



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CAMPUS MONTE CARMELO
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA

Vinicius José Souza Luz

**Implantação de uma rede geodésica com GNSS no campus Araras da UFU
de Monte Carmelo**

Monte Carmelo

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CAMPUS MONTE CARMELO
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA

Vinicius José Souza Luz

Implantação de uma rede geodésica com GNSS no campus Araras da UFU de Monte Carmelo

Trabalho apresentado como requisito para obtenção de aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Carrupt Machado

Coorientador: Prof. Msc. Vinícius Francisco Rofatto

Monte Carmelo

2019

*“Nada te perturbe,
nada te espante,
tudo passa.
Deus não muda.
A paciência tudo alcança.
Quem a Deus tem nada lhe falta.
Só Deus basta!”*

Santa Teresa D’Ávila

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, por Seu infinito amor e bondade que me sustentam a cada novo dia.

A minha família pelo amor e carinho que me ensinaram sempre a prosseguir.

Ao meu orientador Prof. Dr. Wagner Carrupt Machado, pelo apoio, ensinamentos transmitidos e importante contribuição para realização deste trabalho.

Ao meu coorientador Prof. Msc. Vinícius Francisco Rofatto, pela ajuda com o processamento dos dados, e em várias etapas deste trabalho, pelos ensinamentos em cada atendimento.

Ao Prof. Dr. Gabriel do Nascimento Guimarães pelas considerações e dicas ao longo do trabalho.

Ao Técnico Valdiney José da Silva pelos conhecimentos transmitidos, pela ajuda em todas as etapas deste trabalho, sem o qual não seria possível o êxito conseguido.

Aos funcionários da empresa Rocha, Jair Castro dos Santos e José Pereira que tanto se empenharam na construção e implantação dos marcos no terreno.

Aos jovens do Grupo de Oração Universitário Providência Divina pela fraterna convivência no ambiente universitário.

Aos meus irmãos Keliton e José Vinícius pela caminhada que vivenciamos juntos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Posicionamento relativo com o GNSS	18
Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo	26
Figura 3 – Receptor GNSS Topcon Hiper V (A). Receptor GNSS Promark 500 (B)	27
Figura 4 – Fluxograma da metodologia proposta	27
Figura 5 – Modelo dos corpos de prova implantados no Campus Araras	28
Figura 6 – Área trabalhada por trator (a). Estado de abalo do corpo de prova P09 (b)	29
Figura 7 – Localização dos marcos pré-existentes no Campus Araras	29
Figura 8 – Definição da disposição dos marcos propostos no terreno	31
Figura 9 – Padrão do IBGE para a construção de marcos geodésicos	32
Figura 10 – Forma de madeira feita com o padrão do IBGE utilizada na construção dos marcos	32
Figura 11 – Marcos construídos para materialização da RGCA	33
Figura 12 – Fixação das chapas metálicas aos marcos	33
Figura 13 – Esboço da rede planejada	35
Figura 14 – Modelo de Antena Promark 500	38
Figura 15 – Modelo de Antena Hiper V	38
Figura 16 – Presença de todas as linhas de base entre três vértices (1). Remoção da linha de base dependente (2). Processamento das linhas de base independentes (3)	39
Figura 17 – Configuração geral do ajustamento no software Topcon Tools	40
Figura 18 – Definição de σ_0^2 na primeira estratégia de ajustamento	40
Figura 19 – $\hat{\sigma}_0^2$ (UWE) obtido para dimensão horizontal e observações identificadas com critério o Tau	41
Figura 20 – $\hat{\sigma}_0^2$ (UWE) obtido para dimensão vertical e observações identificadas com o critério Tau	41
Figura 21 – Quadro de informações sobre o ajustamento com a primeira estratégia	42
Figura 22 – Definição de σ_0^2 na segunda estratégia de ajustamento	42
Figura 23 – Fluxograma do processamento	43

Figura 24 – Comportamento das incertezas inerentes a cada observação representadas pelo RMS nas componentes horizontal e vertical	45
Figura 25 – Esboço da rede concebida após o processamento dos dados	46
Figura 26 – Diferença entre dois resultados para uma mesma linha de base	46
Figura 27 – Erro de fechamento obtido com dados do receptor Promark 500	47
Figura 28 – Erro de fechamento obtido com dados do receptor Hiper V	47
Figura 29 – Quadro de informações obtido após o ajustamento	48
Figura 30 – Precisão das coordenadas E, N e h	49
Figura 31 – Bandeiras utilizadas e colocação de brita ao redor do marco	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fontes e efeitos dos erros envolvidos no GNSS	17
Quadro 2 – Simplificação adotada para o nome da estação MGMT do IBGE	34
Quadro 3 – Execução do levantamento geodésico em campo realizado com dois receptores Promark 500 – 1º dia	36
Quadro 4 – Execução do levantamento geodésico em campo realizado com dois receptores Topcon Hiper V – 2º dia	36
Quadro 5 – Dias do levantamento com GNSS	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais contribuições dos erros envolvidos no GNSS	17
Tabela 2 – Estimativa de precisão para o posicionamento relativo com o GNSS	19
Tabela 3 – Coordenadas UTM do ponto de controle	37
Tabela 4 – Resultado do processamento	44
Tabela 5 – Coordenadas Geográficas da RGCA – Sistema de Referência SIRGAS 2000	48
Tabela 6 – Coordenadas no Sistema de Projeção UTM – Fuso 23 – MC 45°W	48

LISTA DE SIGLAS

GNSS - *Global Navigation Satellite System*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MMQ – Método dos Mínimos Quadrados

NGS - *National Geodetic Survey*

PREFE – Prefeitura Universitária

RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

RGCA – Rede Geodésica do Campus Araras

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 JUSTIFICATIVA.....	14
3 OBJETIVOS	14
3.1 Objetivo Geral	14
3.2 Objetivos Específicos.....	14
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
4.1 O Sistema de Navegação Global por Satélites (GNSS)	14
4.1.1 Observáveis utilizadas.....	15
4.1.2 Principais erros que afetam o posicionamento com GNSS.....	16
4.1.3 Posicionamento relativo com GNSS	18
4.2 Redes Geodésicas.....	19
4.2.1 Etapas do projeto de uma rede geodésica.....	20
4.3 Ajustamento de Observações	21
4.3.1 O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).....	22
4.3.2 Ajustamento de redes	23
4.4 Controle de Qualidade das Observações.....	24
4.4.1 Teste Global do Ajustamento.....	24
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
5.1 Área de estudo	26
5.2 Material	26
5.3 Fluxograma	27
5.4 Planejamento da Rede Geodésica do Campus Araras.....	28
5.5 Marcos geodésicos da RGCA	31
5.6 Execução do levantamento com GNSS.....	34
5.7 Etapa de pré-análise da rede concebida	37
5.8 Processamento dos dados.....	37

5.9 Ajustamento das observações.....	39
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
6.1 Processamento dos dados.....	44
6.2 Pré-análise.....	46
6.3 Ajustamento das observações	47
6.4 Medidas de proteção aos marcos da RGCA	49
7 CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS	51

RESUMO

As redes geodésicas basicamente se resumem na realização do referencial geodésico de uma região, a partir de pontos materializados no terreno. As redes geodésicas são importantes em atividades como monitoramento das mudanças climáticas, geodinâmica, obras de engenharia, cadastro de imóveis urbanos e monitoramento de estruturas. Além disso, não se descarta a utilidade de uma rede geodésica em um cenário menor como em uma universidade. Tais redes podem ser usadas tanto no suporte da implantação de obras de infraestrutura na universidade, como no ensino e pesquisa. Este trabalho tem por objetivo apresentar a metodologia adotada na implantação de uma rede geodésica com GNSS no Campus Araras da UFU em Monte Carmelo – MG (RGCA), a qual é composta por dez marcos de concreto construídos conforme o padrão estabelecido pelo IBGE e implantados em locais onde o impacto devido ao trânsito de tratores fosse minimizado. Utilizou-se os receptores GNSS Topcon Hiper V e Promark 500 para execução do levantamento geodésico em campo. Os dados foram processados no software Topcon Tools conforme o método de posicionamento relativo estático, no qual utilizou-se a estação MGMT da RBMC como estação de referência. Os dados obtidos após o processamento foram avaliados em etapa de pré-análise e ajustados com o MMQ pelo método paramétrico. O controle de qualidade foi realizado segundo o Teste Global do Ajustamento e pelo critério Tau. As precisões obtidas após o ajustamento foram melhores que 5 mm, a um nível de confiança igual a 99%, analisando as coordenadas E, N e h de cada um dos dez marcos da rede. Elaborou-se as monografias com as informações de cada marco, estes dados foram disponibilizados ao Laboratório de Topografia e Geodésia (LTGEO), estando acessíveis a toda comunidade acadêmica.

Palavras-chave: Rede Geodésica, Ajustamento, GNSS.

1 INTRODUÇÃO

As redes geodésicas basicamente se resumem na realização do referencial geodésico de uma região, a partir de pontos materializados, e estes, possuem entre si certa relação de precisão e apresentam alta confiabilidade (MARINI, 2002).

Segundo Klein (2014), o projeto de uma rede geodésica perpassa essencialmente por etapas como a de planejamento da rede, a coleta dos dados ou observações em campo, o ajustamento das observações para se obter a melhor solução para as incógnitas envolvidas, neste caso, as coordenadas tridimensionais das estações implantadas que compõem a rede, e enfim, a etapa de controle de qualidade que visa detectar e identificar possíveis erros inerentes às observações.

Uma rede geodésica pode ser empregada para diversas finalidades, como para o referencial geodésico para o cadastro de municípios (NBR 14.166); monitoramento de estruturas (FAZAN, 2010); locação de obras de engenharia (PINTO, 2010); na implantação e manutenção de diversos serviços de infraestrutura (IBGE, 1983).

Atualmente, o SGB (Sistema Geodésico Brasileiro) estabelecido e mantido pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), reúne diferentes tipos de estações materializadas ao longo do território brasileiro, as quais são recomendadas para as atividades geodésicas no Brasil, como estações básicas de referência. Neste âmbito as estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos sistemas GNSS) e as estações SAT-GPS da rede planimétrica passiva, ambas vinculadas ao SGB, são de grande valia como referencial geodésico em boa parte dos trabalhos neste campo, inclusive na implantação de redes geodésicas (IBGE, 2017).

Geralmente as redes geodésicas são concebidas em dimensão geométrica proporcional à dimensão de municípios ou à extensas regiões, no entanto, não se descarta a utilidade da rede de pequenas proporções, ou com menor área de abrangência, tendo-se em vista, por exemplo, atender demandas em um território restrito.

Neste sentido, dentro do contexto acadêmico, pode-se citar Cheurubim et al. (2013), que propuseram a densificação e o melhoramento da qualidade da rede pré-existente localizada no Campus Santa Mônica da UFU. Tal trabalho visou oferecer àquela comunidade acadêmica melhores condições de pesquisa e atividades diversas que envolvem a presença de marcos geodésicos.

No âmbito do campus Araras da UFU-Monte Carmelo, propõem-se com este trabalho implantar uma rede geodésica que possa dispor de qualidade para atender os anseios da comunidade acadêmica em geral.

2 JUSTIFICATIVA

Com vista a proporcionar à comunidade acadêmica do campus Araras da UFU em Monte Carmelo melhores condições de trabalho no âmbito de pesquisas, experimentos e aulas práticas que requerem o apoio de marcos geodésicos com coordenadas pré-determinadas se justifica a proposta de implantação da rede geodésica no campus, tendo-se em vista atualmente que os marcos existentes utilizados com mais frequência pelos estudantes, são paliativos e suscetíveis à movimentação devido ao trânsito de tratores. Além disso, o plano diretor da unidade Araras da UFU prevê a construção de mais alguns prédios, além de infraestruturas. Portanto a rede proposta poderá ser utilizada para dar suporte a tais obras.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Implantar uma rede geodésica com GNSS no Campus Araras da UFU em Monte Carmelo - MG.

3.2 Objetivos Específicos

- Viabilizar medidas de proteção aos marcos implantados;
- Disponibilizar os resultados obtidos neste trabalho ao banco de dados geodésico que está em desenvolvimento na UFU – Campus Monte Carmelo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 O Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS)

A sigla GNSS (*Global Navigation Satellite System*) refere-se ao sistema de navegação global por satélite. Segundo IBGE (2017), os principais sistemas de navegação que compõem o GNSS são o GPS, sistema norte-americano em operação desde 1995, o GLONASS, em

operação na Rússia desde o ano de 2011, o Beidou, sistema chinês em operação no continente asiático desde 2011 embora ainda esteja em desenvolvimento. O Galileo, sistema europeu em desenvolvimento com apenas alguns serviços operacionais a partir do ano de 2017.

4.1.1 Observáveis utilizadas

Dentre os sinais transmitidos pelos satélites GNSS, basicamente duas observáveis são utilizadas para determinar posição, velocidade e tempo. (MONICO, 2008), estas observáveis são conhecidas como:

- Pseudodistância a partir do código;
- Fase da onda portadora ou diferença de fase da onda portadora.

A observável pseudodistância, de forma sucinta, consiste na medida de distância entre o satélite e o receptor por meio da multiplicação do tempo de propagação do sinal pela velocidade da luz. Devido ao fato desta medida não representar a distância geométrica ou a distância verdadeira entre satélite e receptor é conhecida como pseudodistância, por ocasião da interferência de erros durante a propagação do sinal no espaço. Pode-se citar como exemplo os erros de refração da atmosfera na ionosfera e troposfera e aquele proporcionado por multicaminho (MONICO, 2008).

Segundo Monico (2008), as medidas de distâncias entre o satélite e o receptor são obtidas por um processo de correlação dos códigos gerados nos satélites e suas réplicas geradas no receptor. O tempo necessário que o sinal leva para se propagar da antena do satélite à antena receptora, faz com que o sinal gerado pelo satélite chegue atrasado no receptor, esta diferença de tempo do instante de transmissão e recepção do sinal, respectivamente pelo satélite e receptor é obtida pela técnica de correlação cruzada do código. Finalmente, a pseudodistância é obtida multiplicando-se o tempo de propagação do sinal pela velocidade da luz no vácuo (c).

A equação da pseudodistância considerando o satélite S e o receptor R (PD_R^S) é descrita segundo Monico (2008) como na equação 1:

$$PD_R^S = \rho_R^S + c[dt_r - dt^s] + I_r^s + T_r^s + dm_r^s + \varepsilon_{PD_R^S} \quad (1)$$

Onde:

ρ_R^S : Distância geométrica entre o satélite e o receptor (m);

c : Velocidade da luz no vácuo (ms^{-1});

dt_r : Erro do relógio do receptor (segundos);

dt^s : Erro do relógio do satélite (segundos);
 I_r^s : Erro devido a refração atmosférica na ionosfera (m);
 T_r^s : Erro devido refração atmosférica na troposfera (m);
 dm_r^s : Erro causado por multicaminho do sinal entre o satélite e o receptor (m);
 $\varepsilon_{PD_R^s}$: Erro da medida da pseudodistância (m).

