figura 15) representa os receptores mencionados acima respectivamente.

Figura 15- Receptores GNSS.



Fonte: *Ashtech/Spectra Precision*

Para o pós-processamento das observações foi utilizado o seguinte *software*:

- *Topcon Tools v8.2*.

### **3.4 Processamento dos dados**

Para o transporte de coordenadas para as estações base foi utilizado o sistema de posicionamento absoluto do IBGE PPP-Online. Para comparação das coordenadas no trabalho anterior.

Uma vez executado o transporte, foi realizado o processamento dos dados das sessões de levantamento fora realizado em ambiente *Topcon Tools v8.2*, com utilização das efemérides precisas finais.

Etapas utilizadas para o processamento:

- ✓ Criado um projeto;
- ✓ transporte de Coordenadas e Importando Arquivos (descarregados do Receptor);
- ✓ importando Arquivos “RINEX” (O e N) Observação e Navegação;
- ✓ renomeando os Arquivos;
- ✓ definido os Marcos de Controle e especificando as Coordenadas Corretas para o Ajustamento;
- ✓ definindo o Tipo e a altura da Antena;
- ✓ processamento;
- ✓ ajustamento.

## **4. ORÇAMENTO DE EXECUÇÃO**

A (Tabela 7) apresenta uma simulação de orçamento baseado em referenciais, visando estimar-se qual seria, em um cenário ideal, o custo de realização do presente projeto.

Tabela 7– Previsão de orçamento.

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor unitário (R\$)</b>	<b>Valor total (R\$)</b>
Marco padrão IBGE	10	15,00	150,00
Placas e Gravação	10	5,00	50,00
Implantação Marco (Mestre de obras)	2	200,00	400,00
Material Implantação (areia/cimento)	3	30,00	90,00
Receptores de dupla frequência ( <i>Pro Mark</i> , base, <i>rover</i> , coletora, tripés, bases e bastões)	1	350,00/ 3 dias	1050,00
Deslocamentos (veículos)	3≈ 50 km	2,50	125,00
Dia de campo (engenheiro)	3	252,27	756,81
Dia de campo (ajudante)	6	90,00	540,00
Processamento dos dados	2	252,27	504,54
$\Sigma$	-----	-----	3.666,35

Fonte: O Autor.

Tabela 8 – Orçamento de acordo com referencial

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor unitário (R\$)</b>	<b>Valor total (R\$)</b>
<b>Poligonação com técnica GNSS de dupla frequência (ajuste pelo MMQ)</b>	10	R\$1.499,89	14.998,90

Fonte: Adaptado de revista Mira (<http://www.amiranet.com.br/simulador>)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A (Tabela 9) apresenta as coordenadas geodésicas ajustadas para os vértices rastreados e seus respectivos desvios-padrão, denotados por *sigma*, que também segue em apêndice deste, referenciadas ao sistema geodésico SIRGAS2000,4.

Tabela 9 – Coordenadas geodésicas ajustadas.

Marco	Longitude	Sigma m	Latitude	Sigma m	Altitude (h) (m)	Sigma (h)m
m011	47°29'20,35493" W	0,027	18°43'32,98517" S	0,017	877,732	0,020
m012	47°29'45,93555" W	0,031	18°43'41,60915" S	0,025	861,935	0,026
m013	47°29'52,44663" W	0,025	18°43'28,89611" S	0,016	856,553	0,017
m014	47°29'59,94416" W	0,024	18°44'08,59203" S	0,015	880,536	0,018
m015	47°30'54,46788" W	0,024	18°44'14,24399" S	0,014	892,523	0,017
m016	47°30'48,83273" W	0,028	18°43'17,17363" S	0,02	894,082	0,025
m017	47°28'57,60706" W	0,023	18°44'11,75802" S	0,013	887,344	0,016
m018	47°29'06,20300" W	0,024	18°44'32,92162" S	0,015	889,946	0,017
m019	47°29'52,78097" W	0,024	18°42'06,13473" S	0,015	875,366	0,017
m020	47°28'19,32288" W	0,041	18°44'58,15446" S	0,039	927,126	0,033

Fonte: O Autor.

A (Tabela 10) apresenta as coordenadas planas UTM ajustadas para os vértices rastreados e seus respectivos desvios-padrão, denotados por *sigma*, referenciadas ao sistema geodésico SIRGAS2000.