Já a observável fase da onda portadora, é definida pela diferença entre a fase do sinal do satélite, recebida no receptor (ϕ^s), e a fase do sinal gerada no receptor (ϕ_r), simultaneamente obtidas no instante (t_r). Em relação a pseudodistância a fase da onda portadora (ϕ_R^s) é cerca de 1000 vezes mais precisa, e se faz presente na maioria das atividades geodésicas, ϕ_R^s pode ser descrita pela equação 2 (MONICO, 2008):

$$\phi_R^s = f \left(\frac{\rho_r^s - I_r^s + T_r^s + dm}{c} \right) + f[(dt_r(t) - dt^s] + \quad (2)$$

$$+ [\phi^s(t) - \phi_r(t)] + N_r^s + \varepsilon_{\phi_r}^s$$

Onde:

t : Instante de recepção do sinal na estação r;
 $\phi^s(t)$: Fase da onda portadora gerada no satélite s e recebida na estação r no instante da recepção;
 $\phi_r(t)$: Fase gerada no receptor no instante da recepção;
 N_r^s : Ambiguidade da fase;
 f : Frequência do sinal;
 ρ_r^s : Parte geométrica dos efeitos de refração ionosférica e troposférica e dos efeitos de multicaminho;
 $\varepsilon_{\phi_r}^s$: Erro da fase da onda portadora;
 dm : Erro devido ao efeito de multicaminho;
 I_r^s : Erro devido a refração atmosférica na ionosfera;
 T_r^s : Erro devido refração atmosférica na troposfera.

4.1.2 Principais erros que afetam o posicionamento com GNSS

O processo de obtenção de medidas entre satélite e receptor no posicionamento com GNSS está sujeito à contaminação de erros proporcionados por diferentes fatores, como por exemplo, fatores devido aos satélites, antenas receptoras, e estações (pontos materializados na superfície terrestre). O Quadro 1 apresenta as principais fontes e efeitos dos erros associados ao posicionamento com GNSS.

Quadro 1 – Fontes e efeitos dos erros envolvidos no GNSS.

Fontes	Erros
Satélite	Erro da órbita Erro do relógio Relatividade Atraso entre as duas portadoras no hardware do satélite Centro de fase da antena do satélite Fase <i>wind-up</i>
Propagação do sinal	Refração troposférica Refração ionosférica Perdas de ciclos Multicaminho ou sinais refletidos Rotação da Terra
Receptor/Antena	Erro do relógio Erro entre os canais Centro de fase da antena do receptor Atraso entre as duas portadoras no hardware do receptor Fase <i>wind-up</i>
Estação	Erros nas coordenadas Multicaminho ou sinais refletidos Marés terrestres Movimento do polo Carga oceânica Pressão da atmosfera

Fonte: Adaptado de Monico (2008).

Ressalta-se que cada fonte de erro proporciona no posicionamento efeitos de diferentes magnitudes, a ionosfera representa a fonte de erro que mais contribui para a degradação da qualidade do posicionamento, considerando que sejam utilizados apenas receptores de simples frequência. Quando se combina o efeito de cada fonte de erro admitido no vetor satélite-receptor, tem-se como resultado o erro equivalente de distância para o usuário ou o *User Equivalent Ranger Error* (UERE) (MONICO, 2008). Pode-se verificar na Tabela 1 algumas das contribuições mais significantes de erro da tecnologia GNSS.

Tabela 1 – Principais contribuições dos erros envolvidos no GNSS.

Fonte de erro	Contribuição $1\sigma(m)$
Intervalo de sinal no espaço	
Órbita do satélite de transmissão	0,2 – 1,0
Relógio do satélite de transmissão	0,3 – 1,9
Atrasos do grupo de transmissão	0,0 – 0,2
Equipamento do usuário	

Atraso ionosférico não modelado	0,0 – 5,0
Atraso troposférico não modelado	0,2
Multicaminho	0,2 – 1,0
Ruído do receptor	0,1 – 1,0
UERE	0,5 – 6,0

Fonte: Adaptado de Teunissen (2017).

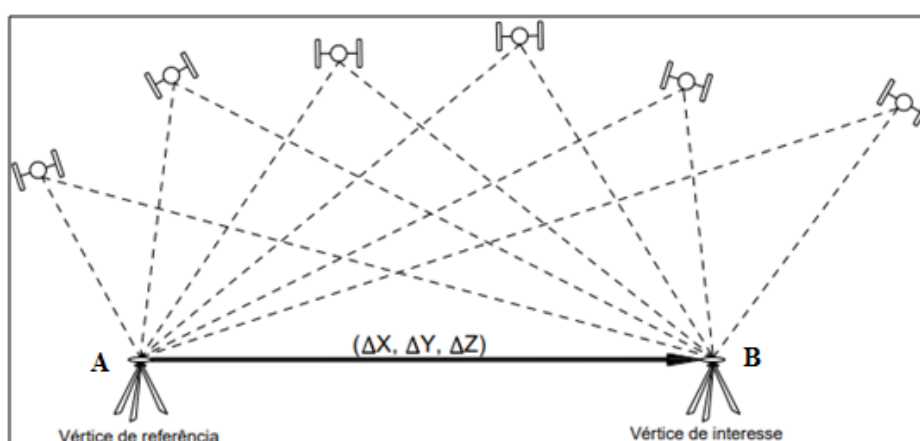
4.1.3 Posicionamento Relativo com o GNSS

Para se realizar este tipo de posicionamento com o GNSS é necessário que o usuário se disponha de no mínimo dois receptores. Neste caso um dos receptores ocupa uma estação geralmente com coordenadas conhecidas, denominadas como base, e, de modo simultâneo, um ou mais receptores ocupam os pontos de interesse, conhecidos como *rovers*, dos quais se deseja determinar as coordenadas tridimensionais, ou seja, posicioná-los no terreno em relação a referência de base.

Neste processo, basicamente, o transporte de coordenadas da estação com coordenadas conhecidas (base) para os demais pontos ocupados (*rovers*) se dá a partir das componentes ΔX , ΔY e ΔZ obtidas na etapa de processamento dos dados para cada um dos vetores formados entre a base e os pontos de interesse.

Portanto as coordenadas de um ponto B são determinadas em função de um ponto A (base) com esta técnica de posicionamento, conhecendo-se as diferenças ΔX , ΔY e ΔZ do vetor AB ou da linha de base AB obtidas na fase de processamento, como é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Posicionamento relativo com o GNSS.



Fonte: Adaptado de INCRA (2013).

Devido ao fato de ser possível se reduzir alguns dos erros inerentes ao posicionamento com GNSS, como os efeitos da refração troposférica e refração ionosférica (maior fonte de erro

do GNSS), o método de posicionamento relativo é o mais recomendado para execução de trabalhos geodésicos que requerem maior precisão, como o caso da implantação de redes geodésicas (IBGE 2008).

Um fator indispensável que influi diretamente na precisão do posicionamento relativo com o GNSS se deve ao tempo de observação, a partir do qual este método de posicionamento pode ser classificado em estático e estático rápido, para o primeiro caso o tempo de rastreo simultâneo com dois ou mais receptores, ou uma sessão de observação tem duração igual ou superior a 20 minutos, no segundo caso este tempo não excede 20 minutos.

Ressalta-se, no entanto, existirem outras metodologias com a quais se pode empregar o posicionamento relativo, como com o método cinemático e semi-cinemático. A Tabela 2 apresenta a recomendação do IBGE quanto ao tempo mínimo de ocupação em duas estações para diferentes comprimentos de linhas de base e a precisão final estimada.

Tabela 2 – Estimativa de precisão para o posicionamento relativo com o GNSS.

Linha de Base	Tempo de Observação	Equipamento Utilizado	Precisão
00 - 05 Km	05 - 10 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
05 - 10 km	10 - 15 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
10 - 20 km	10 -30 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
20 - 50 km	02 - 03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50 - 100 km	Mínimo: 03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
> 100 km	Mínimo: 04 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm

Fonte: IBGE (2017).

4.2 Redes Geodésicas

Para diversos trabalhos presentes no âmbito da engenharia a aplicação de métodos de posicionamento são as vezes indispensáveis, deste modo, a realização de um referencial geodésico a partir de pontos materializados no terreno, é necessário para dar apoio a execução de levantamentos em campo segundo uma finalidade específica, como por exemplo para o cadastro de imóveis urbanos. Segundo Klein (2014), uma rede geodésica consiste em:

Um conjunto de pontos devidamente materializados no terreno, cujas coordenadas (posições) em relação a um referencial são estimadas por meio de observações terrestres como medidas de ângulos e distâncias entre os vértices, e/ou por meio de técnicas espaciais como os métodos de posicionamento por GNSS.

No Brasil o IBGE, responsável pelo estabelecimento e manutenção do SGB, fornece uma rede geodésica tridimensional que possui a RBMC como principal componente e cujos marcos são denominados como SAT-GPS. Todavia, partindo do objetivo da integração dos posicionamentos realizados no Brasil ao SGB, é imprescindível para suporte da rede geodésica a presença de estações de referência associadas ao SGB (IBGE, 2017).

4.2.1 Etapas do projeto de uma rede geodésica

As etapas essenciais para o projeto de uma rede geodésica segundo Klein (2014), com exceção dos tópicos 2 e 6, que não foram abordados pelo autor, consistem nos seguintes itens:

1 - Planejamento da rede: É a etapa inicial do projeto, na qual se adquire as informações mais relevantes para a concepção da rede geodésica, como, as normas que norteiam a execução do levantamento com GNSS conforme a finalidade específica. No Brasil o IBGE no ano de 2017 disponibilizou o documento referente às especificações e normas para levantamentos geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro que deve ser consultado nesta etapa. O reconhecimento do terreno e das estações vinculadas ao SGB próximas ao local de trabalho para o apoio geodésico, bem como o uso de imagens da região por meio de fotos aéreas, do *Google Earth*, entre outros, fazem parte também desta etapa.

2 - Implantação dos marcos geodésicos no terreno: É a etapa de materialização da rede, conforme o tipo de marco adequado para finalidade a qual a rede se destina, para fins de monitoramento de estruturas, por exemplo, os marcos geralmente são construídos com dispositivo de centragem forçada. Para orientar o projetista da rede, o documento do IBGE referente à padronização de marcos geodésicos do ano de 2008 pode ser consultado.

3 - Coleta de dados (observações em campo): Consiste na utilização de um método de posicionamento com GNSS, neste caso, o posicionamento relativo estático é o mais recomendado.

4 - Ajustamento das observações: Para estimar as coordenadas de cada marco e suas respectivas precisões.

5 - Controle de qualidade: Refere-se a etapa de detecção e identificação de possíveis erros associado ao processo do ajustamento.

6 - Divulgação dos resultados: Os resultados obtidos, ou seja, as coordenadas finais de cada vértice da rede devem ser divulgados aos principais interessados que utilizarão estes dados conforme suas necessidades. A monografia, documento que contém as informações posicionais de um marco são um meio de divulgação.

4.3 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES

Na geodésia como em outras ciências a coleta de observações ou medidas por meio de equipamentos, métodos e técnicas são imprescindíveis. Nesta perspectiva os erros relacionados a cada observação sempre se fazem presentes, segundo Gemaël et al. (2015), os erros de medida estão inevitavelmente presentes nas observações feita pelo homem, logo, se tem a incerteza como propriedade inerente das observações. Estes erros são classificados em erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros, conforme Monico (2008).

- **Erros aleatórios:** são aqueles inevitáveis no processo de medidas, acidentais ou randômicos, não estão associados a uma causa conhecida e em geral representam pequenas discrepâncias entre o valor observado e o valor esperado.
- **Erros sistemáticos:** Ao contrário dos erros aleatórios, esta classe de erro, apresenta causa conhecida, que podem ser atribuídas, por exemplo, às condições ambientais e à imperfeição do equipamento. São passíveis de serem corrigidos ou atenuados.
- **Erros grosseiros:** Atribuídos à falha humana ou eletrônica no equipamento, podem se verificar, por exemplo, nas anotações das medidas.

Estes erros impedem que as observações realizadas acerca da mesma grandeza (como por exemplo uma distância ou um ângulo) assumam um valor único, ou seja, que o valor obtido a cada observação se repita ao longo do processo de medidas, na prática ocorre o contrário, a cada uma ou mais observações feitas valores diferentes são encontrados.

Deste modo, para que dentre de um conjunto com variabilidade de medidas, seja possível estimar aquela que melhor represente o valor real da grandeza incógnita, o ajustamento de observações pelo método dos mínimos quadrados (MMQ) apresenta-se como um meio matemático de alcançar uma solução aproximada da real grandeza mensurada.

4.3.1 Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)

O MMQ concebido por Gauss e Legendre consiste num método de ajustamento no qual a inconsistência do sistema de equações formado pelos valores de observações (l_i) e da grandeza incógnita (x) (Equação 3), é “quebrado” ou solucionado com a introdução no sistema do resíduo (v_i) para cada medida (Equação 4).

(3)

$$x = l_1$$

$$x = l_2$$

$$x = l_n$$

(4)

$$x = l_1 + v_1$$

$$x = l_2 + v_2$$

$$x = l_n + v_n$$

Assim, tem-se que os resíduos (v_i) introduzidos tornam o sistema de equações possível, porém com infinitas soluções, o MMQ considera que a melhor solução de x a ser tomada é aquela que proporciona o valor mínimo para soma dos quadrados dos resíduos (Equação 5) (GEMAEL et al., 2015).

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \min \quad (5)$$

Na forma matricial pode-se escrever a última equação como a equação 6:

$$V^T V = \min \quad (6)$$

As observações podem não apresentar o mesmo nível de confiança, para equipará-las são atribuídos pesos (P) aos resíduos (GEMAEL, 2015). A equação 7 representa o caso geral, no qual a matriz P (matriz dos pesos) é adicionada:

$$V^T P V = \min \quad (7)$$

Segundo Monico (2008), métodos diferentes podem ser aplicados para o ajustamento de observações pelo MMQ, como o método paramétrico com o uso das equações de observação, condicionado com o uso das equações condicionadas ou o combinado. Quando o ajustamento

pelo MMQ é aplicado para estimar a melhor solução para uma grandeza para qual, as observações ou medidas foram feitas indiretamente, como por exemplo, no caso do ajustamento de uma rede geodésica, para o qual se obteve observações indiretas dadas pelas componentes de cada linha de base da rede, no entanto, a partir destas observações deseja-se estimar valores de coordenadas de cada estação da rede, assim, utiliza-se o método paramétrico, dado pela equação 8:

$$L_a = F(Xa) \quad (8)$$

Onde:

L_a = Vetor das observações ajustadas;

F = Função que transforma X em L ;

Xa = Vetor dos parâmetros ajustados.