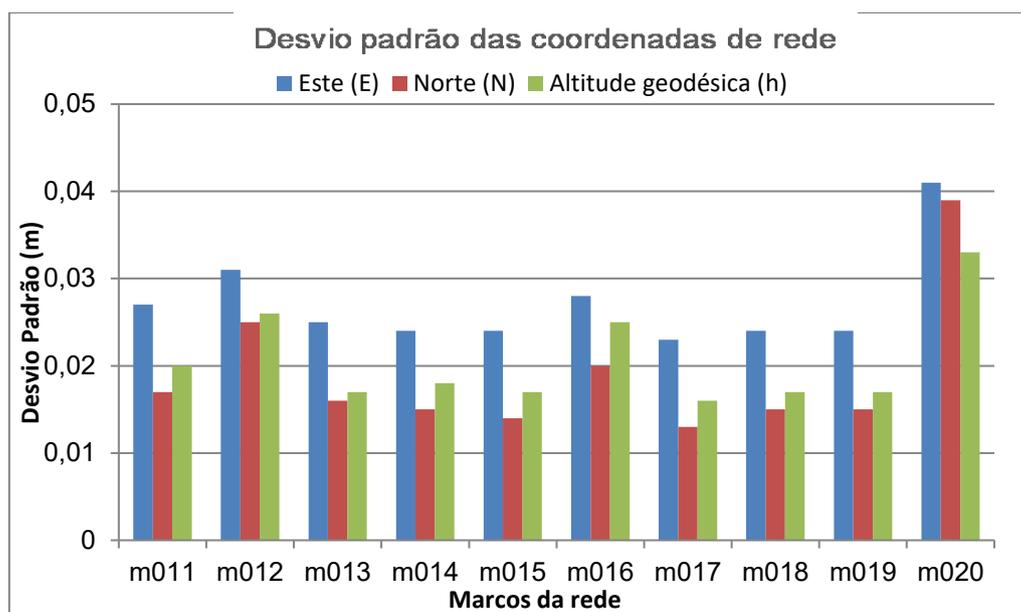
Tabela 10 – Coordenadas UTM ajustadas. Nesta tabela só apresente as coordenadas UTM (E,N), o restante por suprimir.

Marco	Este (E) (m)	Norte (N) (m)
m011	237542,295	7927677,520
m012	236796,347	7927401,788
m013	236600,061	7927790,143
m014	236397,455	7926566,098
m015	234802,126	7926369,778
m016	234942,516	7928127,492
m017	238225,542	7926494,249
m018	237982,724	7925839,794
m019	236554,633	7930335,574
m020	239367,204	7925082,801

Fonte: O Autor.

A ( Figura 16) apresenta graficamente os valores dos desvios-padrão para as três componentes em cada marco.

Figura 16 – Gráfico de apresentação dos valores dos desvios-padrão.



Fonte: O Autor.

O erro planimétrico médio ( $E_{p_m}$ ) é compreendido como a média aritmética da resultante dos desvios-padrão das componentes planimétricas ponto a ponto.

Obteve-se no levantamento dos marcos da rede um erro planimétrico médio de 0,033 m, valor considerado satisfatório ante a metodologia de levantamento utilizada. Os maiores desvios-padrão foram detectados no M020, localizado no bairro São Sebastião (0,039 m para a (E), 0,041 m para a (N) e 0,033 m para a altitude).

Analisando-se comparativamente aos resultados dos trabalhos de implantação da rede realizados por Rosa (2017) tem-se, na metodologia adotada na pesquisa mencionada, um erro planimétrico médio (“precisão planimétrica”) de 0,009 m.

Como legado propiciado por este trabalho, ficam arquivadas as monografias dos marcos que seguem em apêndice e ficam disponíveis à amplo acesso, para que assim se cumpra em plenitude o objetivo da implantação de marcos de apoio geodésico na área urbana do município de Monte Carmelo.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução deste trabalho pôde propiciar à comunidade os benefícios a que se propôs, haja vista encontra-se ora devidamente densificada a rede geodésica municipal.

Inicialmente, a referida rede dispunha de 10 marcos; agora, foram acrescentados mais 10 unidades com coordenadas e seus desvios-padrão devidamente definidos de forma que atendam às necessidades de futuros levantamentos topográficos e geodésicos para as mais diversas finalidades.

A proposta de utilizar o conceito de sessões de levantamento mostrou que é possível atingir-se valores adequados para os desvios-padrão fazendo-se valer desta técnica, que pode significar maior redundância de observações e favorecer ao ajustamento das observações.

De maneira geral, a utilização em conjunto de receptores de simples e dupla frequência sem que ocorresse uma desomogeneização das precisões foi mais uma implicação importante da utilização do conceito de sessões de levantamento.

As perspectivas são de que haja a complementação deste trabalho com a realização de nivelamento para transporte de altitudes niveladas que possibilitem a realização trabalhos de altimetria, além da inserção, nas monografias dos marcos, de informações de medidas gravimétricas sobre os marcos que compõem a rede.

## REFERÊNCIAS

CAMARGO P.O.. **Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores de uma frequência**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 191 p.1999.

CRAYMER, M.R. *Recommended Procedure for the Adjustment of Individual GPS Baseline Solutions - Internal Report*. Geodetic Survey Division, Geomatics Canada, 1995. 1p.

EUROPEAN SPATIAL AGENCY. *Galileo's brochure*. Disponível em <http://www.galileoic.org>. Acesso em 25 Jun. 2017.

GAMA, L.F. ; SEIXAS, A.; TENÓRIO, B. **Implantação e Interligação de Campo de Pontos Planimétrico de Referência para o Georreferenciamento de Estruturas Arquitetônicas**. . II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. Recife. 2008.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2006. 611p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Recomendações para levantamentos GPS**. Rio de Janeiro. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Rede Brasileiro de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC)**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm?c=7>. Acesso em 01 Jul. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), **Padronização de Marcos Geodésicos**- Agosto de 2008.

MATSUOKA, M. T. **Avaliação de Funções para a Modelagem do Efeito da Refração Ionosférica na Propagação dos Sinais GPS**. 2003. 164f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. MONICO, J. F. G.. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2 ed.. Brasil: Editora UNESP, 2008. 480 p.. ISBN 9788571397880.

OLIVEIRA, R. **Otimização dos pesos das observações geodésicas pelo problema de valor próprio inverso com considerações sobre o planejamento da confiabilidade da observação**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

RIZOS, C. *Network RTK Research and Implementation - A geodetic perspective*. *Journal of Global Positioning System*, v.1, n.2, p.144-150, 2002.

ROCHA, R, S,; WESCHENFELDER, J, **Rede Geodésica Municipal – A estrutura fundamental da cartografia urbana**, Conselho em Revista CREA-RS, P, 33-34, 2015,

ROSA, R. S.. **Implantação de rede geodésica do município de Monte Carmelo** (MG). Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). 58p.. Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Monte Carmelo, Minas Gerais, 2017.

SAPUCCI, L. F. **Estimativa do Vapor D'água Atmosférico e a Avaliação da Modelagem do Atraso Zenital Troposférico Utilizando GPS**. 2001. 167f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

SEEBER, G. *Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications*. Berlim: Nova York: Walter de Gruyter, 2003.

## APÊNDICE



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Geografia



Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica

Monografia de Estação Geodésica

Estação: 1011		Nome da Estação:		Tipo:	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 18/08/2017	
Conexões:		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18°43'32,98517"S	Altitude Ortométrica (m):		Gravidade (mGal):	
Longitude:	47°29'20,35493"W	Sigma Altitude (m):		Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	877,732	Datum:		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,017	Data de medição:		Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,027	Data do processamento:		Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,02				
UTM (N):	7.927.677,520				
UTM (E):	237.542,295				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	16/08/2017				
Data do processamento:	10/10/2017				
Método de medição: Posicionamento Relativo.					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado na praça do Cristo.					

Foto detalhe:



Panorama:



Campus UFU Monte Carmelo - Rodovia LMG 746 km 1, s/n  
Monte Carmelo – MG – CEP 38500-000 - Fone: 34 3810-1036



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Geografia



Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica

Monografia de Estação Geodésica

Estação: 1012		Nome da Estação:		Tipo:	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 18/08/2017	
Conexões:		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18°43'41,60915"S	Altitude Ortométrica (m):		Gravidade (mGal):	
Longitude:	47°29'45,93555"W	Sigma Altitude (m):		Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	861,935	Datum:		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,025	Data de medição:		Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,031	Data do processamento:		Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,026				
UTM (N):	7.927.401,788				
UTM (E):	236.796,347				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	16/08/2017				
Data do processamento:	10/10/2017				
Método de medição: Posicionamento Relativo.					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado na praça da igreja Matriz.					