Ressalta-se que o método paramétrico apenas pode ser aplicado quando o número de observações (n) é superior ao número de incógnitas ou parâmetros (u). Pode-se linearizar $F(Xa)$, a partir da aplicação da série de Taylor, no entanto, quando a mesma integra um sistema de equações linear não se faz necessário tal procedimento.

Empregando-se as equações 9 e 10 pode-se obter a solução final do ajustamento:

$$X = -(A^T P A)^{-1} (A^T P L) \quad (9)$$

$$X_a = X_0 + X \quad (10)$$

Onde:

A = Matriz das derivadas parciais (dimensão $n \times u$);

P = Matriz dos pesos ($n \times n$);

L = Vetor das observações ($n \times 1$);

X = Vetor de correções aos parâmetros ajustados;

X_a = Vetor dos parâmetros ajustados;

X_0 = Vetor dos parâmetros aproximados.

4.3.2 Ajustamento de Redes GNSS

Para o caso em que se empregou o método de posicionamento relativo com o GNSS para concepção de uma rede geodésica, obter-se-á após a etapa de processamento dos dados GNSS, as componentes ΔX , ΔY e ΔZ de cada linha de base envolvida no processamento. Estas formam o vetor L_B , vetor das observações que junto à Matriz Variância Covariância (MVC) de L_B , descrita por Σ_{Lb} e ao vetor dos parâmetros aproximados (X_0) compõem os dados de entrada necessários para o ajustamento (MATSUOKA, 2016).

Tendo-se os dados de entrada, o sistema de equações gerado a partir das observações deve ser montado, como por simples exemplo, o caso de uma rede formada por três estações A, B e C, na qual A representa a estação de referência com coordenadas conhecidas.

$$\Delta X_{AB} = X_A - X_B$$

$$\Delta Y_{AB} = Y_A - Y_B$$

$$\Delta Z_{AB} = Z_A - Z_B$$

$$\Delta X_{AC} = X_A - X_C$$

$$\Delta Y_{AC} = Y_A - Y_C$$

$$\Delta Z_{AC} = Z_A - Z_C$$

Como as observações são indiretas utiliza-se o método paramétrico para o ajustamento pelo MMQ, assim, as incógnitas envolvidas no processo, neste caso, as coordenadas de B e C são relacionadas a cada equação gerada a partir das observações (Equação 8).

Conhecendo-se as equações de observação, soluciona-se a matriz das derivadas parciais (matriz A) com dimensão $n \times u$ (n = número de observações e u = número de parâmetros incógnitos).

A construção da matriz peso pode ser feita a seguir, atribuindo diferentes pesos, quando conveniente, às observações. Enfim para se concluir o ajustamento da rede, pode-se aplicar as equações 9 e 10.

4.4 CONTROLE DE QUALIDADE DO AJUSTAMENTO

4.3.1 Teste global do ajustamento ou teste qui-quadrado (χ^2)

Antes de se apresentar este teste, faz-se necessário o conhecimento dos conceitos gerais das variâncias a priori (σ_0^2) e posteriori ($\hat{\sigma}_0^2$) da matriz Peso (P) (equação 11). Como sugere o

nome das variâncias, σ_0^2 e $\hat{\sigma}_0^2$, estas devem ser obtidas respectivamente antes e depois do processo de ajustamento, sendo que, no primeiro caso, no início do ajustamento, estes valores costumam ser arbitrados pelo ajustador (GEMAEL et al., 2015) desde que sejam maiores que zero, ou ser adotado como valor de variância a priori a própria precisão do equipamento.

$$P = \sigma_0^2 \Sigma_{Lb}^{-1} \quad (11)$$

No segundo caso, a variância posteriori, é obtida junto ao vetor dos parâmetros ajustados como resultado do processo de ajustamento. Assim $\hat{\sigma}_0^2$ pode-se ser representada como na equação 12. (GEMAEL et al., 2015).

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{n-u} \quad (12)$$

Quando se realiza o teste global do ajustamento dado pelo teste qui-quadrado, tem-se duas possíveis conclusões. A primeira corresponde a aceitação do teste, ou seja a um certo nível de significância pré-estabelecido não se verificou a detecção de erros (não aleatórios). A segunda indica a não aceitação do teste, ou seja por meio dele alguma inconsistência (erro) foi detectada. Cabe ressaltar sobre a última conclusão que o teste qui-quadrado tem potencial apenas para apontar se houve ou não problemas no ajustamento por razão da presença de erros no conjunto de observações e/ou no modelo matemático (MATSUOKA et al., 2012), de outro modo, não se sabe, caso o ajustamento tenha sido influenciado por algum erro com a aplicação deste teste, o local ou a identificação deste erro, para tanto, outros testes estatísticos podem ser aplicados para atender a esta finalidade.

O teste estatístico empregado é apresentado pela equação 13:

$$\chi_{calculado}^2 = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} (n - u) \quad (13)$$

Após o teste faz-se a comparação entre o valor obtido (calculado) e o valor teórico (tabelado), com as seguintes ponderações 1 e 2:

- (1) Se $\chi_{calculado}^2 < \chi_{n-u}^2$; aceita-se o ajustamento.
- (2) Se $\chi_{calculado}^2 > \chi_{n-u}^2$; não se aceita o ajustamento

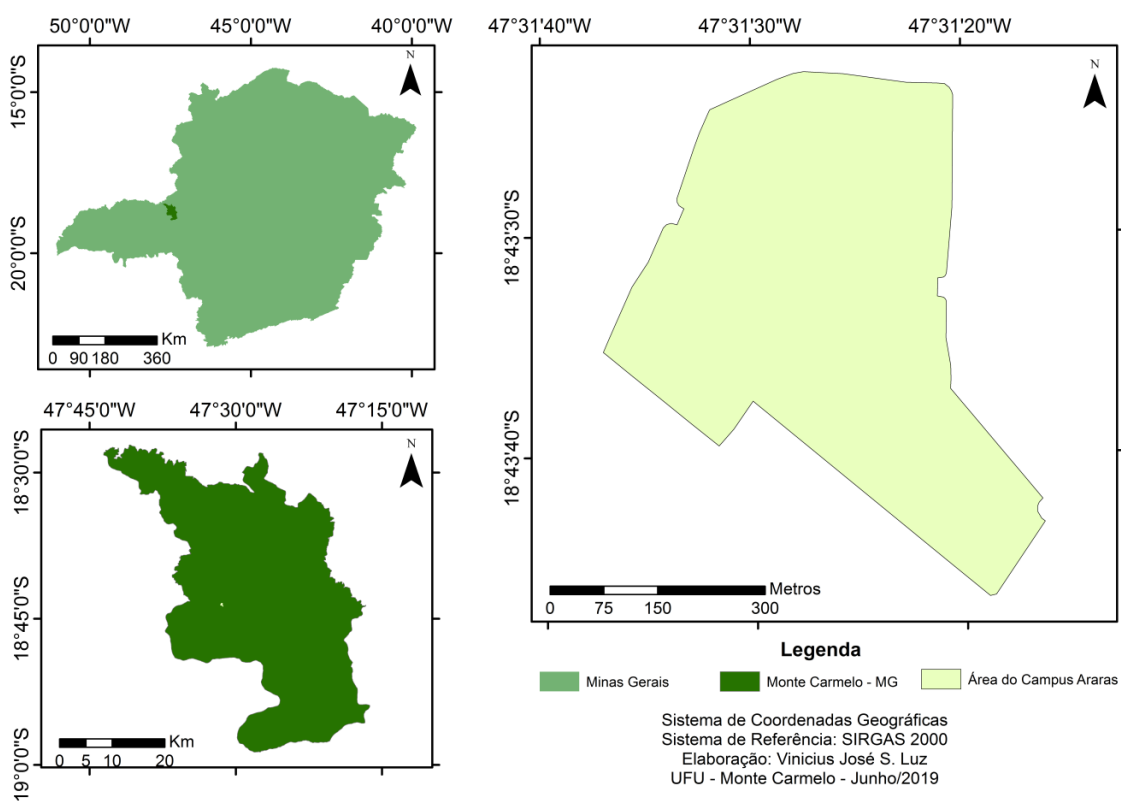
Segundo Matsuoka (2016), normalmente, considera-se um nível de significância para o teste igual à 0,05 ou seja 5%.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

O Campus Araras da UFU está localizado no município de Monte Carmelo situado na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba do estado de Minas Gerais, o campus possui uma área aproximada de 24 ha. A Figura 2 apresenta o mapa de localização do Campus Araras.

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autor (2019).

5.2 Material

Utilizou-se o seguinte material:

- 2 receptores GNSS Topcon Hiper V (Figura 3a);
- 2 receptores GNSS Promark 500 (Figura 3b);
- 2 Tripés (Figura 3a);
- 2 Bastões (Figura 3a);
- 10 Marcos de concreto com o padrão do IBGE;
- 10 Chapas metálicas para serem fixadas aos marcos;
- Software de processamento Topcon Tools;
- Programa Scilab para elaboração de gráficos.

Figura 3 – Receptor GNSS Topcon Hiper V (A) . Receptor GNSS Promark 500 (B).

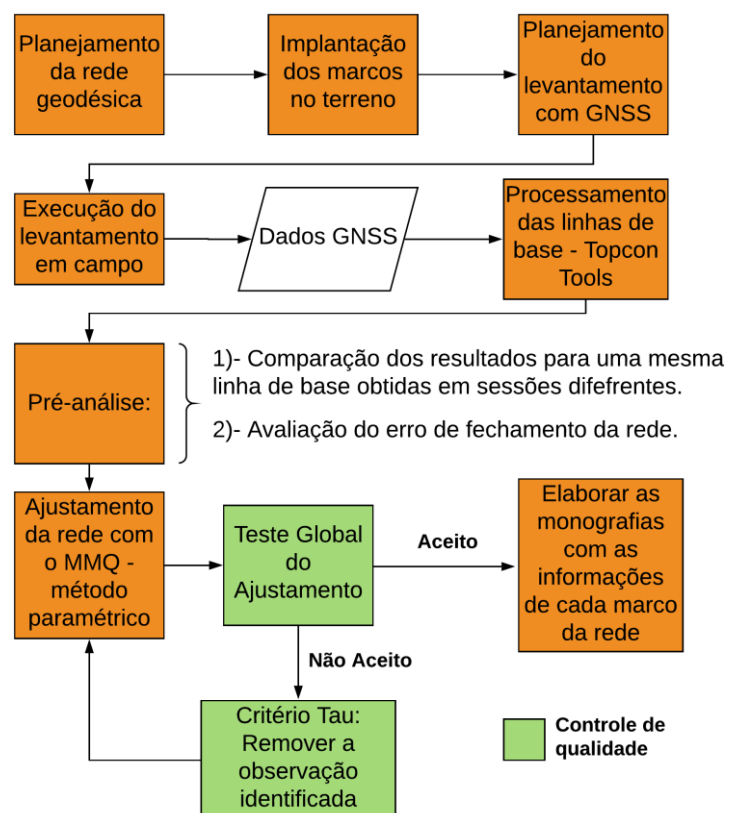


Fonte: Autor (2019).

5.3 Fluxograma

A Figura 4 apresenta o fluxograma da metodologia proposta neste trabalho.

Figura 4 – Fluxograma da metodologia proposta.



Fonte: Autor (2019).

5.4 Planejamento da Rede Geodésica do Campus Araras

Para facilitar a leitura, as vezes que a menção da rede geodésica proposta for necessária, esta será chamada de Rede Geodésica do Campus Araras (RGCA). Com o propósito de melhor organizar o planejamento da RGCA, buscou-se conhecer sobre a localização e disposição de marcos pré-existentes na área de trabalho. O Campus Araras tem atualmente duas estações geodésicas vinculadas ao SGB, a estação MGMT pertencente à RBMC, e a estação SAT 99657 com dispositivo de centragem forçada, dois marcos geodésicos denominados B1 e B2. No ano de 2018, foi implantada uma rede passiva, composta por dez estações, materializadas por meio de corpos de prova, cada qual com aproximadamente 20 cm de altura e base circular de 10 cm de diâmetro. Estes marcos têm sido utilizados com mais frequência pelos estudantes em atividades de ensino. Um exemplo do corpo de prova utilizado no *Campus* é apresentado conforme a Figura 5.

Figura 5 – Modelo dos corpos de prova implantados no Campus Araras.



Fonte: Autor (2019).

No entanto, de modo recorrente alguns destes marcos têm sido afetados quanto sua estabilidade, sobretudo, pelo trânsito de tratores nestes locais. Em alguns locais, durante a etapa de reconhecimento de campo, verificou-se que alguns corpos de prova não se encontravam nas suas respectivas posições de origem, presumindo-se que tenham sido destruídos. Em outro caso verificou-se o abalo de um destes marcos, denominado P09, como apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Área trabalhada por trator (a). Estado de abalo do corpo de prova P09 (b).



Fonte: Autor (2019).

Este cenário faz emergir métodos de proteção dos marcos, como a comunicação com a comunidade acadêmica sobre a localização dos marcos dirimindo um possível desconhecimento dos mesmos, e, também, formas de sinalizar estes locais, como a colocação de brita ao redor dos marcos, pintura e também a cravação de estacas testemunhas.

A Figura 7 apresenta a relação dos marcos pré-existentes mencionados até aqui, bem como, a localização na área de estudo dos mesmos.

Figura 7 – Localização dos marcos pré-existentes no *Campus Araras*.



Fonte: Google Earth (2019).

A etapa de planejamento da RGCA consistiu em três fases. Na primeira foi feita a aquisição de informações sobre o terreno de trabalho, na qual obteve-se a planta referente ao plano diretor do campus (Anexo A) junto à PREFE. Nesta, encontra-se o plano de expansão do campus em áreas construídas como o novo bloco 1CMC, e outros prédios e construções previstas, além da ampliação das vias de acesso existentes. Também, como citado anteriormente, apurou-se a existência de marcos geodésicos, e a localização dos mesmos no terreno, com o intuito de melhor organizar a disposição dos marcos propostos em campo. Ao todo foram doze marcos reconhecidos, dez implantados como corpos de prova e dois marcos utilizados como bases no levantamento geodésico do Campus Araras, conforme o trabalho de conclusão de curso de Mendes (2016).

Na segunda fase, alguns professores do campus, que ministram disciplinas voltadas para as áreas de Topografia e Geodésia, foram consultados e agregaram a este trabalho suas considerações quanto aos locais de implantação dos marcos. Definiu-se, por meio da planta obtida em formato digital e por imagem do *Google Earth*, os locais apropriados para receberem possivelmente um dos marcos construídos para a RGCA. Ressalta-se que os locais inviáveis para implantação dos novos marcos foram descartados em virtude de receberem futuramente, conforme o plano diretor do campus, novas construções, como mencionado anteriormente. A escolha destes locais também se baseou na preferência por áreas sobre as quais o impacto causado pelo tráfego de tratores fosse inexistente, ou seja, locais por onde não houvesse a possibilidade do tráfego de tratores, neste sentido as denominadas “ilhas” ou pequenos espaços vazios protegidos em meio à estrutura dos estacionamentos, foram incluídas no planejamento para receberem três marcos, um em cada espaço disponível deste tipo.

Ressalta-se, no entanto, que com a escassez de mais locais isentos do tráfego de tratores, a escolha das áreas para implantação dos marcos restantes, baseou-se na preferência por localidades nas quais o impacto causado pelo tráfego de tratores fosse amenizado com o auxílio de medidas de proteção aos marcos, como mencionado anteriormente, tudo isso em conformidade com locais sugeridos pelo plano diretor.

Na terceira fase do planejamento da RGCA, foi estabelecido o número de marcos que a comporia, no total de dez, a partir dos quais pôde ser definida a geometria da rede, considerando, ser possível o fechamento de figuras geométricas com vistas à etapa de pré-análise da rede e que no mínimo dois marcos estivessem visíveis a cada estação da RGCA. A Figura 8 demonstra os locais escolhidos para implantação no terreno. Ressalta-se que serão

repostos, com marcos novos, três locais onde os corpos de prova pré-existentes não foram encontrados e um local onde um dos mesmos se encontra abalado.

Figura 8 – Definição da disposição dos marcos propostos no terreno.



Fonte: Google Earth (2019).

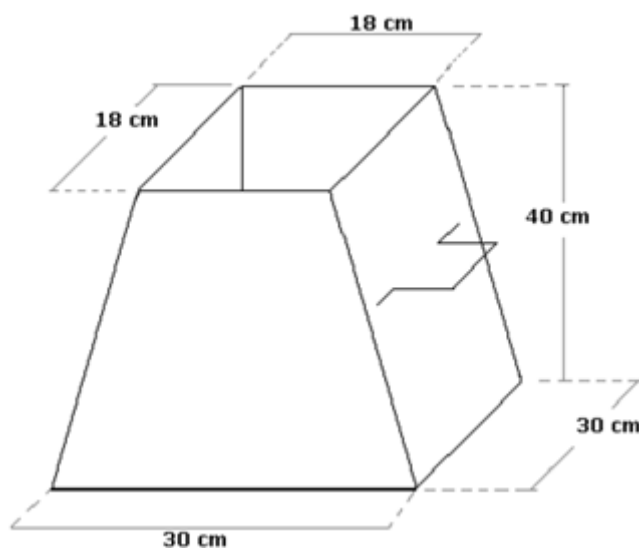
5.5 Marcos Geodésicos da RGCA

O modelo dos marcos utilizados neste trabalho obedece ao padrão estabelecido pelo IBGE, conforme o documento referente à padronização de marcos geodésicos, concebido pelo Instituto em 2008. O padrão proposto pelo IBGE recomenda quanto ao formato e dimensões dos marcos, que estes estejam de acordo com os itens a seguir, segundo IBGE (2008):

- formato de tronco de pirâmide;
- base quadrangular de 30 cm de lado;
- topo quadrangular de 18 cm de lado;
- altura 40 cm.

A Figura 9 ilustra o formato e dimensões do marco:

Figura 9 – Padrão do IBGE para a construção de marcos geodésicos.



Fonte: IBGE (2008).

Os marcos foram construídos em uma forma de madeira (Figura 10) disponibilizada pelo LTGEO (Laboratório de Topografia e Geodesia da UFU) com as devidas dimensões apresentadas.

Figura 10 – Forma de madeira feita com o padrão do IBGE utilizada na construção dos marcos.



Fonte: Autor (2019).

O traço de concreto 1x3x3 (cimento, brita e areia, respectivamente) foi adotado para construção dos marcos conforme a recomendação do IBGE (2008). A Figura 11 apresenta os dez marcos construídos, já em condições de serem implantados.

Figura 11 – Marcos construídos para materialização da RGCA.



Fonte: Autor (2019).

As chapas metálicas, que trazem o nome dos marcos foram fixadas aos mesmos por meio de cola epox específica para colar metal ao concreto, como aprasentado na Figura 12.

Figura 12 – Fixação das chapas metálicas aos marcos.



Fonte: Autor (2019).

5.6 Execução do levantamento com GNSS

Nesta etapa, para facilitar a leitura, adotou-se a letra A para representar a estação MGMT da RBMC conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Simplificação adotada para o nome da estação MGMT do IBGE.

Nomenclatura da Estação	
Real	Simplificado
MGMT	A

Fonte: Autor (2019).

A RGCA é composta por dez estações: M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 e M10. Além estação da RBMC utilizada como referência.

A Figura 13 apresenta o esboço das linhas de base planejadas. Em amarelo foram traçadas as linhas de base formadas a partir da estação A e em vermelho aquelas formadas a cada dois marcos da rede.

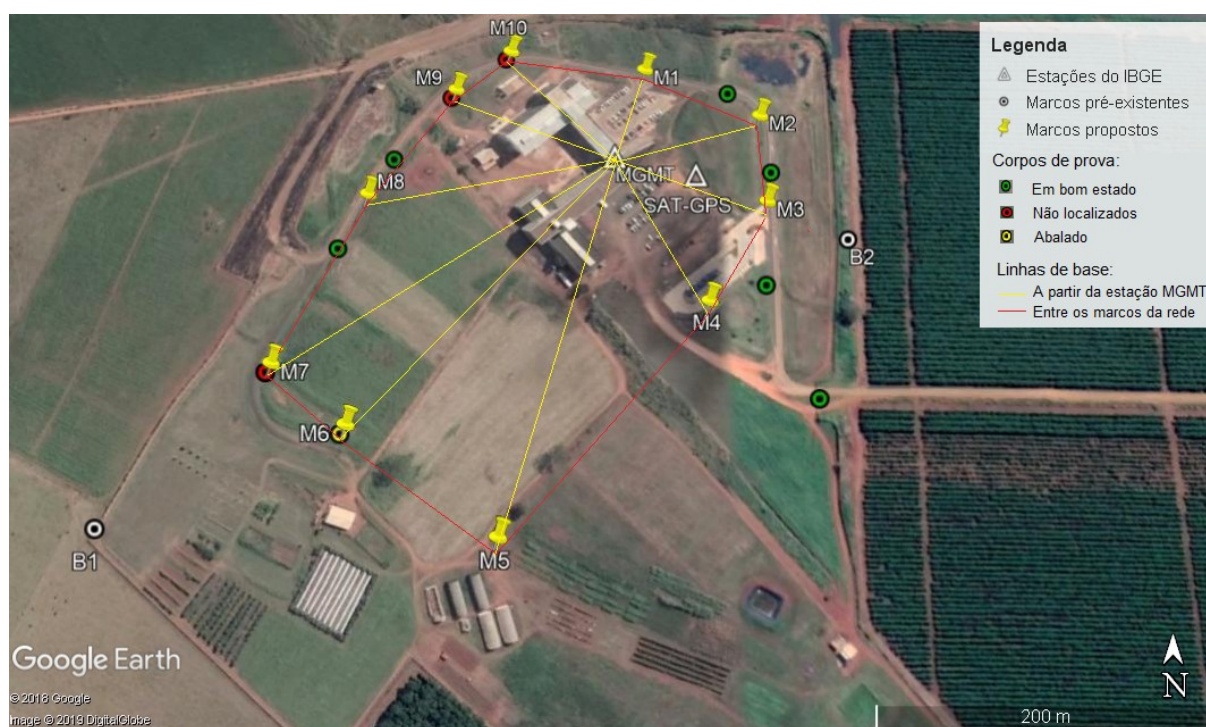
De acordo com o documento referente às especificações e normas para levantamentos geodésicos no Brasil associados ao SGB, concebido pelo IBGE em 2017, recomenda-se que para a implantação de redes geodésicas de alta precisão, deve ser observado o número mínimo de ocupação dos vértices igual a 3, ou seja, em 3 sessões diferentes. Neste sentido foi estabelecido realizar a execução do levantamento duas vezes ou em dois dias diferentes, realizando em cada qual, a ocupação com o GNSS por 30 minutos a cada dois os marcos da rede (sessões de rastreio), até ser concluído, a partir das linhas de base formadas, o fechamento da rede (ver linhas vermelhas da Figura 13), contudo, devido à condição de não funcionamento dos receptores GNSS Promark 500 no segundo período de trabalho realizado no primeiro dia, foi necessário o acréscimo de mais um dia de campo, no entanto, para facilitar o entendimento da metodologia do levantamento com GNSS, será considerado dois dias de campo, de modo em que cada qual têm-se realizado o fechamento completo da rede (o Quadro 5 mais adiante explicará melhor este propósito).

As configurações de ambos receptores em campo foram as seguintes:

- Taxa de coleta de 15 segundos;
- Máscara de elevação de 10°;
- Duração de cada sessão de rastreio igual a 30 minutos.

Ressalta-se ter sido considerada diferentes alturas da antena na reocupação das estações em sessões diferentes, bem como a troca de receptores neste caso, visando possibilitar a identificação de possíveis erros de centragem e de medida da altura da antena. Contudo, cada marco foi ocupado quatro vezes, duas vezes no primeiro dia de levantamento e duas vezes no segundo e terceiro dias. A Tabela 2, apresentada na seção 4.1.3, serviu como base para definição do tempo de ocupação, igual a 30 min, em cada sessão de rastreamento.

Figura 13 – Esboço da rede planejada.



Fonte: Google Earth (2019).

Os Quadros 3 e 4 apresentam as estações ocupadas e as linhas de base formadas a partir de cada sessão de observação. Salienta-se que as linhas de base independentes indicadas a cada sessão foram escolhidas dentre as três linhas de base possíveis formadas e foram tomadas nas etapas de processamento e ajustamento da rede. O rastreamento com GNSS em campo foi realizado nos dias 11, 14 e 17 de outubro de 2019. Conforme o quadro 5, nestes dias realizou-se diferentes sessões de rastreamento (ver quadro 3 e 4).

Quadro 3 – Execução do levantamento geodésico em campo realizado com dois receptores Promark 500 – 1º dia.

Sessão	Estações Ocupadas	Tempo de Rastreio	Linhas de Base Formadas	Linhas de Base Independentes
1	M1 e M2	30 min	A-M1, A-M2 e M1-M2	A-M1 e M1-M2
2	M2 e M3	30 min	A-M2, A-M3 e M2-M3	A-M2 e M2-M3
3	M3 e M4	30 min	A-M3, A-M4 e M3-M4	A-M3 e M3-M4
4	M4 e M5	30 min	A-M4, A-M5 e M4-M5	A-M4 e M4-M5
5	M5 e M6	30 min	A-M5, A-M6 e M5-M6	A-M5 e M5-M6
6	M6 e M7	30 min	A-M6, A-M7 e M6-M7	A-M6 e M6-M7
7	M7 e M8	30 min	A-M7, A-M8 e M7-M8	A-M7 e M7-M8
8	M8 e M9	30 min	A-M8, A-M9 e M8-M9	A-M8 e M8-M9
9	M9 e M10	30 min	A-M9, A-M10 e M9-M10	A-M9 e M9-M10
10	M10 e M1	30 min	A-M10, A-M1 e M10-M1	A-M10 e M10-M1

Fonte: Autor (2019).

Quadro 4 – Execução do levantamento geodésico em campo realizado com dois receptores Topcon Hiper V – 2º dia.

Sessão	Estações Ocupadas	Tempo de Rastreio	Linhas de Base Formadas	Linhas de Base Independentes
11	M1 e M2	30 min	A-M1, A-M2 e M1-M2	A-M1 e M1-M2
12	M2 e M3	30 min	A-M2, A-M3 e M2-M3	A-M2 e M2-M3
13	M3 e M4	30 min	A-M3, A-M4 e M3-M4	A-M3 e M3-M4
14	M4 e M5	30 min	A-M4, A-M5 e M4-M5	A-M4 e M4-M5
15	M5 e M6	30 min	A-M5, A-M6 e M5-M6	A-M5 e M5-M6
16	M6 e M7	30 min	A-M6, A-M7 e M6-M7	A-M6 e M6-M7
17	M7 e M8	30 min	A-M7, A-M8 e M7-M8	A-M7 e M7-M8
18	M8 e M9	30 min	A-M8, A-M9 e M8-M9	A-M8 e M8-M9
19	M9 e M10	30 min	A-M9, A-M10 e M9-M10	A-M9 e M9-M10
20	M10 e M1	30 min	A-M10, A-M1 e M10-M1	A-M10 e M10-M1

Fonte: Autor (2019).

Quadro 5 – Dias do levantamento com GNSS.

Dia	Sessões de Rastreio Realizadas	Equipamento
11/10	1 a 5	Promark 500
14/10	11 a 20	Hiper V
17/10	6 a 10	Promark 500

Fonte: Autor (2019).

5.7 Etapa de pré-análise da rede concebida

A etapa de pré-análise consistiu nas seguintes avaliações:

- Avaliação do erro de fechamento da figura geométrica compreendida pelos marcos da RGCA. Calculou-se este erro conhecendo-se a resultante das somas de cada componente ΔX , ΔY e ΔZ das linhas de base que compõem a figura geométrica fechada na rede.
- Comparação dos resultados para uma mesma linha de base obtidos em duas sessões de observações diferentes.

5.8 Processamento dos dados

O processamento dos dados foi realizado no software Topcon Tools. Utilizou-se dados GNSS da estação MGMT da RBMC referentes aos dias 11/10/2019, 14/10/2019 e 17/10/2019, dias nos quais se realizou o rastreio com GNSS em campo. As coordenadas desta estação foram injuncionadas como ponto de controle da rede (Tabela 3).

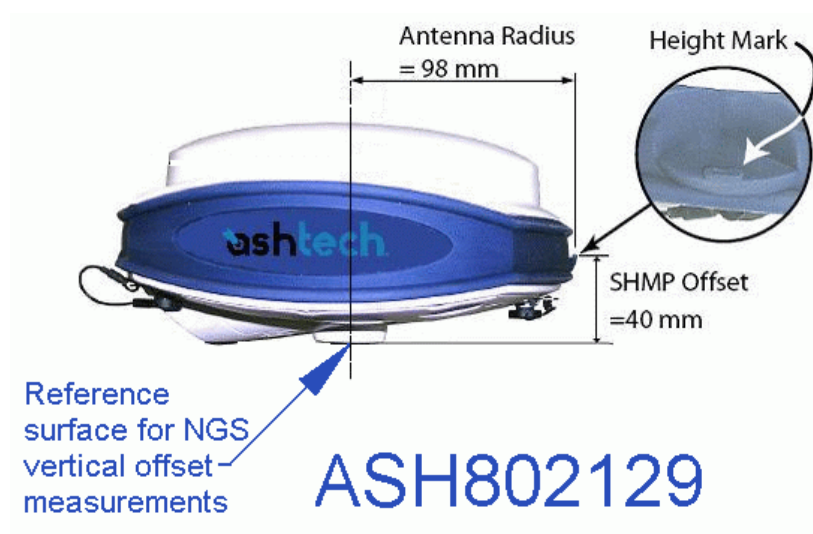
Tabela 3 – Coordenadas UTM do ponto de controle.