Foto detalhe:

Panorama:



Campus UFU Monte Carmelo - Rodovia LMG 746 km 1, s/n  
Monte Carmelo – MG – CEP 38500-000 - Fone: 34 3810-1036



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Geografia



Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica

Monografia de Estação Geodésica

Estação: 1013		Nome da Estação:		Tipo:	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 18/08/2017	
Conexões:		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18°43'28,89611"S	Altitude Ortométrica (m):		Gravidade (mGal):	
Longitude:	47°29'52,44663"W	Sigma Altitude (m):		Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	856,553	Datum:		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,016	Data de medição:		Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,025	Data do processamento:		Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,017				
UTM (N):	7.927.790,143				
UTM (E):	236.600,061				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	16/08/2017				
Data do processamento:	10/10/2017				
Método de medição: Posicionamento Relativo.					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado na praça da igreja do Rosário					

Foto detalhe:	Panorama:

Campus UFU Monte Carmelo - Rodovia LMG 746 km 1, s/n  
Monte Carmelo – MG – CEP 38500-000 - Fone: 34 3810-1036



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Geografia



Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica

Monografia de Estação Geodésica

Estação: 1014		Nome da Estação:		Tipo:	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 18/08/2017	
Conexões:		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18°44'08,59203"S	Altitude Ortométrica (m):		Gravidade (mGal):	
Longitude:	47°29'59,94416"W	Sigma Altitude (m):		Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	880,536	Datum:		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,015	Data de medição:		Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,024	Data do processamento:		Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,018				
UTM (N):	7.926.566,098				
UTM (E):	236.397,455				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	16/10/2017				
Data do processamento:	10/10/2017				
Método de medição: Posicionamento Relativo.					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado na praça do Camilão.					
Foto detalhe:			Panorama:		

Campus UFU Monte Carmelo - Rodovia LMG 746 km 1, s/n  
Monte Carmelo – MG – CEP 38500-000 - Fone: 34 3810-1036



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Geografia



Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica

Monografia de Estação Geodésica

Estação: 1015		Nome da Estação:		Tipo:	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 18/08/2017	
Conexões:		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18°44'14,24399"S	Altitude Ortométrica (m):		Gravidade (mGal):	
Longitude:	47°30'54,46788"W	Sigma Altitude (m):		Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	892,523	Datum:		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,014	Data de medição:		Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,024	Data do processamento:		Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,017				
UTM (N):	7.926.369,778				
UTM (E):	234.802,126				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	16/08/2017				
Data do processamento:	10/10/2017				
Método de medição: Posicionamento Relativo.					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado na FUCAMP.					
Foto detalhe:			Panorama:		

Campus UFU Monte Carmelo - Rodovia LMG 746 km 1, s/n  
Monte Carmelo – MG – CEP 38500-000 - Fone: 34 3810-1036



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Geografia



Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica

Monografia de Estação Geodésica

Estação: 1016		Nome da Estação:		Tipo:	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 18/08/2017	
Conexões:		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18°43'17,17363"S	Altitude Ortométrica (m):		Gravidade (mGal):	
Longitude:	47°30'48,83273"W	Sigma Altitude (m):		Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	894,082	Datum:		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,02	Data de medição:		Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,028	Data do processamento:		Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,025				
UTM (N):	7.928.127,492				
UTM (E):	234.942,516				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	16/08/2017				
Data do processamento:	10/10/2017				
Método de medição: Posicionamento Relativo.					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado na praça do Bairro Catulina.					
Foto detalhe:			Panorama:		

Campus UFU Monte Carmelo - Rodovia LMG 746 km 1, s/n  
Monte Carmelo - MG - CEP 38500-000 - Fone: 34 3810-1036



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Geografia



Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica

Monografia de Estação Geodésica

Estação: 1017		Nome da Estação:		Tipo:	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 18/08/2017	
Conexões:		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18°44'11,75802"S	Altitude Ortométrica (m):		Gravidade (mGal):	
Longitude:	47°28'57,60706"W	Sigma Altitude (m):		Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	887,344	Datum:		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,013	Data de medição:		Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,023	Data do processamento:		Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,016				
UTM (N):	7.926.494,249				
UTM (E):	238.225,542				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	16/08/2017				
Data do processamento:	10/10/2017				
Método de medição: Posicionamento Relativo.					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal padrão IBGE, localizado no SESI (laboratorios campus UFU).					
Foto detalhe:			Panorama:		

Campus UFU Monte Carmelo - Rodovia LMG 746 km 1, s/n  
Monte Carmelo – MG – CEP 38500-000 - Fone: 34 3810-1036