Estação	N (m)	σ (m)	E (m)	σ (m)	h (m)	σ (m)
MGMT	7927817,000	± 0,001	233867,337	± 0,001	912,469	± 0,003

Fonte: Autor (2019).

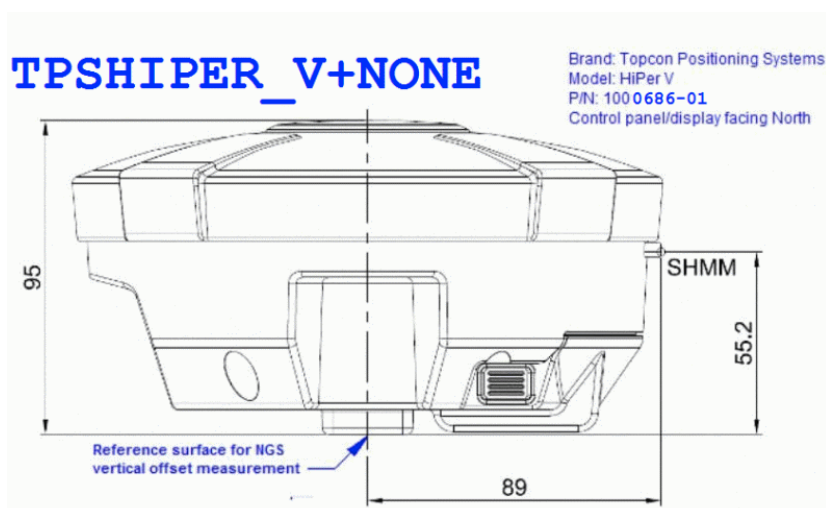
Uma etapa importante a ser considerada no processamento dos dados GNSS visando obter precisão centimétrica é a informação do modelo da antena do fabricante. Quando o mesmo diverge entre o próprio do equipamento e o informado no software de processamento pode ocasionar a introdução de um erro grosseiro de ordem centimétrica/decimétrica no resultado do processamento. Os modelos das antenas Promark 500 e Hiper V foram verificadas na página do NGS e são apresentadas a seguir nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 – Modelo de Antena Promark 500.



Fonte: NGS (2019).

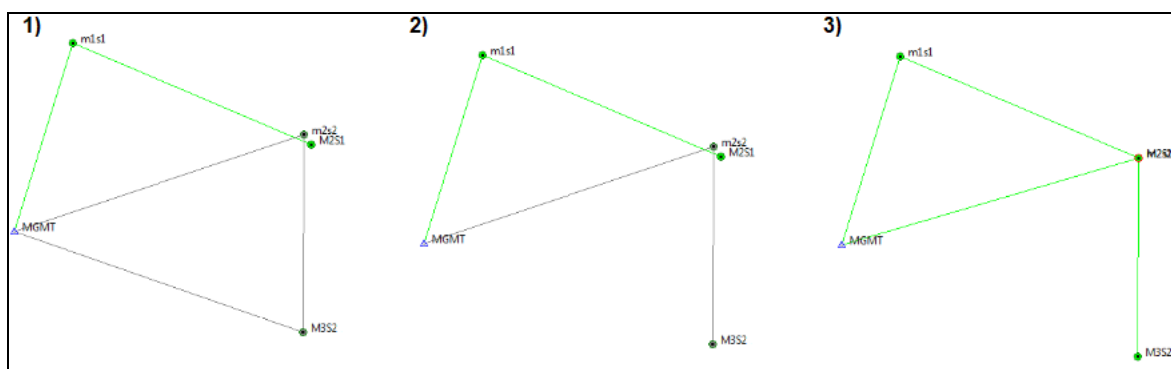
Figura 15 – Modelo de Antena Hiper V.



Fonte: NGS (2019).

Considerando que a cada sessão de observação sempre se esteve ocupado três estações, ou seja, dois marcos com receptores GNSS, além da estação MGMT da RBMC, fez-se o processamento dos dados de cada sessão por vez, considerando somente as linhas de base independentes escolhidas conforme os quadros 3 e 4, apresentados na seção 5.6. Para tanto, foram removidas as linhas de base dependentes. A Figura 16 ilustra tal procedimento.

Figura 16 – Presença de todas as linhas de base entre três vértices (1). Remoção da linha de base dependente (2). Processamento das linhas de base independentes (3).



Fonte: Autor (2019).

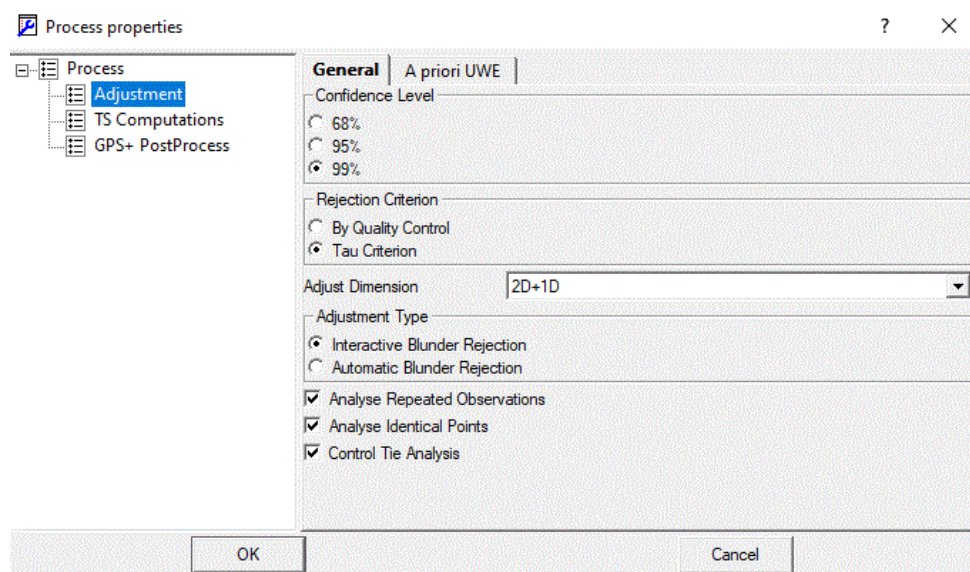
Ao final deste procedimento, com todas as linhas de base dependentes removidas, foram processadas ao todo 41 linhas de base independentes.

5.9 Ajustamento das Observações

Nesta etapa é importante apresentar duas estratégias de ajustamento utilizadas, a primeira a ser apresentada foi descartada, por ter sido rejeitada pelo Teste Global do Ajustamento a certo ponto de não haver mais redundância suficiente para aplicação do teste estatístico de identificação de prováveis erros nas observações, no entanto, a partir da falta de êxito neste primeiro caso, a segunda estratégia foi concebida. É importante evidenciar que alguns resultados apresentados aqui referentes à primeira estratégia estão presentes pelo fato de contribuírem para a construção da metodologia para o ajustamento das observações que consistiu na segunda estratégia adotada.

Ambas estratégias adotaram as seguintes configurações que se encontram na Figura 17, destaca-se que o ajustamento foi realizado na dimensão 2D+1D, ou seja, separadamente para as observações das componentes DE e DN (2D) e as observações da componente Dh (1D), para que se tornasse possível avaliar os resultados para cada componente.

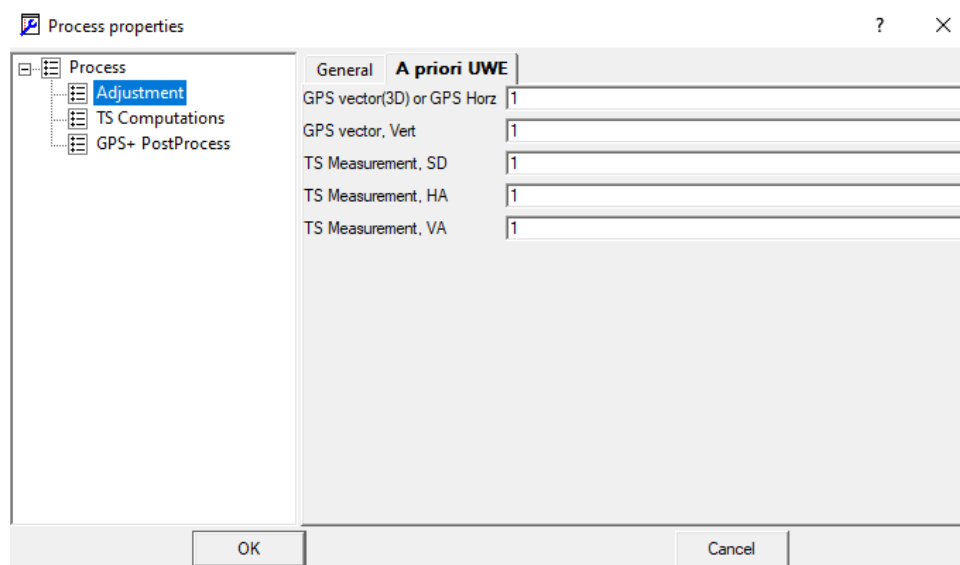
Figura 17 – Configuração geral do ajustamento no software Topcon Tools.



Fonte: Autor (2019).

Na primeira estratégia adotou-se 1 como valor da variância a priori (σ_0^2), tanto para dimensão horizontal como vertical (Figura 18).

Figura 18 – Definição de σ_0^2 na primeira estratégia de ajustamento.

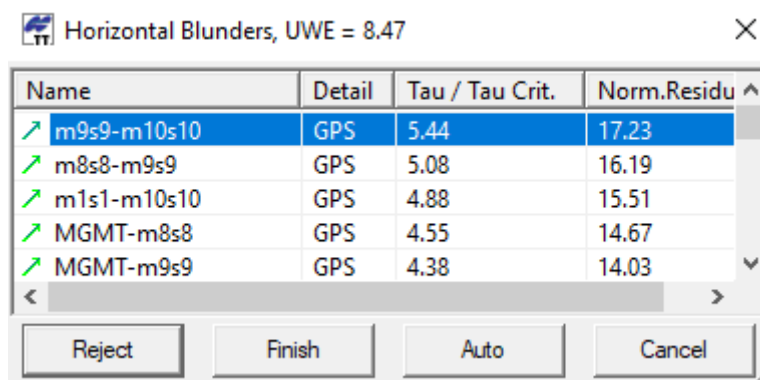


Fonte: Autor (2019).

Após procedido o ajustamento, o resultado conseguido com a primeira estratégia foi de um fator de variância a posteriori ($\hat{\sigma}_0^2$) igual a 8,47, ou seja, este valor traduz que a precisão das observações horizontais alcançadas após o ajustamento está em torno de oito vezes menor do que antes do ajustamento. Por exemplo, se antes do ajustamento uma observação tinha precisão igual a 1 mm após este procedimento a mesma observação passou a ter precisão igual a 8,47 mm. Pelo critério Tau são

identificadas quais observações têm mais probabilidade de estarem contaminadas por um erro grosseiro. No entanto, como apresentado nas Figuras 19 e 20, o software de processamento permite rejeitar ou remover este tipo de observação, uma por uma, até que nenhuma reste, e deste modo, refazer o ajustamento.

Figura 19 – $\hat{\sigma}_0^2$ (UWE) obtido para dimensão horizontal e observações identificadas com critério o Tau.



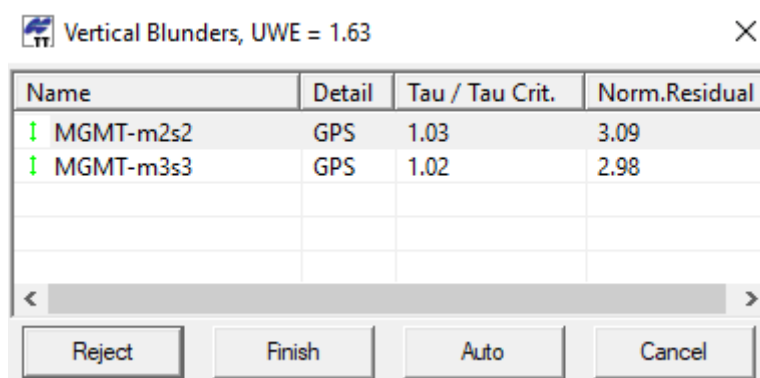
Horizontal Blunders, UWE = 8.47

Name	Detail	Tau / Tau Crit.	Norm.Residu
m9s9-m10s10	GPS	5.44	17.23
m8s8-m9s9	GPS	5.08	16.19
m1s1-m10s10	GPS	4.88	15.51
MGMT-m8s8	GPS	4.55	14.67
MGMT-m9s9	GPS	4.38	14.03

Buttons: Reject, Finish, Auto, Cancel

Fonte: Autor (2019).

Figura 20 – $\hat{\sigma}_0^2$ (UWE) obtido para dimensão vertical e observações identificadas com o critério Tau.



Vertical Blunders, UWE = 1.63

Name	Detail	Tau / Tau Crit.	Norm.Residual
MGMT-m2s2	GPS	1.03	3.09
MGMT-m3s3	GPS	1.02	2.98

Buttons: Reject, Finish, Auto, Cancel

Fonte: Autor (2019).

Rejeitada todas as observações prováveis de conter algum erro grosseiro, teve-se o seguinte quadro de informações (Figura 21), no qual pode-se observar um melhor aproveitamento de observações para a dimensão vertical (foram utilizadas no ajustamento 38 observações de um total de 41), em contrapartida na dimensão horizontal aproveitou-se menos observações no ajustamento, apenas 13.

Figura 21 – Quadro de informações sobre o ajustamento com a primeira estratégia.

 Adjustment Result

Control Tie Analysis: skipped

[Subnetwork m1s1, m2s2, m3s3, ...](#) (Horizontal Minimal Constraint + Vertical Minimal Constraint)

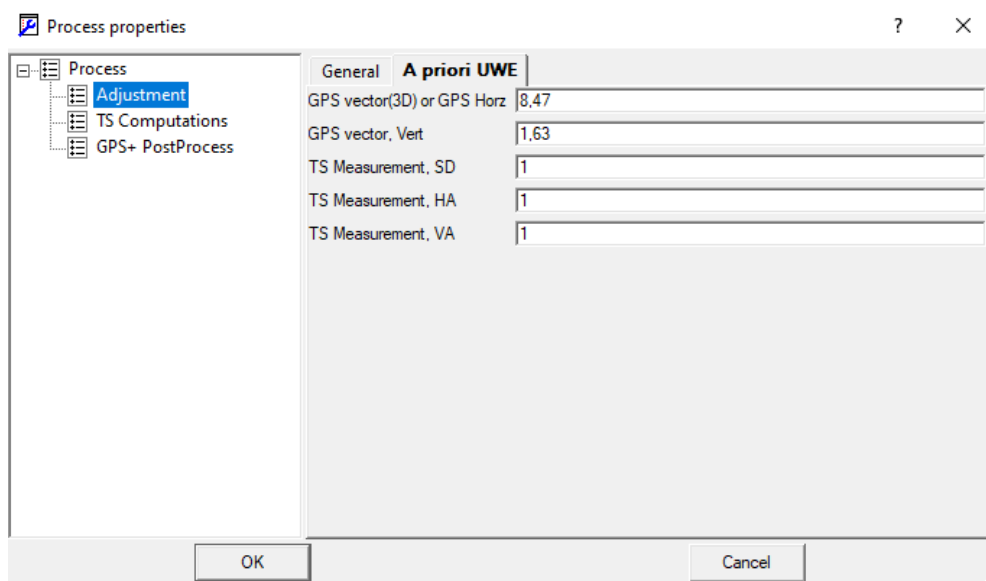
Type	Adjusted Points	Fixed Points	Weighted Points	Equations (Used/Rejected)	UWE	UWE Bounds
				GPS		
Horz	11	0	1	41 / 28	0.79	[0.34, 1.76]
Vert	11	0	1	41 / 3	1.24	[0.67, 1.35]

Fonte: Autor (2019).

Diante deste cenário promovido com o uso desta primeira estratégia, buscou-se primeiramente aferir se de fato algum erro grosseiro, principalmente de informação da altura de antena no software, estaria influenciando o resultado do ajustamento. Não encontrado e descartada esta possibilidade, a hipótese das precisões das observações estarem superestimadas foi levantada, e pode ser consultada a seguir na seção 6.1.

Uma solução encontrada para o ajustamento baseou-se em adotar uma segunda estratégia, na qual utilizou-se como fator de variância a priori para as dimensões horizontal e vertical, respectivamente os valores 8,47 e 1,63 obtidos como resultado da primeira estratégia. A Figura 22 apresenta este procedimento.

Figura 22 – Definição de σ_0^2 na segunda estratégia de ajustamento.

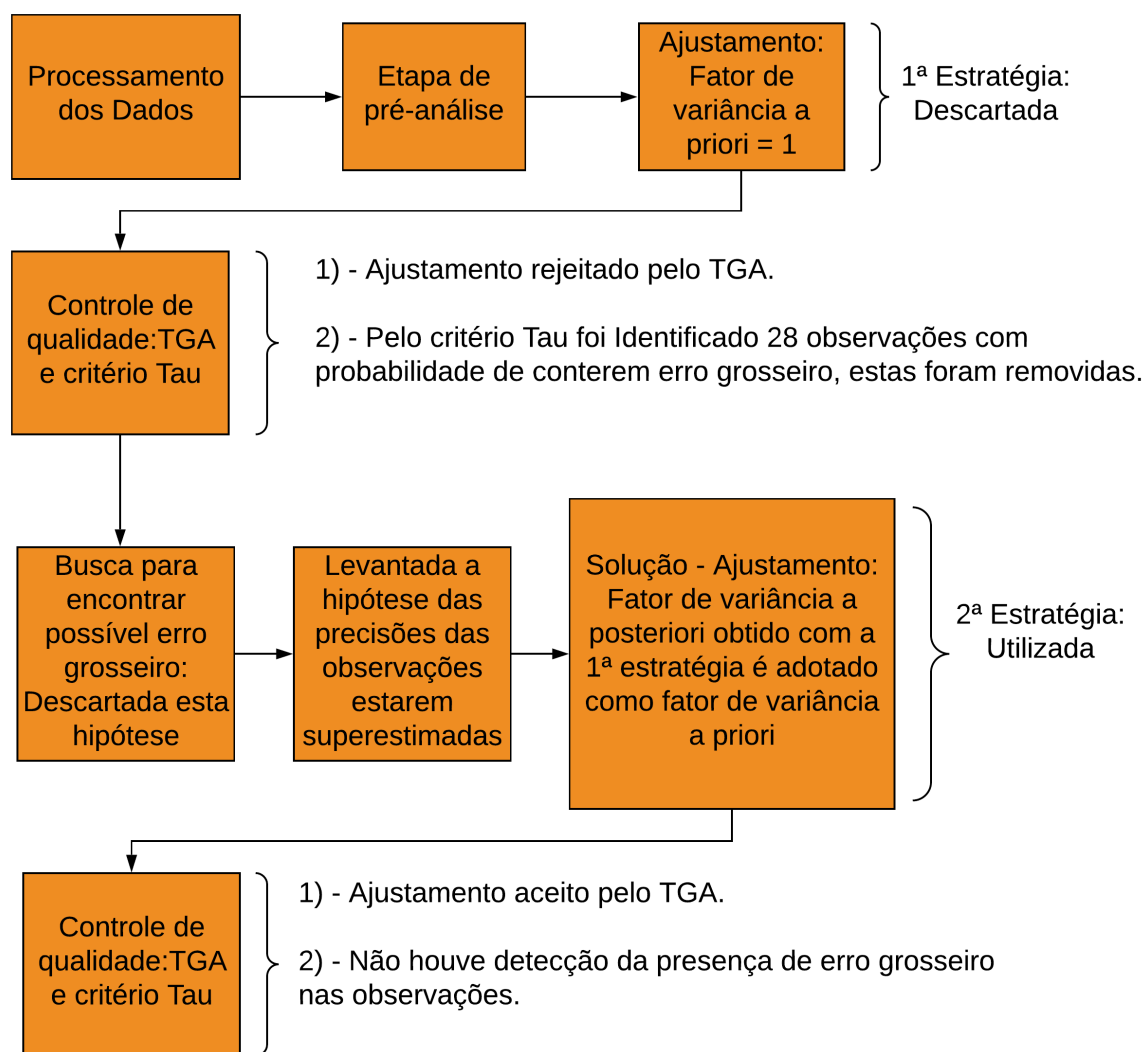


Fonte: Autor (2019).

Como estes valores de σ_0^2 adotados, indicam de fato, a realidade das precisões inerentes as observações, utilizá-las aqui proporciona que as precisões tidas como “superestimadas” sejam ponderadas na matriz peso das observações.

Para explicar melhor esta última seção da metodologia é apresentado um fluxograma na Figura 23 que ilustra os passos percorridos aqui, com este fluxograma também se introduz a seção dos resultados.

Figura 23 – Fluxograma do processamento.



Fonte: Autor (2019).

6 RESULTADOS

6.1 Processamento dos dados

Todas as linhas de base processadas apresentaram solução fixa com a portadora L1, para resultados de algumas linhas de base o software de processamento utilizou efemérides transmitidas em outros casos utilizou-se efemérides precisas. A Tabela 4 apresenta o resultado do processamento das linhas de base.

Tabela 4 – Resultado do processamento.

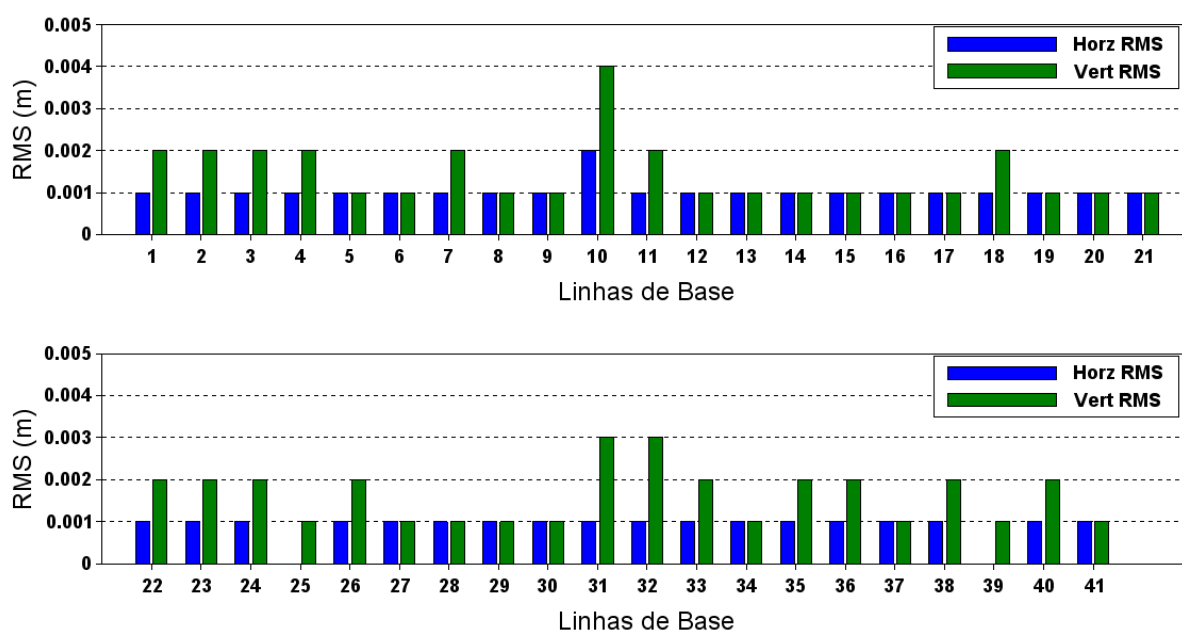
Obs	Sessão	Linha Base	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
1	S1	MGMT-M1	69,043	22,39	-17,773	0,001	0,002
2	S10	MGMT-M1	69,037	22,385	-17,779	0,001	0,002
3	S11	MGMT-M1	69,048	22,379	-17,782	0,001	0,002
4	S2	MGMT-M2	30,415	109,707	-16,495	0,001	0,002
5	S12	MGMT-M2	30,406	109,696	-16,507	0,001	0,001
6	S13	MGMT-M3	-42,63	108,463	-16,658	0,001	0,001
7	S3	MGMT-M3	-42,613	108,471	-16,643	0,001	0,002
8	S4	MGMT-M4	-110,104	62,468	-17,607	0,001	0,001
9	S14	MGMT-M4	-110,113	62,45	-17,618	0,001	0,001
10	S5	MGMT-M5	-270,985	-82,511	-22,668	0,002	0,004
11	S15	MGMT-M5	-270,996	-82,493	-22,678	0,001	0,002
12	S16	MGMT-M6	-199,378	-176,174	-21,871	0,001	0,001
13	S6	MGMT-M6	-199,37	-176,182	-21,868	0,001	0,001
14	S17	MGMT-M7	-157,675	-228,559	-21,514	0,001	0,001
15	S7	MGMT-M7	-157,679	-228,58	-21,511	0,001	0,001
16	S18	MGMT-M8	-36,201	-171,811	-19,851	0,001	0,001
17	S8	MGMT-M8	-36,177	-171,833	-19,841	0,001	0,001
18	S9	MGMT-M9	53,659	-119,899	-19,061	0,001	0,002
19	S19	MGMT-M9	53,635	-119,88	-19,067	0,001	0,001
20	S10	MGMT-M10	82,2	-78,39	-18,711	0,001	0,001
21	S20	MGMT-M10	82,174	-78,405	-18,714	0,001	0,001
22	S11	M1-M2	-38,636	87,332	1,276	0,001	0,002
23	S1	M1-M2	-38,631	87,324	1,272	0,001	0,002
24	S10	M1-M10	13,163	-100,775	-0,931	0,001	0,002
25	S20	M1-M10	13,144	-100,793	-0,932	0	0,001
26	S2	M2-M3	-73,043	-1,232	-0,151	0,001	0,002
27	S12	M2-M3	-73,03	-1,218	-0,149	0,001	0,001
28	S13	M3-M4	-67,483	-45,998	-0,964	0,001	0,001
29	S3	M3-M4	-67,5	-46,007	-0,966	0,001	0,001
30	S4	M4-M5	-160,882	-144,973	-5,059	0,001	0,001
31	S14	M4-M5	-160,883	-144,957	-5,055	0,001	0,003
32	S5	M5-M6	71,601	-93,668	0,798	0,001	0,003

Obs	Sessão	Linha Base	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
33	S15	M5–M6	71,606	-93,68	0,801	0,001	0,002
34	S16	M6–M7	41,696	-52,386	0,357	0,001	0,001
35	S6	M6–M7	41,688	-52,38	0,355	0,001	0,002
36	S7	M7–M8	121,49	56,762	1,655	0,001	0,002
37	S17	M7–M8	121,482	56,749	1,658	0,001	0,001
38	S8	M8–M9	89,813	51,939	0,779	0,001	0,002
39	S18	M8–M9	89,838	51,923	0,785	0	0,001
40	S9	M9–M10	28,523	41,504	0,348	0,001	0,002
41	S19	M9–M10	28,542	41,491	0,352	0,001	0,001

Fonte: Autor (2019).

A Figura 24 apresenta o comportamento das incertezas inerentes às componentes planimétrica e altimétrica de cada linha de base. Pode-se verificar que para a componente horizontal, com exceção da linha de base 10, os resultados foram iguais a 1 mm, e, em dois casos, iguais a 0. Para a componente vertical não houve mais resultados do que para três linhas de base que excedesse o valor de 2 mm. Contudo, estes bons resultados podem indicar um certo otimismo do software de processamento ao superestimar estes valores. Ressalta-se aqui a razão por terem sido adotadas as configurações para o ajustamento mencionadas na seção 5.9.

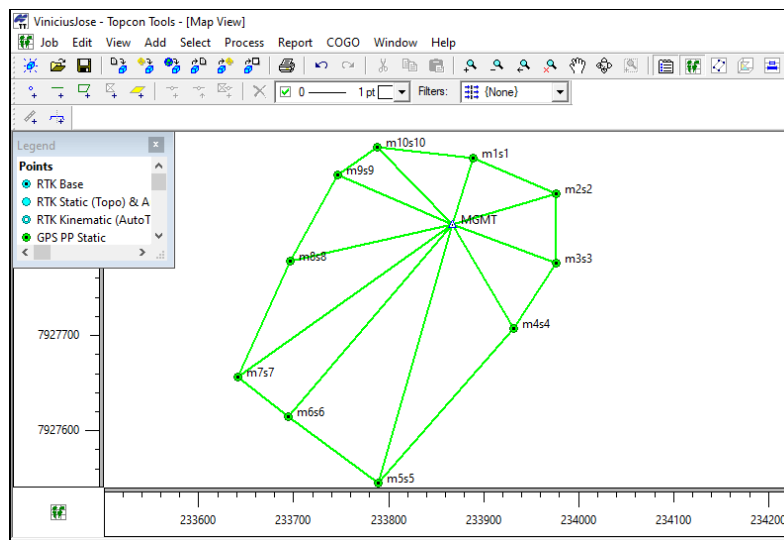
Figura 24 – Comportamento das incertezas inerentes a cada observação representadas pelo RMS nas componentes horizontal e vertical.



Fonte: Autor (2019).