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Geografia



Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica

Monografia de Estação Geodésica

Estação: 1018		Nome da Estação:		Tipo:	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 18/08/2017	
Conexões:		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18°44'32,92162"S	Altitude Ortométrica (m):		Gravidade (mGal):	
Longitude:	47°29'06,20300"W	Sigma Altitude (m):		Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	889,946	Datum:		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,015	Data de medição:		Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,024	Data do processamento:		Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,017				
UTM (N):	7.925.839,794				
UTM (E):	237.982,724				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	16/08/2017				
Data do processamento:	10/10/2017				
Método de medição: Posicionamento Relativo.					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado no parque de Exposições					

Foto detalhe:



Panorama:



Campus UFU Monte Carmelo - Rodovia LMG 746 km 1, s/n  
Monte Carmelo – MG – CEP 38500-000 - Fone: 34 3810-1036



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Geografia



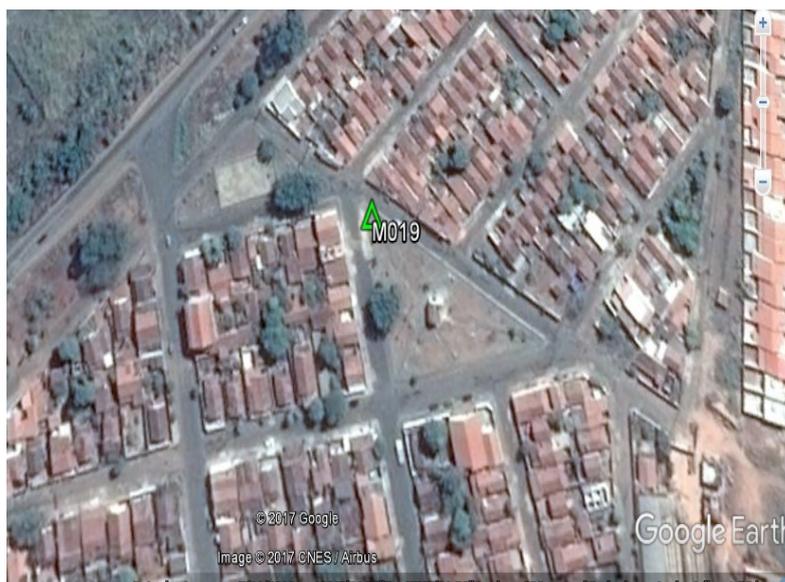
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica

Monografia de Estação Geodésica

Estação: 1019		Nome da Estação:		Tipo:	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 18/08/2017	
Conexões:		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18°42'06,13473"S	Altitude Ortométrica (m):		Gravidade (mGal):	
Longitude:	47°29'52,78097"W	Sigma Altitude (m):		Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	875,366	Datum:		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,015	Data de medição:		Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,024	Data do processamento:		Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,017				
UTM (N):	7930335,574				
UTM (E):	236554,633				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	16/08/2017				
Data do processamento:	10/10/2017				
Método de medição: Posicionamento Relativo.					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado na praça do bairro Santa Rita de Cássia					

Foto detalhe:

Panorama:





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
Universidade Federal de Uberlândia  
Instituto de Geografia



Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica

Monografia de Estação Geodésica

Estação: 1020		Nome da Estação:		Tipo:	
Município: Monte Carmelo		UF: MG		Última Visita: 18/08/2017	
Conexões:		Estado de Conservação do marco: Bom			
PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA		GRAVIMETRIA	
Latitude:	18°44'58,15446"S	Altitude Ortométrica (m):		Gravidade (mGal):	
Longitude:	47°28'19,32288"W	Sigma Altitude (m):		Sigma gravidade:	
Altitude Geométrica (m):	927,126	Datum:		Datum:	
Sigma Latitude (m):	0,039	Data de medição:		Data de medição:	
Sigma Longitude (m):	0,041	Data do processamento:		Data do processamento:	
Sigma Altitude Geométrica (m):	0,033				
UTM (N):	7925082,801				
UTM (E):	239367,204				
MC:	-45				
Sistema de Referência: SIRGAS2000					
Data de medição:	16/08/2017				
Data do processamento:	10/10/2017				
Método de medição: Posicionamento Relativo.					
Observações:					
Descrição da localização:					
Marco de concreto piramidal localizado na praça do bairro São Sebastião.					
Foto detalhe:			Panorama:		

Campus UFU Monte Carmelo - Rodovia LMG 746 km 1, s/n  
Monte Carmelo - MG - CEP 38500-000 - Fone: 34 3810-1036