O esboço da rede formada é apresentado na Figura 25.

Figura 25 – Esboço da rede concebida após o processamento dos dados.



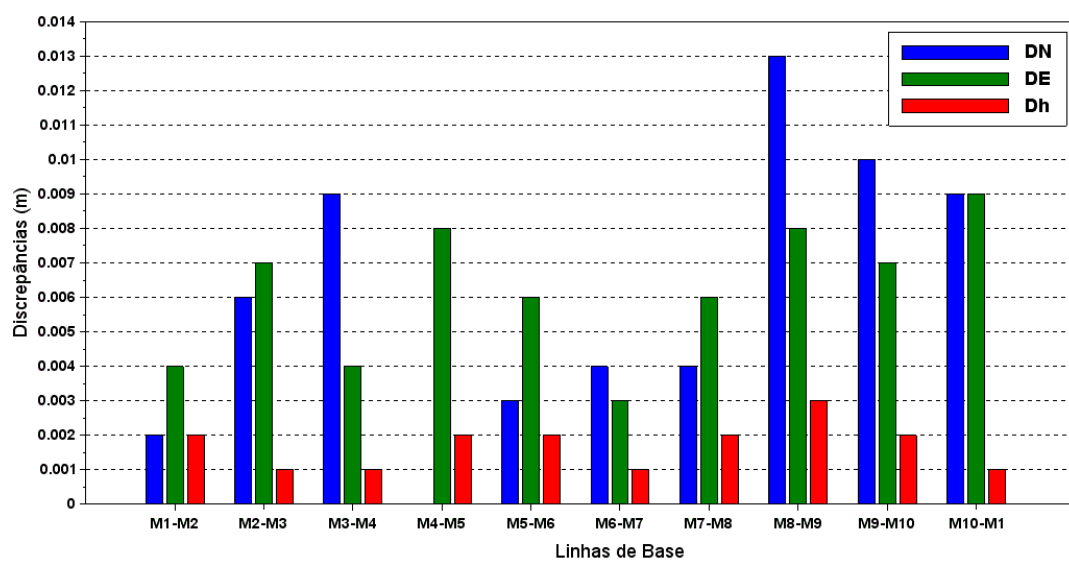
Fonte: Autor (2019).

6.2 Pré-Análise

1) – Comparação de resultados para uma mesma linha de base obtidos em sessões diferentes

Os vetores resultantes de algumas linhas de base independentes repetidas em sessões diferentes foram comparados. As discrepâncias em relação as componentes DN, DE e Dh destas linhas de base são apresentadas conforme a Figura 26.

Figura 26 – Diferença entre dois resultados para uma mesma linha de base.



Fonte: Autor (2019).

Ressalta-se, neste caso, que os dois resultados comparados de uma mesma linha de base, foram obtidos por distintos equipamentos, ou seja, uma linha de base foi obtida a partir dos receptores Promark 500 e repetida com os receptores Hiper V. Na componente Dh teve-se menor discrepância entre as linhas de base avaliadas enquanto para DN e DE esta discrepância foi maior.

2) – Avaliação do erro de fechamento

O erro de fechamento avaliado se deu a partir da figura geométrica formada pelas linhas de base compreendidas entre os marcos da rede, M1-M2, M2-M3, M3-M4, M4-M5, M5-M6, M6-M7, M7-M8, M8-M9, M10-M1. São apresentados, nas Figuras 27 e 28, os resultados do erro de fechamento respectivamente obtidos com os dados GNSS do Promark 500 e Hiper V.

Figura 27 – Erro de fechamento obtido com dados do receptor Promark 500.

Loop Closures							
Loop	dHz (m)	dU (m)	Horz Tolerance (m)	Vert Tolerance (m)	dHz (ppm)	dU (ppm)	Length (m)
m1s1-m2s2(11/10/2019 07:49:15) m1s1-m10s10(17/10/2019 10:12:00) m9s9-m10s10(17/10/2019 09:34:30) m8s8-m9s9(17/10/2019 08:58:15) m7s7-m8s8(17/10/2019 08:20:45) m6s6-m7s7(17/10/2019 07:43:15) m5s5-m6s6(11/10/2019 10:26:45) m4s4-m5s5(11/10/2019 09:45:30) m3s3-m4s4(11/10/2019 09:07:30) m2s2-m3s3(11/10/2019 08:30:45)	0,1103	0,0289	0,0352	0,0652	105,94	27,75	1041,5698

Fonte: Autor (2019).

Figura 28 – Erro de fechamento obtido com dados do receptor Hiper V..

Loop Closures							
Loop	dHz (m)	dU (m)	Horz Tolerance (m)	Vert Tolerance (m)	dHz (ppm)	dU (ppm)	Length (m)
m1s1-m2s2(14/10/2019 13:18:15) m1s1-m10s10(14/10/2019 10:34:20) m9s9-m10s10(14/10/2019 09:56:30) m8s8-m9s9(14/10/2019 09:16:35) m7s7-m8s8(14/10/2019 08:36:10) m6s6-m7s7(14/10/2019 07:53:30) m5s5-m6s6(14/10/2019 16:09:30) m4s4-m5s5(14/10/2019 15:25:45) m3s3-m4s4(14/10/2019 14:39:00) m2s2-m3s3(14/10/2019 13:58:00)	0,0438	0,0017	0,0352	0,0652	42,04	1,61	1041,5768

Fonte: Autor (2019).

Embora os resultados tenham sido melhores para a componente vetical (dU) nas duas figuras, não se esperava um erro de ordem centimétrica para a componente horizontal (dHz), como se foi obtido. Contudo, nenhuma observação foi retirada nesta etapa, ou seja, todas foram consideradas para a etapa do ajustamento.

6.3 Ajustamento das Observações

O ajustamento foi aceito pelo Teste Global a um nível de significância igual a 0,01, ou seja, em nenhuma das observações (ΔX , ΔY , ΔZ) de cada uma das 41 linhas de base ajustadas se detectou uma provável presença de erro grosseiro (Figura 29). As coordenadas ajustadas dos dez marcos da rede são apresentadas nas Tabelas 5 e 6.

Figura 29 – Quadro de informações obtido após o ajustamento.

 Adjustment Result

Control Tie Analysis: skipped

[Subnetwork m1s1, m2s2, m3s3, ...](#) (Horizontal Minimal Constraint + Vertical Minimal Constraint)

Type	Adjusted Points	Fixed Points	Weighted Points	Equations (Used/Rejected)	UWE	UWE Bounds
				GPS		
Horz	11	0	1	41	1.00	[0.77,1.23]
Vert	11	0	1	41	1.00	[0.68,1.33]

Fonte: Autor (2019).

Tabela 5 – Coordenadas Geográficas da RGCA – Sistema de Referência SIRGAS 2000.

Marco	Latitude	$\pm \sigma$ (m)	Longitude	$\pm \sigma$ (m)	h (m)	$\pm \sigma$ (m)
M01	18°43'24,52757"S	0,004	47°31'24,89812"W	0,004	894,691	0,003
M02	18°43'25,78378"S	0,005	47°31'21,91787"W	0,005	895,968	0,004
M03	18°43'28,15873"S	0,005	47°31'21,95993"W	0,005	895,819	0,004
M04	18°43'30,35336"S	0,005	47°31'23,53013"W	0,005	894,856	0,004
M05	18°43'35,58496"S	0,005	47°31'28,47787"W	0,005	889,802	0,004
M06	18°43'33,25619"S	0,005	47°31'31,67512"W	0,005	890,605	0,004
M07	18°43'31,90020"S	0,005	47°31'33,46313"W	0,005	890,963	0,004
M08	18°43'27,94944"S	0,005	47°31'31,52623"W	0,005	892,623	0,004
M09	18°43'25,02815"S	0,004	47°31'29,75391"W	0,005	893,407	0,004
M10	18°43'24,10006"S	0,004	47°31'28,33773"W	0,004	893,759	0,004

Fonte: Autor (2019).

Tabela 6 – Coordenadas no Sistema de Projeção UTM – Fuso 23 – MC 45°W.

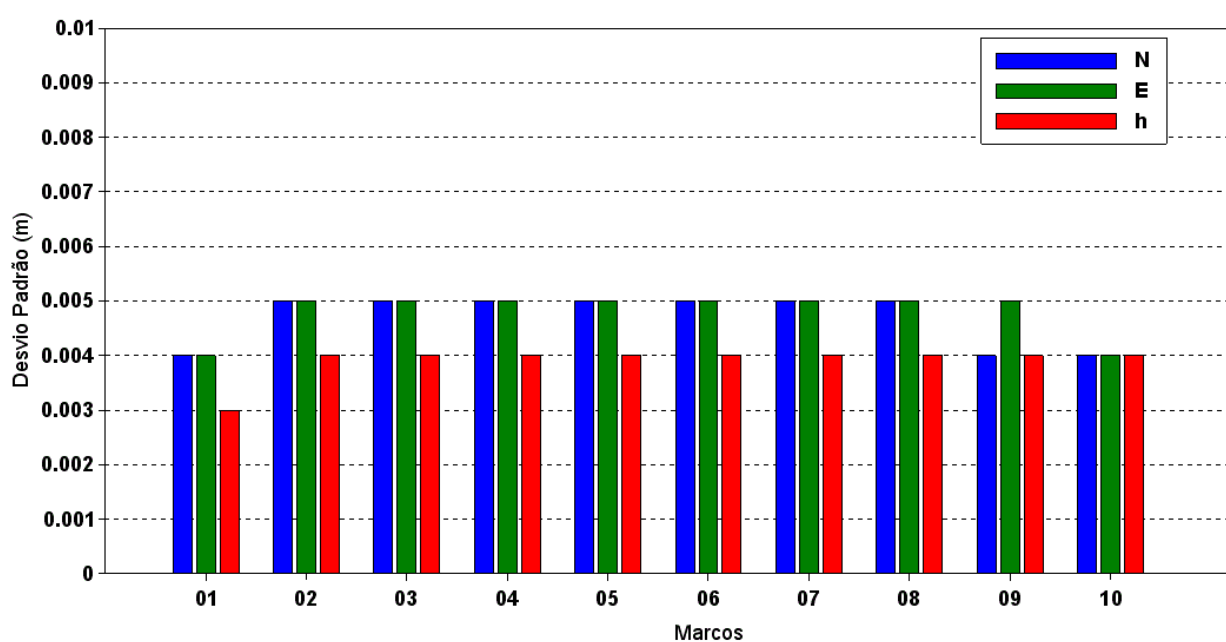
Marco	N (m)	$\pm \sigma$ (m)	E (m)	$\pm \sigma$ (m)	h (m)	$\pm \sigma$ (m)
M01	7927886,374	0,004	233888,748	0,004	894,691	0,003
M02	7927848,970	0,005	233976,636	0,005	895,968	0,004
M03	7927775,903	0,005	233976,436	0,005	895,819	0,004
M04	7927707,749	0,005	233931,374	0,005	894,856	0,004
M05	7927544,781	0,005	233788,651	0,005	889,802	0,004
M06	7927615,084	0,005	233693,937	0,005	890,605	0,004
M07	7927656,050	0,005	233640,946	0,005	890,963	0,004

Marco	N (m)	$\pm \sigma$ (m)	E (m)	$\pm \sigma$ (m)	h (m)	$\pm \sigma$ (m)
M08	7927778,373	0,005	233695,989	0,005	892,623	0,004
M09	7927868,963	0,004	233746,658	0,005	893,407	0,004
M10	7927898,097	0,004	233787,758	0,004	893,759	0,004

Fonte: Autor (2019).

Pode-se verificar que as precisões das coordenadas E, N e h de cada um dos dez marcos da rede não ultrapassaram 5 mm após o ajustamento, como apresentado na Figura 30.

Figura 30 – Precisão das coordenadas E, N e h.



Fonte: Autor (2019).

6.4 Medidas de proteção aos marcos da RGCA

A fim de se deixar os locais de cada marco mais visíveis e, portanto, menos suscetíveis à eventuais danos devido ao trânsito de tratores, utilizou-se bandeiras e brita (Figura 31). Deste modo, também, torna-se mais fácil para a comunidade acadêmica encontrar os marcos em campo.

Figura 31 – Bandeiras utilizadas e colocação de brita ao redor do marco.



Fonte: Autor (2019).

7 Conclusão

Alcançou-se êxito na implantação da RGCA, as coordenadas ajustadas E, N e h de todos os marcos da rede têm precisão igual ou melhor que 5 mm. Todos objetivos almejados foram cumpridos. Com a sinalização dos marcos, estes, ficam menos vulneráveis ao trânsito de tratores no campus, além disso, a rede geodésica implantada na unidade Araras contribuirá para o desenvolvimento de diversas atividades intrínsecas ao meio acadêmico que requerem o uso de marcos geodésicos com coordenadas conhecidas, principalmente as aulas práticas de diferentes disciplinas e cursos, e finalmente, as monografias elaboradas com as informações de cada marco da rede, ficam acessíveis e auxiliarão a comunidade acadêmica de um modo geral. Conforme o plano diretor que prevê a expansão do Campus, a RGCA fica disponível para contribuir com as futuras obras de engenharia a serem realizadas para o desenvolvimento da UFU – Monte Carmelo.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14.166: Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.

CHEUERUBIM, M. L.; GOMES, P.; PIRES, A.; SILVA, L. **Análise da Qualidade Geométrica da Rede GNSS Local da UFU – Campus Santa Mônica**. Revista Tempo – Técnica – Território, Ed. V.4, N.1, 2013.

FAZAN, J. A. **Aplicação do Teste de Congruência Global e Análise Geométrica para Detecção de Deslocamentos em Redes Geodésicas: Estudo de Caso na UHE de Itaipu**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

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

IBGE. **Resolução – PR nº 22, de 21/07/1983**. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

_____. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS**, 2008.

_____. **Padronização de marcos geodésicos**. Diretoria de Geociências (DGC) e Coordenação de Geodésia (CGED). Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

_____. **Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos Associados ao Sistema Geodésico Brasileiro**, 2017.

Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). **Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais**. 2ª Ed. Fev, 2013.

KLEIN, I. **Proposta de um Novo Método para o Planejamento de Redes Geodésicas**. Dissertação de Doutorado em Sensoriamento Remoto. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da UFRGS, Porto Alegre, 2014.

MARINI, M. C. **Integração da Rede GPS ITESP ao Sistema Geodésico Brasileiro**. Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas. Faculdade de Ciência e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, 2002.

MATSUOKA, M. T. **Ajustamento de Observações**. Notas de Aula do Curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) – Campus Monte Carmelo, 2016.

MATSUOKA, M. T; Klein, I ; SOUZA, S. F ; COLLISCHONN, C. **Planejamento de Redes Geodésicas Resistentes a Múltiplos Outliers**. Boletim de Ciências Geodésicas, v 18, nº1, Curitiba, 2012.

MENDES, T. R. **Levantamento Geodésico do Campus Monte Carmelo da Universidade Federal de Uberlândia**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2016.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: UNESP, 2008.

PINTO, J. R. M. **Potencialidade do Uso do GPS em Obras de Engenharia**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, 2000.

Monografias dos Marcos Geodésicos



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Geografia
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica



Monografia de Estação Geodésica

<i>Estação:</i> M01	<i>Nome da Estação:</i> M01	<i>Tipo:</i> GNSS
<i>Município:</i> Monte Carmelo	<i>UF:</i> MG	<i>Última Visita:</i> 17/10/2019
<i>Conexões:</i>	<i>Estado de Conservação do marco:</i> Bom	

PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA	GRAVIMETRIA
<i>Latitude:</i>	18° 43' 24,52757" S	<i>Altitude Ortométrica (m):</i>	<i>Gravidade (mGal):</i>
<i>Longitude:</i>	47° 31' 24,89812" W	<i>Sigma Altitude (m):</i>	<i>Sigma gravidade:</i>
<i>Altitude Geométrica (m):</i>	894,691	<i>Datum:</i>	<i>Datum:</i>
<i>Sigma Latitude (m):</i>	0,004	<i>Data de medição:</i>	<i>Data de medição:</i>
<i>Sigma Longitude (m):</i>	0,004	<i>Data do processamento:</i>	<i>Data do processamento:</i>
<i>Sigma Altitude Geométrica (m):</i>	0,003		
<i>UTM (N):</i>	7927886,374		
<i>UTM (E):</i>	233888,748		
<i>MC:</i>	-45		
<i>Sistema de Referência:</i> SIRGAS2000			
<i>Data de medição:</i>	17/10/2019		
<i>Data do processamento:</i>	21/11/2019		

Método de medição: Posicionamento relativo estático

Observações:

Descrição da localização: Próximo à entrada do estacionamento junto ao Bloco B.

Foto detalhe:



Panorama:





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Geografia
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica



Monografia de Estação Geodésica

<i>Estação:</i> M02	<i>Nome da Estação:</i> M02	<i>Tipo:</i> GNSS
<i>Município:</i> Monte Carmelo	<i>UF:</i> MG	<i>Última Visita:</i> 17/10/2019
<i>Conexões:</i>	<i>Estado de Conservação do marco:</i> Bom	

PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA	GRAVIMETRIA
<i>Latitude:</i>	18° 43' 25,78378" S	<i>Altitude Ortométrica (m):</i>	<i>Gravidade (mGal):</i>
<i>Longitude:</i>	47° 31' 21,91787" W	<i>Sigma Altitude (m):</i>	<i>Sigma gravidade:</i>
<i>Altitude Geométrica (m):</i>	895,968	<i>Datum:</i>	<i>Datum:</i>
<i>Sigma Latitude (m):</i>	0,005	<i>Data de medição:</i>	<i>Data de medição:</i>
<i>Sigma Longitude (m):</i>	0,005	<i>Data do processamento:</i>	<i>Data do processamento:</i>
<i>Sigma Altitude Geométrica (m):</i>	0,004		
<i>UTM (N):</i>	7927848,970		
<i>UTM (E):</i>	233976,636		
<i>MC:</i>	-45		
<i>Sistema de Referência:</i> SIRGAS2000			
<i>Data de medição:</i>	17/10/2019		
<i>Data do processamento:</i>	21/11/2019		

Método de medição: Posicionamento relativo estático

Observações:

Descrição da localização: Localizado à margem da via de circulação do Campus.

Foto detalhe:



Panorama:





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Geografia
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica



Monografia de Estação Geodésica

<i>Estação:</i> M03	<i>Nome da Estação:</i> M03	<i>Tipo:</i> GNSS
<i>Município:</i> Monte Carmelo	<i>UF:</i> MG	<i>Última Visita:</i> 17/10/2019
<i>Conexões:</i>	<i>Estado de Conservação do marco:</i> Bom	

PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA	GRAVIMETRIA
<i>Latitude:</i>	18°43'28,15873"S	<i>Altitude Ortométrica (m):</i>	<i>Gravidade (mGal):</i>
<i>Longitude:</i>	47°31'21,95993"W	<i>Sigma Altitude (m):</i>	<i>Sigma gravidade:</i>
<i>Altitude Geométrica (m):</i>	895,819	<i>Datum:</i>	<i>Datum:</i>
<i>Sigma Latitude (m):</i>	0,005	<i>Data de medição:</i>	<i>Data de medição:</i>
<i>Sigma Longitude (m):</i>	0,005	<i>Data do processamento:</i>	<i>Data do processamento:</i>
<i>Sigma Altitude Geométrica (m):</i>	0,004		
<i>UTM (N):</i>	7927775,903		
<i>UTM (E):</i>	233976,436		
<i>MC:</i>	-45		
<i>Sistema de Referência:</i> SIRGAS2000			
<i>Data de medição:</i>	17/10/2017		
<i>Data do processamento:</i>	21/11/2019		

Método de medição: Posicionamento relativo estático

Observações:

Descrição da localização: Localizado no interior do novo estacionamento defronte ao Bloco A.

Foto detalhe:



Panorama:





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Geografia
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica



Monografia de Estação Geodésica

<i>Estação:</i> M04	<i>Nome da Estação:</i> M04	<i>Tipo:</i> GNSS
<i>Município:</i> Monte Carmelo	<i>UF:</i> MG	<i>Última Visita:</i> 17/10/2019
<i>Conexões:</i>	<i>Estado de Conservação do marco:</i> Bom	

PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA	GRAVIMETRIA
<i>Latitude:</i>	18°43'30,35336"S	<i>Altitude Ortométrica (m):</i>	<i>Gravidade (mGal):</i>
<i>Longitude:</i>	47°31'23,53013"W	<i>Sigma Altitude (m):</i>	<i>Sigma gravidade:</i>
<i>Altitude Geométrica (m):</i>	894,856	<i>Datum:</i>	<i>Datum:</i>
<i>Sigma Latitude (m):</i>	0,005	<i>Data de medição:</i>	<i>Data de medição:</i>
<i>Sigma Longitude (m):</i>	0,005	<i>Data do processamento:</i>	<i>Data do processamento:</i>
<i>Sigma Altitude Geométrica (m):</i>	0,004		
<i>UTM (N):</i>	7927707,749		
<i>UTM (E):</i>	233931,374		
<i>MC:</i>	-45		
<i>Sistema de Referência:</i> SIRGAS2000			
<i>Data de medição:</i>	17/10/2019		
<i>Data do processamento:</i>	21/11/2019		

Método de medição: Posicionamento relativo estático

Observações:

Descrição da localização: Localizado próximo às vagas com cobertura do novo estacionamento defronte ao Bloco A

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: M05

Nome da Estação: M05

Tipo: GNSS

Município: Monte Carmelo

UF: MG

Última Visita: 17/10/2019

Conexões:

Estado de Conservação do marco: Bom

PLANIALTIMETRIA

Latitude: 18°43'35,58496"S
Longitude: 47°31'28,47787"W
Altitude Geométrica (m): 889,802
Sigma Latitude (m): 0,005
Sigma Longitude (m): 0,005
Sigma Altitude Geométrica (m): 0,004
UTM (N): 7927544,781
UTM (E): 233788,651
MC: -45
Sistema de Referência: SIRGAS2000
Data de medição: 17/10/2019
Data do processamento: 21/11/2019

ALTIMETRIA

Altitude Ortométrica (m):
Sigma Altitude (m):
Datum:
Data de medição:
Data do processamento:

GRAVIMETRIA

Gravidade (mGal):
Sigma gravidade:
Datum:
Data de medição:
Data do processamento:

Método de medição: Posicionamento relativo estático

Observações:

Descrição da localização: Localizado próximo às estufas do Campus

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: M06	Nome da Estação: M06	Tipo: GNSS
Município: Monte Carmelo	UF: MG	Última Visita: 17/10/2019
Conexões:	Estado de Conservação do marco: Bom	

PLANIALTIMETRIA

Latitude: 18°43'33,25619"S
Longitude: 47°31'31,67512"W
Altitude Geométrica (m): 890,605
Sigma Latitude (m): 0,005
Sigma Longitude (m): 0,005
Sigma Altitude Geométrica (m): 0,004
UTM (N): 7927615,084
UTM (E): 233693,937
MC: -45
Sistema de Referência: SIRGAS2000
Data de medição: 17/10/2019
Data do processamento: 21/11/2019

ALTIMETRIA

Altitude Ortométrica (m):
Sigma Altitude (m):
Datum:
Data de medição:
Data do processamento:

GRAVIMETRIA

Gravidade (mGal):
Sigma gravidade:
Datum:
Data de medição:
Data do processamento:

Método de medição: Posicionamento relativo estático

Observações:

Descrição da localização: Localizado após o final da via de circulação em direção às estufas

Foto detalhe:



Panorama:





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Geografia
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica



Monografia de Estação Geodésica

<i>Estação:</i> M07	<i>Nome da Estação:</i> M07	<i>Tipo:</i> GNSS
<i>Município:</i> Monte Carmelo	<i>UF:</i> MG	<i>Última Visita:</i> 17/10/2019
<i>Conexões:</i>	<i>Estado de Conservação do marco:</i> Bom	

PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA	GRAVIMETRIA
<i>Latitude:</i>	18°43'31,90020"S	<i>Altitude Ortométrica (m):</i>	<i>Gravidade (mGal):</i>
<i>Longitude:</i>	47°31'33,46313"W	<i>Sigma Altitude (m):</i>	<i>Sigma gravidade:</i>
<i>Altitude Geométrica (m):</i>	890,963	<i>Datum:</i>	<i>Datum:</i>
<i>Sigma Latitude (m):</i>	0,005	<i>Data de medição:</i>	<i>Data de medição:</i>
<i>Sigma Longitude (m):</i>	0,005	<i>Data do processamento:</i>	<i>Data do processamento:</i>
<i>Sigma Altitude Geométrica (m):</i>	0,004		
<i>UTM (N):</i>	7927656,050		
<i>UTM (E):</i>	233640,946		
<i>MC:</i>	-45		
<i>Sistema de Referência:</i> SIRGAS2000			
<i>Data de medição:</i>	17/10/2019		
<i>Data do processamento:</i>	21/11/2019		

Método de medição: Posicionamento relativo estático

Observações:

Descrição da localização: Localizado à margem da via de circulação do Campus

Foto detalhe:



Panorama:





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Geografia
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica



Monografia de Estação Geodésica

<i>Estação:</i> M08	<i>Nome da Estação:</i> M08	<i>Tipo:</i> GNSS
<i>Município:</i> Monte Carmelo	<i>UF:</i> MG	<i>Última Visita:</i> 17/10/2019
<i>Conexões:</i>	<i>Estado de Conservação do marco:</i> Bom	

PLANIALTIMETRIA

Latitude: 18°43'27,94944"S
Longitude: 47°31'31,52623"W
Altitude Geométrica (m): 892,623
Sigma Latitude (m): 0,005
Sigma Longitude (m): 0,005
Sigma Altitude Geométrica (m): 0,004
UTM (N): 7927778,373
UTM (E): 233695,989
MC: -45
Sistema de Referência: SIRGAS2000
Data de medição: 17/10/2019
Data do processamento: 21/11/2019

ALTIMETRIA

Altitude Ortométrica (m):
Sigma Altitude (m):
Datum:
Data de medição:
Data do processamento:

GRAVIMETRIA

Gravidade (mGal):
Sigma gravidade:
Datum:
Data de medição:
Data do processamento:

Método de medição: Posicionamento estático

Observações:

Descrição da localização: Localizado à margem da via de circulação do Campus próximo ao portão de entrada

Foto detalhe:



Panorama:





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Geografia
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica



Monografia de Estação Geodésica

<i>Estação:</i> M09	<i>Nome da Estação:</i> M09	<i>Tipo:</i> GNSS
<i>Município:</i> Monte Carmelo	<i>UF:</i> MG	<i>Última Visita:</i> 17/10/2019
<i>Conexões:</i>	<i>Estado de Conservação do marco:</i> Bom	

PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA	GRAVIMETRIA
<i>Latitude:</i>	18°43'25,02815"S	<i>Altitude Ortométrica (m):</i>	<i>Gravidade (mGal):</i>
<i>Longitude:</i>	47°31'29,75391"W	<i>Sigma Altitude (m):</i>	<i>Sigma gravidade:</i>
<i>Altitude Geométrica (m):</i>	893,407	<i>Datum:</i>	<i>Datum:</i>
<i>Sigma Latitude (m):</i>	0,004	<i>Data de medição:</i>	<i>Data de medição:</i>
<i>Sigma Longitude (m):</i>	0,005	<i>Data do processamento:</i>	<i>Data do processamento:</i>
<i>Sigma Altitude Geométrica (m):</i>	0,004		
<i>UTM (N):</i>	7927868,963		
<i>UTM (E):</i>	233746,658		
<i>MC:</i>	-45		
<i>Sistema de Referência:</i> SIRGAS2000			
<i>Data de medição:</i>	17/10/2019		
<i>Data do processamento:</i>	21/11/2019		

Método de medição: Posicionamento relativo estático

Observações:

Descrição da localização: Localizado à margem da via de circulação do Campus atrás do Bloco B

Foto detalhe:



Panorama:





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Geografia
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica



Monografia de Estação Geodésica

<i>Estação:</i> M10	<i>Nome da Estação:</i> M10	<i>Tipo:</i> GNSS
<i>Município:</i> Monte Carmelo	<i>UF:</i> MG	<i>Última Visita:</i> 17/10/2019
<i>Conexões:</i>	<i>Estado de Conservação do marco:</i> Bom	

PLANIALTIMETRIA		ALTIMETRIA	GRAVIMETRIA
<i>Latitude:</i>	18°43'24,10006"S	<i>Altitude Ortométrica (m):</i>	<i>Gravidade (mGal):</i>
<i>Longitude:</i>	47°31'28,33773"W	<i>Sigma Altitude (m):</i>	<i>Sigma gravidade:</i>
<i>Altitude Geométrica (m):</i>	893,759	<i>Datum:</i>	<i>Datum:</i>
<i>Sigma Latitude (m):</i>	0,004	<i>Data de medição:</i>	<i>Data de medição:</i>
<i>Sigma Longitude (m):</i>	0,004	<i>Data do processamento:</i>	<i>Data do processamento:</i>
<i>Sigma Altitude Geométrica (m):</i>	0,004		
<i>UTM (N):</i>	7927898,097		
<i>UTM (E):</i>	233787,758		
<i>MC:</i>	-45		
<i>Sistema de Referência:</i> SIRGAS2000			
<i>Data de medição:</i>	17/10/2019		
<i>Data do processamento:</i>	21/11/2019		

Método de medição: Posicionamento relativo estático

Observações:

Descrição da localização: Localizado atrás da subestação de energia elétrica do Campus

Foto detalhe:



Panorama:

