

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, GEOCIÊNCIAS E SAÚDE COLETIVA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E
CARTOGRÁFICA

LUIZ FELIPE RODRIGUES DE ALMEIDA

IMPLANTAÇÃO DA REDE DE REFERÊNCIA CADASTRAL MUNICIPAL PARA
MONTE CARMELO - MG

Monte Carmelo

2025

LUIZ FELIPE RODRIGUES DE ALMEIDA

IMPLANTAÇÃO DA REDE DE REFERÊNCIA CADASTRAL MUNICIPAL PARA
MONTE CARMELO - MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia de Agrimensura e
Cartográfica

Área de concentração: Topografia e Geodésia

Orientador: Vinicius Francisco Rofatto

Coorientador: Marcelo Tomio Matsuoka

Monte Carmelo

2025

LUIZ FELIPE RODRIGUES DE ALMEIDA

IMPLANTAÇÃO DA REDE DE REFERÊNCIA CADASTRAL MUNICIPAL PARA
MONTE CARMELO - MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia de Agrimensura e
Cartográfica

Área de concentração: Topografia e Geodésia

Monte Carmelo, 16 de dezembro de 2025.

Banca Examinadora:

Vinicius Francisco Rofatto – Orientador (UFU)

Jhonatta Willyan Miato Assunção – Membro convidado (UFU)

Jaqueline Vicente Matsuoka – Membro convidado (UFU)

Dedico este trabalho aos meus pais e a minha
namorada pelo estímulo, carinho e
compreensão.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível graças à contribuição de diversas pessoas que fizeram parte da minha trajetória nos últimos meses. Expresso minha sincera gratidão a todos que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste estudo. Agradeço especialmente aos técnicos do Laboratório de Topografia e Geodésia (LTGEO), sem exceção, pelo apoio e dedicação durante todas as etapas do trabalho, e à Prefeitura Municipal de Monte Carmelo, pelo auxílio fundamental na implantação dos Marcos Geodésicos.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a realização deste trabalho. Agradeço, em especial, àqueles que auxiliaram diretamente no levantamento das informações em campo, incluindo os alunos de graduação Heslen Barros, Pedro Alves, Samir Rezende, Gabriel Trindade e Ismael Souza, aos técnicos do (LTGEO) - Sérgio, Jhonatta Miato e Valdney e aos professores Vinicius Francisco Rofatto, Jaqueline Vicente Matsuoka e Marcelo Tomio Matsuoka. Sem o empenho e a colaboração dessa equipe, não seria possível viabilizar um trabalho de campo tão qualificado, que garantiu precisão, adequação às normas e proporcionou aos alunos de graduação uma rica experiência prática em um projeto de grande porte.

Agradeço também a todos que estiveram ao meu lado ao longo desses anos de graduação, compartilhando momentos, vivências e aprendizados. Em especial, aos meus amigos Kayky Monteiro, Pedro Bernardo, Heslen Barros e Ismael Souza pela amizade e companheirismo constantes.

Estendo meu agradecimento à minha namorada e aos meus pais, pelo apoio incondicional, pelas palavras de incentivo e por sempre estar ao meu lado nos momentos em que mais precisei.

Por fim, registro minha profunda gratidão ao meu orientador Vinicius Francisco Rofatto, que me acompanha desde o início da graduação, da primeira iniciação científica, ainda no segundo período, até a publicação de artigos e a conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso, que simboliza o encerramento de uma importante etapa da minha trajetória acadêmica.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

Este trabalho apresenta a implantação da Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM) de Monte Carmelo (MG), uma infraestrutura geodésica destinada a vincular informações espaciais a um referencial único e bem definido. As redes geodésicas são amplamente aplicadas em monitoramento de deformações em estruturas o que permite verificar deslocamentos milimétricos em barragens, pontos e edificações, também são utilizadas no cadastro técnico rural e urbano, fornecendo suporte para a gestão territorial e o planejamento urbano. A implantação seguiu as diretrizes das normas NBR 14.166/2022 e NBR 13.133/2021. A rede é composta por 9 vértices superiores (S), cujas coordenadas foram ajustadas a partir de dois marcos do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), a Estação Ativa MGMT e o vértice SAT-99658, e por 11 vértices principais (P), ajustados a partir de S-007 e SAT-99658. Na etapa de controle de qualidade, a linha de base conhecida entre MGMT e SAT-99658 apresentou diferença tridimensional média de aproximadamente 18 mm, valor compatível com a tolerância normativa de 20 mm. O maior polígono formado pelos vértices superiores, com extensão aproximada de 16 km, apresentou erro tridimensional de cerca de 18 mm, equivalente a 1 ppm. Esse valor está dentro dos limites estabelecidos pela norma, estimados em cerca de 26 mm. No ajustamento, aplicou-se inicialmente a injunção absoluta, adotando MGMT e S-007 como pontos de controle. O teste global indicou que as incertezas fornecidas pelo software estavam otimistas por um fator aproximado de seis, o que motivou o reescalonamento das variâncias antes da aplicação do método de *Data Snooping*, etapa na qual não foram identificados *outliers*. Na sequência, aplicou-se a injunção relativa para propagar as incertezas dos pontos de controle. Para os vértices superiores, o pior caso foi observado no vértice S-004, cujas incertezas a 95% foram de aproximadamente 8 mm em latitude, 10 mm em longitude e 23 mm em altitude. Entre os vértices principais, o ponto P-006 apresentou as maiores incertezas, com valores próximos de 13 mm, 14 mm e 38 mm, respectivamente, ao nível de 95%. Os resultados obtidos demonstram a confiabilidade geométrica da RRCM, evidenciando que os vértices ajustados atendem aos padrões de qualidade requeridos para aplicações cadastrais e cartográficas.

Palavras-chave: Informações Geoespaciais; Infraestrutura; Posicionamento; Rede Cadastral; Ajustamento; Controle de Qualidade.

ABSTRACT

This study presents the implementation of the Municipal Cadastral Reference Network (RRCM) of Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil, a geodetic infrastructure designed to link spatial information to a single, well-defined reference frame. Geodetic networks are widely applied in structural deformation monitoring, allowing the detection of millimetric displacements in dams, benchmarks, and buildings. They are also used in rural and urban cadastral systems, providing support for territorial management and urban planning. The implementation followed the guidelines established by the ABNT standards NBR 14166:2022 and NBR 13133:2021. The network consists of nine upper-order vertices (S), whose coordinates were adjusted based on two monuments of the Brazilian Geodetic System (SGB), namely the active station MGMT and the vertex SAT-99658, and eleven primary vertices (P), adjusted using vertices S-007 and SAT-99658 as references. During the quality control stage, the known baseline between MGMT and SAT-99658 presented an average three-dimensional difference of approximately 18 mm, which is compatible with the normative tolerance of 20 mm. The largest polygon formed by the upper-order vertices, with an approximate extension of 16 km, exhibited a three-dimensional error of about 18 mm, equivalent to 1 ppm. This value is within the limits established by the standard, estimated at approximately 26 mm. In the network adjustment, absolute constraints were initially applied, adopting MGMT and S-007 as control points. The global test indicated that the uncertainties provided by the processing software were optimistic by a factor of approximately six, which led to the rescaling of variances prior to the application of the Data Snooping method, in which no outliers were detected. Subsequently, relative constraints were applied to propagate the uncertainties of the control points. For the upper-order vertices, the worst case was observed at vertex S-004, whose 95% confidence uncertainties were approximately 8 mm in latitude, 10 mm in longitude, and 23 mm in height. Among the primary vertices, point P-006 presented the largest uncertainties, with values close to 13 mm, 14 mm, and 38 mm, respectively, at the 95% confidence level. The results demonstrate the geometric reliability of the RRCM, indicating that the adjusted vertices meet the quality standards required for cadastral and cartographic applications.

Keywords: Geospatial Information; Infrastructure; Positioning; Cadastral Network; Adjustment; Quality Control

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização do município de Monte Carmelo.....	13
Figura 2 - Planejamento das linhas de base da RRCM de Monte Carmelo.....	16
Figura 3 - Especificação da Chapa	21
Figura 4 - Modelo de marco geodésico do IBGE.....	22
Figura 5 - Esquema de estabelecimento do marco	23
Figura 6 – Implantação dos Marcos Geodésicos na Praça do Camilão S-007 e P-007.....	23
Figura 7 – Implantação dos Marcos Geodésicos na Praça do Rosário S-003 e P-003	24
Figura 8 – Implantação dos Marcos Geodésicos na Praça da Areia P-010 e P-011.....	24
Figura 9 - Linhas de Bases das sessões	29
Figura 10 - Ocupações dos pontos dos Vértices Principais.....	32
Figura 11 – Rede geodésica final para a etapa de ajustamento	39
Figura 12 – Figuras geométricas para o cálculo de erro de fechamento	42
Figura 13 - Erro Estimado Padronizado das conexões entre os vértices superiores.....	52
Figura 14 - Precisão dos vértices superiores em diferentes sistemas de coordenadas	56
Figura 15 - Erro estimado padronizado das observações dos vértices principais	58
Figura 16 - Precisão dos vértices principais em diferentes sistemas de referência.....	61
Figura 17 – Espacialização dos Marcos da Rede Geodésica de Monte Carmelo - MG.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sessões e linhas de base independentes para pré-análise	17
Tabela 2 - Incertezas esperadas dos vértices superiores para 1σ (68,3%), 2σ (95%) e 3σ (99%) em mm.	20
Tabela 3 - Resultante das precisões esperadas no sistema local em (mm).....	21
Tabela 4 - Planejamento da sessão e equipes para implantação do (VS)	27
Tabela 5 - Características técnicas para posicionamento relativo estático	28
Tabela 6 - Características técnicas para posicionamento relativo estático	30
Tabela 7 - Planejamento das ocupações para implantação dos (VP)	31
Tabela 8 - Orçamento da Implantação dos Marcos Geodésicos.....	33
Tabela 9 - Orçamento do Engenheiro Agrimensor.....	34
Tabela 10 - Orçamento total do projeto.....	35
Tabela 11 - Planejamento do cronograma do projeto.....	36
Tabela 12 - Síntese da estratégia de processamento das linhas de base GNSS.....	38
Tabela 13 - Análise das diferenças entre as coordenadas oficiais do ponto SESI e as coordenadas estimadas em (m).....	41
Tabela 14 - Análise do erro de fechamento	43
Tabela 15 - Coordenadas ajustadas dos VS no sistema geocêntrico	53
Tabela 16 - Coordenadas ajustadas do (VS) no Sistema Geodésico	53
Tabela 17 - Ponto médio de origem do SGL	54
Tabela 18 - Coordenadas dos (VS) no Sistema Geodésico local	55
Tabela 19 - Coordenadas dos (VS) na Projeção Universal Transversa de Mercator	55
Tabela 20 - Estatísticas do controle de qualidade e sigma a posteriori dos vértices principais	57
Tabela 21 - Coordenadas ajustadas dos (VP) no Sistema Geocêntrico	59
Tabela 22 - Coordenadas ajustadas do (VP) no Sistema Geodésico	59
Tabela 23 - Coordenadas dos (VP) no Sistema Geodésico Local	60
Tabela 24 - Coordenadas dos (VP) na Projeção Universal Transversa de Mercator	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDG	Banco de Dados Geodésicos
BDI	Benefícios e Despesas Indiretas
FGCS	<i>Federal Geodetic Control Subcommittee</i>
GLONASS	<i>GLObalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite Systems</i>
GPS	<i>Glonas Positioning System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LTGEO	Laboratório de Topografia e Geodésia
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
PPM	Partes Por Milhão
PPP	<i>Precise Point Positioning</i>
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
RG	Rede Geodésica
RMPG	Rede Maregráfica Permanente para Geodésia
RRCM	Rede de Referência Cadastral Municipal
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
VP	Vértice Principal
VS	Vértice Superior

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1	Caracterização da área de estudo	13
2.2	Planejamento e Projeto da Rede	13
2.2.1	<i>Avaliação das Condições dos Marcos Existentes e Definição de Novos Marcos.....</i>	<i>14</i>
2.2.2	<i>Planejamento da rede e Precisoões esperadas das Linhas Base e dos Vértices Superiores da Rede GNSS de Monte Carmelo</i>	<i>14</i>
2.3	Materialização dos Marcos	21
2.4	Planejamento das Sessões de Rastreio	24
2.4.1	<i>Disposição dos Vértices Superiores da Rede</i>	<i>25</i>
2.4.2	<i>Disposição dos Vértices Principais da Rede</i>	<i>29</i>
2.5	Orçamento.....	33
2.6	Cronograma	35
3	RESULTADOS	37
3.1	Processamento das Linhas Bases.....	37
3.2	Controle de Qualidade antes do Ajustamento: Linhas Bases Conhecidas.....	40
3.3	Controle de Qualidade antes do Ajustamento: Erro de Fechamento	41
3.4	Ajustamento da Rede GNSS.....	44
3.4.1	<i>Vértices Superiores.....</i>	<i>44</i>
3.4.2	<i>Vértices Principais.....</i>	<i>47</i>
3.5	Controle de Qualidade da Rede GNSS após o Ajustamento	48
3.5.1	<i>Vértices Superiores.....</i>	<i>48</i>
3.5.2	<i>Vértices Principais.....</i>	<i>57</i>
4	CONCLUSÃO.....	63
	REFERÊNCIAS.....	65
	APÊNDICE A – MONOGRAFIAS DOS MARCOS GEODÉSICOS DA RRCM68	

1 INTRODUÇÃO

Uma Rede Geodésica (RG) consiste em um conjunto de pontos materializados no terreno, cujas posições são conhecidas em um sistema de referência definido e determinadas por meio de observações geodésicas (Klein *et al.*, 2011), a qual permite vincular quaisquer levantamentos realizados em épocas diferentes à um mesmo referencial. As RGs fornecem a base de referência para a realização do posicionamento de pontos sobre a superfície terrestre, com alta precisão, garantindo a padronização e a confiabilidade das medições e representações espaciais, segundo a NBR 14.166/2022.

As RGs são amplamente aplicadas no monitoramento de deformações de estruturas (Chaves, 2001), permitindo a detecção de deslocamentos milimétricos em barragens, pontes e edificações. Elas também são utilizadas no cadastro técnico rural e urbano (Amorim, 2004), fornecendo suporte para a gestão territorial e o planejamento urbano, bem como na locação de obras de engenharia (Pinto, 2000), de modo a garantir o posicionamento preciso de projetos no terreno. Outro aspecto relevante é sua contribuição para a implantação e manutenção de serviços de infraestrutura (IBGE, 1983), como redes de saneamento, energia e telecomunicações, que dependem de bases georreferenciadas consistentes.

Nesse contexto, destaca-se o papel do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), responsável pela manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), o qual constitui o principal referencial nacional para atividades de posicionamento geodésico e georreferenciamento. O SGB integra um conjunto de redes e estações que permitem o controle, a correção e a verificação de medições em todo o território brasileiro, assegurando sua compatibilidade com padrões internacionais. Entre seus componentes, destacam-se a Rede Altimétrica, a Rede Gravimétrica, a Rede Planialtimétrica e Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG), o Banco de Dados Geodésicos (BDG) e a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), que juntas formam a estrutura fundamental do sistema geodésico nacional.

À nível local, a Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM) é fundamental para o estabelecimento de uma infraestrutura geodésica municipal. Segundo a NBR 14.166/2022, uma RRCM destina-se a apoiar a elaboração e a atualização de plantas cadastrais municipais e da base cartográfica; possibilitando vincular, levantamentos topográficos e geodésicos, visando a atualização de plantas cadastrais, tanto para fins urbanos quanto rurais, do município; além de possibilitar a demarcação, parcelamento, implantação e acompanhamento de obras de engenharia em geral e fornecer apoio aos serviços de aerolevantamentos.

Na RRCM, as coordenadas dos vértices da rede são usualmente determinadas por meio de métodos de posicionamento por satélites *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS), utilizando o posicionamento relativo estático, embora também seja possível usar o Posicionamento por Ponto Preciso (Klein; Matsuoka; Souza, 2010).

Os pontos que compõem a rede são interligados por linhas de base processadas (distância entre os receptores), que definem a escala e a geometria interna da rede, mas não determina sua origem e orientação no espaço. Entretanto, ao utilizar estações de referência, isto é, pontos de controle com coordenadas conhecidas em um referencial oficial, torna-se possível fixar a origem e a orientação da rede, superando essa limitação. No Brasil, uma rede é estabelecida por meio de pontos de controle do SGB referenciados ao SIRGAS2000, de modo que sua origem e sua orientação ficam determinadas nesse referencial. Outras estratégias mais sofisticadas podem ser adotadas, tal como o ajustamento livre por meio de injunção internas mínimas (Klein et al., 2025).

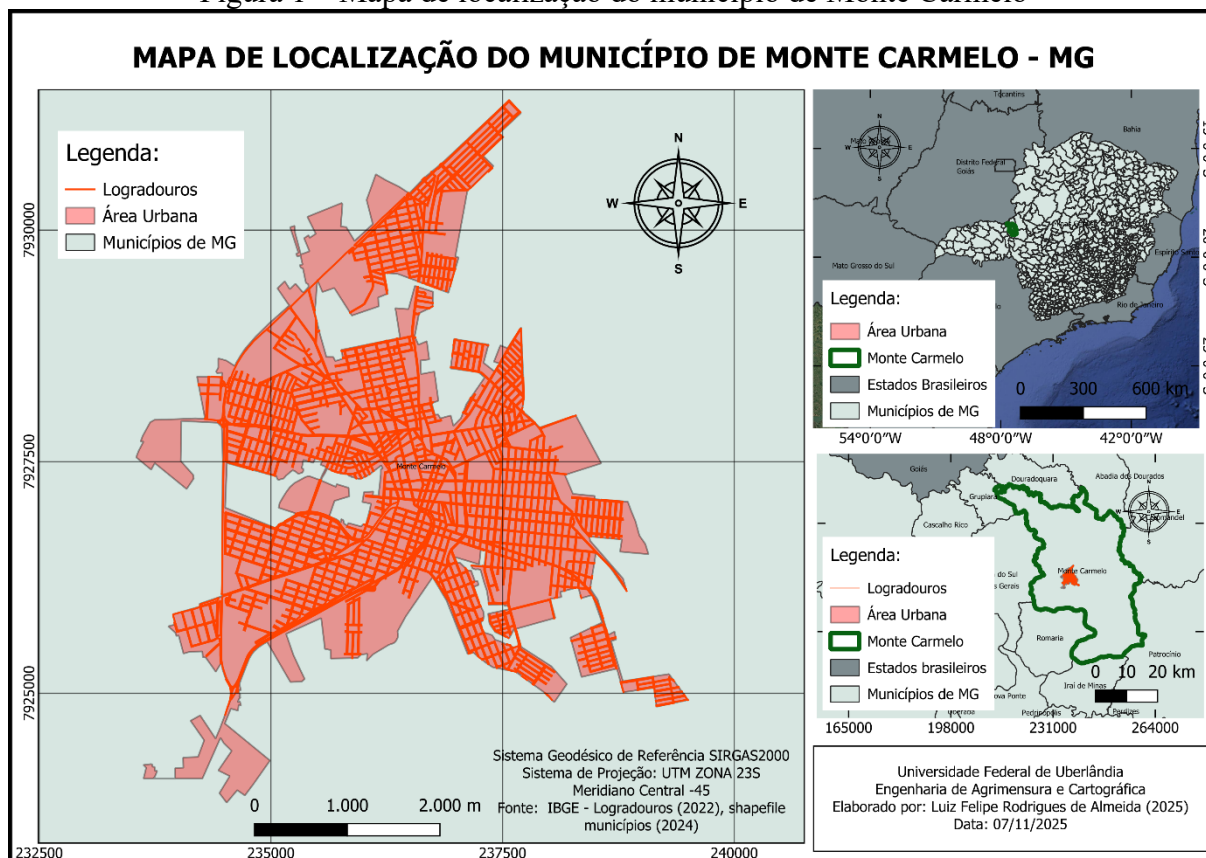
Neste trabalho, são apresentados os aspectos metodológicos e os resultados obtidos na implantação da Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM) de Monte Carmelo (MG), realizada em conformidade com a norma NBR 14.166/2022. O município possuía originalmente 10 marcos geodésicos provenientes do trabalho de Rosa (2017), os quais, para fins de organização e definição hierárquica da rede proposta, passam a ser denominados neste trabalho como vértices superiores. Entretanto, verificou-se que 2 desses vértices apresentavam a chapa identificadora deteriorada, 5 encontravam-se sem chapa e apenas um permanecia em bom estado de conservação e devidamente integrado ao Sistema Geodésico Brasileiro (SAT-99658). Constatou-se, ainda, a necessidade de reinstalação de dois vértices que haviam sido removidos em decorrência de obras executadas pela prefeitura municipal. Para sanar os problemas de degradação observados, foram fixadas novas chapas de identificação e adotados pinos metálicos de ancoragem, proporcionando maior durabilidade, estabilidade e segurança aos vértices superiores. No caso dos vértices principais destinados ao apoio topográfico, o levantamento de Resende (2017) havia implantado 10 marcos; contudo, 3 foram posteriormente removidos e os demais se encontravam sem chapas de identificação, exceto o marco M17. Os resultados relativos ao processamento, ajustamento e controle de qualidade da RRCM de Monte Carmelo são apresentados e analisados neste Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. Como será demonstrado, a nova configuração da rede oferece uma infraestrutura geodésica robusta e confiável, capaz de subsidiar atividades de ensino, pesquisa e extensão, além de constituir uma base essencial para profissionais do setor geoespacial e para toda a comunidade carmelitana.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo abrange a área urbana do município de Monte Carmelo, o qual está localizado nas coordenadas Latitude: $18^{\circ}43'30''$ Sul, Longitude: $47^{\circ}29'56''$ Oeste. No interior do estado de Minas Gerais. Segundo o (IBGE, 2022), o município possui 47.692 habitantes e densidade demográfica de 35,5 hab./km². A Figura 1 apresenta o mapa de localização do município e a distribuição dos marcos geodésicos implantados, destacando-se o marco da RBMC denominado MGMT.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Monte Carmelo



2.2 Planejamento e Projeto da Rede

O planejamento da rede geodésica implantada no município de Monte Carmelo foi estruturado de forma a assegurar sua adequação técnica às necessidades do cadastro municipal. Para isso, esta seção está dividida em dois subtópicos: primeiramente, apresenta-se as condições

dos marcos existentes e os critérios adotados para a implantação de novos vértices, com base na inspeção realizada em campo; em seguida, descreve-se o projeto da rede, considerando as precisões dos equipamentos disponíveis, a geometria proposta e o planejamento das sessões de rastreio necessárias à sua execução. Segundo Klein *et al.* (2012), o projeto de uma rede geodésica envolve o planejamento, em que são definidos os critérios de precisão e confiabilidade necessários aos objetivos da rede. Nesta etapa, avalia-se se a rede projetada atende aos critérios técnicos e econômicos previstos (Dalmolin, 2022).

2.2.1 Avaliação das Condições dos Marcos Existentes e Definição de Novos Marcos

No planejamento da implantação da nova rede geodésica do município de Monte Carmelo, realizou-se inicialmente uma revisita aos marcos implantados por Rosa (2017), pertencentes a RG anterior que se encontrava descaracterizada, no qual existiam dez marcos que foram avaliados quanto às suas condições físicas e à possibilidade de aproveitamento e, para fins de organização e hierarquização da nova Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM), passam a ser classificados, exclusivamente neste trabalho, como vértices superiores (VS). Seguindo essa proposta metodológica, foi realizada a densificação da rede geodésica municipal. Nesse processo, foram inseridos novos marcos geodésicos e instaladas as respectivas chapas de identificação, além da utilização dos marcos implantados por Resende (2017), que passaram a constituir os vértices principais (VP) da estrutura geodésica do município.

A verificação em campo permitiu identificar a ausência de dois marcos pertencentes à rede dos VS: localizado na Praça do Camilão e outro, situado na Praça do Rosário. De forma semelhante, constatou-se a inexistência dos marcos da densificação realizada por Resende, (2017) na Praça do Camilão e na Praça do Rosário, pertencentes à rede dos VP, comprometendo a continuidade das etapas de densificação.

Com o objetivo de garantir uma estrutura geodésica confiável, foram projetados e implantados mais dois novos marcos, na Praça da Areia. Dessa forma, a rede passou a contar com dez vértices principais distribuídos sequencialmente, além do marco M17, instalado durante o trabalho de Resende (2017).

2.2.2 Planejamento da rede e Precisões esperadas das Linhas Base e dos Vértices Superiores da Rede GNSS de Monte Carmelo

A etapa de planejamento da rede foi conduzida conforme as recomendações da norma NBR 14.166/2022, a qual define que a RRCM deve conter os vértices, vetores, estratégia para o controle de qualidade e a materialização dos vértices, para garantir que atenda aos requisitos previstos na mesma. Em especial quando uma rede não depende somente da qualidade dos pontos, mas também da geometria adotada na sua configuração. Deve-se levar em consideração ainda, o tempo mínimo de rastreo de cada vértice, o método de observação, planejamento e a logística das ocupações e sessões de rastreo para cada linha base da rede a ser implantada.

Dessa forma, adotou-se exclusivamente a estratégia de levantamento em rede, conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 14.166/2022. Nesse modelo, cada vértice deve estar conectado a, no mínimo, dois outros pontos, sejam eles VS ou marcos integrados ao SGB.

No caso desse trabalho, definiu-se um critério mais rigoroso, estabelecendo que cada vértice superior deveria possuir ao menos três conexões independentes. Tal configuração atende ao princípio da vizinhança, também previsto na norma citada, ao priorizar a formação de vetores entre pontos espacialmente próximos. Essa abordagem contribui para a melhoria da geometria da rede, o aumento da redundância e uma distribuição mais homogênea dos erros ao longo das linhas de base.

A Universidade Federal de Uberlândia dispõe de quatro receptores GNSS, sendo dois Topcon Hiper V RTK e dois Ashtech ProMark 500 com as suas respectivas precisões provenientes do manual do equipamento como sendo:

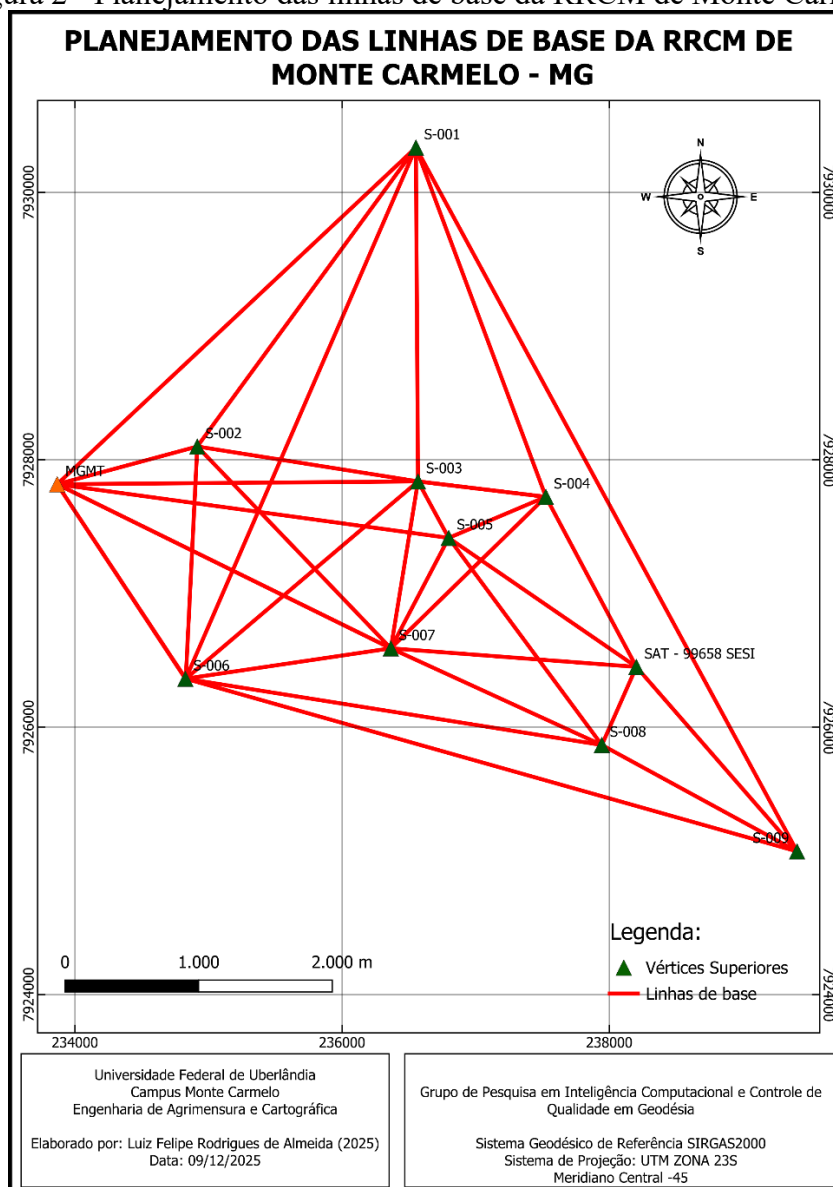
- Topcon Hiper V RTK:
Horizontal = 3 mm + 0,1 ppm; Vertical = 5 mm + 0,5 ppm
- Ashtech ProMark 500:
Horizontal = 5 mm + 0,5 ppm; Vertical = 10 mm + 1 ppm

Além disso, o município conta com uma Estação Ativa pertencente à RBMC (MGMT). Dessa forma, o planejamento da rede pôde considerar a disponibilidade de cinco receptores operando simultaneamente. Com isso, cada sessão de rastreo foi organizada de modo a produzir quatro linhas de base independentes, conforme $R - 1 = 5 - 1 = 4$, sendo R o número total de receptores.

No total, foram realizadas 9 sessões de rastreo, resultando em 35 linhas de base independentes. Essa configuração permitiu a formação de figuras geometricamente fechadas, essenciais para a pré-análise, o que possibilita a avaliação da qualidade geométrica da rede e

para a verificação dos erros de fechamento. Também foi possível analisar linhas de base repetidas e linhas de base conhecidas, o que contribuiu para avaliar a consistência interna das observações. A Figura 2 apresenta as conexões das linhas de base planejadas para a RRCM de Monte Carmelo.

Figura 2 - Planejamento das linhas de base da RRCM de Monte Carmelo



Fonte: O autor.

Dessa forma, temos o planejamento das sessões de rastreios dos vértices superiores no município de Monte Carmelo utilizando-se 10 marcos geodésicos, sendo eles S-001 (Praça do Santa Rita), S-002 (Praça da Catulina), S-003 (Praça do Rosário), S-004 (Praça do Cristo), S-005 (Praça da Matriz), S-006 (UNIFUCAMP), SAT-99658 (Sesi), S-007 (Praça do Camilão), S-008 (Parque de Exposição) e S-009 (Praça do São Sebastião).

A rede contará com estações de controle fixas, com coordenadas conhecidas como o marco da estação geodésica SAT-99658, localizado no SESI de Monte Carmelo, e o marco MGMT, código 99680 que desempenham papel fundamental no ajuste e na validação dos resultados obtidos em campo. A Tabela 1 apresenta as orientações de cada sessão, as respectivas linhas de base envolvidas e os comprimentos correspondentes.

Tabela 1 – Sessões e linhas de base independentes para pré-análise

Sessões	Linhas de Base	Distâncias em (Km)	Distâncias por sessão em (km)
Sessão 1	MGMT-S-001	3,693	11,699
	S-001-S-008	2,775	
	S-001-S-003	2,476	
	S-001-S-004	2,755	
Sessão 2	MGMT-S-006	1,743	10,085
	S-006-S-008	1,738	
	S-006-S-003	2,279	
	S-006-S-001	4,325	
Sessão 3	S-009-S-006	4,752	14,275
	S-009-SAT99658 SESI	1,830	
	S-009-S-001	5,950	
	MGMT-S-006	1,743	
Sessão 4	S-009-S-002	1,663	5,454
	S-002-SAT99658 SESI	0,639	
	S-002-S-006	3,152	
Sessão 5	MGMT-S-007	2,781	8,079
	S-007-S-002	1,736	
	S-007-SAT99658 SESI	1,842	
	SAT99658 SESI-S-005	1,720	
Sessão 6	S-002-S-005	1,940	7,122
	S-005-S-004	0,803	
	S-004-SAT99658 SESI	1,440	
	S-005-MGMT	2,939	
Sessão 7	MGMT-S-007	2,781	6,881
	S-007-S-006	1,551	
	S-007-S-005	0,928	
	S-007-M1	1,621	
Sessão 8	MGMT-S-003	2,699	5,395
	S-003-S-004	0,963	
	S-003-S-007	1,264	
	S-003-S-005	0,469	
Sessão 9	MGMT-S-008	1,086	5,812
	S-008-S-007	2,091	
	S-008-S-003	1,672	
	S-003-S-004	0,963	

Fonte: O autor.

No que diz respeito à precisão esperada para os vértices superiores, adotou-se os pontos MGMT e SAT-99658 como referências. A partir da definição dos pontos de referência, aplicou-se o seguinte método: iniciando pela construção da matriz de rotação responsável pela transformação entre o sistema geodésico local (x, y, z) e o sistema geodésico global (X, Y, Z) .

Essa matriz é fundamental tanto para a transformação das coordenadas quanto para a propagação das variâncias e covariâncias entre os referenciais.

No caso específico deste trabalho, a transformação é linear, o que simplifica a aplicação da lei da propagação de variâncias. Assim, a matriz de rotação R , definida em função da latitude φ e longitude λ do ponto de origem do sistema local, é expressa por:

$$R = \begin{bmatrix} -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ -\cos \lambda \sin \varphi & -\sin \lambda - \sin \varphi & \cos \varphi \\ \cos \lambda \cos \varphi & \sin \lambda \cos \varphi & \sin \lambda \end{bmatrix} \quad (1)$$

Considerando-se inicialmente a matriz de covariância no sistema geodésico local, representada no caso independente por:

$$\Sigma_{\Delta x \Delta y \Delta z} = \begin{bmatrix} \sigma \Delta x^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma \Delta y^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma \Delta z^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

a lei de propagação de erros, aplicada ao caso linear, conduz à relação:

$$\Sigma_{\Delta X \Delta Y \Delta Z} = R \Sigma_{\Delta x \Delta y \Delta z} R^T \quad (3)$$

onde R é a matriz de rotação 3x3 que transforma coordenadas do sistema geodésico local (x, y, z) para o sistema geodésico global (X, Y, Z) . Para uma transformação linear, a lei de propagação é $\Sigma_Y = G \Sigma_X G^T$; aplicando aqui $G = R$ obtemos (3).

Após a aplicação da lei de propagação, calcula-se a matriz de pesos como a inversa da matriz de covariância das observações, dada pela equação (4):

$$P = \Sigma_{\Delta X \Delta Y \Delta Z}^{-1} \quad (4)$$

a qual é empregada no ajustamento pelo modelo linear de Gauss–Markov. A matriz variância–covariância dos parâmetros estimados resulta de:

$$\Sigma_{\hat{x}} = (A^T P A)^{-1} \quad (5)$$

e, a partir dessa matriz, obtêm-se os respectivos desvios padrão das coordenadas ajustadas. Esses desvios foram posteriormente convertidos para milímetros e utilizados para determinar os intervalos de confiança de 95% (aproximadamente 2σ) e 99% (aproximadamente 3σ), fornecendo subsídios estatísticos para a análise da precisão final da rede no sistema local.

De forma análoga, quando as observações são inicialmente expressas no sistema geodésico global, aplica-se a transformação inversa para o sistema local. Como a matriz de rotação R é ortogonal, sua inversa coincide com a transposta, $R^{-1} = R^T$. Assim, a matriz de covariância no sistema local é dada por:

$$\Sigma_{\hat{x}} = R^T \Sigma_{\hat{x}} R \quad (6)$$

As equações (4) e (7) não são idênticas porque cada uma aplica uma jacobiana diferente: a ida usa R e a volta usa R^T . Assim, buscou-se determinar as estimativas de precisão esperadas para os nove pontos incógnitos da rede, identificados de S-001 a S-009. Essas estimativas foram analisadas tanto no sistema geodésico local quanto no sistema geodésico global, permitindo avaliar o comportamento das incertezas em ambos os referenciais. Além disso, foram considerados os intervalos de confiança de 95% e 99%, de forma a ilustrar cenários mais conservadores e evidenciar como as precisões se degradariam em condições menos favoráveis constituindo, assim, uma projeção realista do levantamento.

As estimativas preliminares representam um elemento fundamental para o planejamento, pois fornecem uma referência da qualidade que se espera alcançar após as etapas de campo, processamento e ajustamento da rede. Dessa maneira, elas permitem antecipar o nível de confiabilidade que deverá ser obtido nas coordenadas finais, além de auxiliar na verificação da adequação dos tempos de rastreamento, da geometria da rede e da estratégia observacional adotada. A Tabela 2 mostra as precisões esperadas para os vértices superiores da rede para 1sigma, 2sigma e 3 sigma para o sistema geodésico cartesiano (XYZ) e sistema geodésico local (xyz).

Tabela 2 - Incertezas esperadas dos vértices superiores para 1σ (68,3%), 2σ (95%) e 3σ (99%) em mm.

Pontos	1σ X/Y/Z	2σ X/Y/Z	3σ X/Y/Z	1σ x/y/z	2σ x/y/z	3σ x/y/z
S-001	3,90	7,80	11,70	2,00	4,00	6,00
	4,20	8,40	12,60	2,00	4,00	6,00
	2,60	5,20	7,80	5,70	11,40	17,10
S-002	4,20	8,40	12,60	2,10	4,20	6,30
	4,50	9,00	13,50	2,10	4,20	6,30
	2,80	5,60	8,40	6,10	12,20	18,30
S-003	3,60	7,20	10,80	1,80	3,60	5,40
	3,90	7,80	11,70	1,80	3,60	5,40
	2,40	4,80	7,20	5,20	10,40	15,60
S-004	3,30	6,60	9,90	1,70	3,40	5,10
	3,50	7,00	10,50	1,70	3,40	5,10
	2,20	4,40	6,60	4,70	9,40	14,10
S-005	5,10	10,20	15,30	2,50	5,00	7,50
	5,40	10,80	16,20	2,50	5,00	7,50
	3,30	6,60	9,90	7,30	14,60	21,90
S-006	3,60	7,20	10,80	1,80	3,60	5,40
	3,80	7,60	11,40	1,80	3,60	5,40
	2,40	4,80	7,20	5,20	10,40	15,60
S-007	4,40	8,80	13,20	2,30	4,60	6,90
	4,70	9,40	14,10	2,30	4,60	6,90
	3,00	6,00	9,00	6,40	12,80	19,2
S-008	3,80	7,60	11,40	1,90	3,80	5,70
	4,00	8,00	12,00	1,90	3,80	5,70
	2,50	5,00	7,50	5,40	10,80	16,2
S-009	4,20	8,40	12,60	2,10	4,20	6,30
	4,50	9,00	13,50	2,10	4,20	6,30
	2,80	5,60	8,40	6,10	12,20	18,30

Fonte: O autor.

Dessa forma, torna-se possível calcular e analisar a resultante de cada ponto, verificando a consistência entre os resultados obtidos. É fundamental que, tanto no sistema geocêntrico quanto no sistema local, os valores das resultantes sejam iguais. A seguir, são apresentadas as resultantes obtidas na etapa de pré-análise, as quais permitem avaliar as precisões esperadas antes da execução do levantamento em campo, concluindo assim esta fase preliminar do processo. A tabela 3 mostra a resultante das precisões esperadas para os vértices superiores da rede para o sistema geodésico cartesiano (XYZ) e o sistema geodésico local (xyz).

Tabela 3 - Resultante das precisões esperadas no sistema local em (mm)

Sessões	RSL	RSL σ_{95}	RSL σ_{99}
S-001	6,40	12,8	19,2
S-002	6,80	13,6	20,4
S-003	5,80	11,6	17,4
S-004	5,30	10,6	15,9
S-005	8,10	16,2	24,3
S-006	5,80	11,6	17,4
S-007	7,10	14,2	21,3
S-008	6,10	12,2	18,3
S-009	6,80	13,6	20,4

Fonte: O autor.

RSL – Resultante sistema geodésico local;

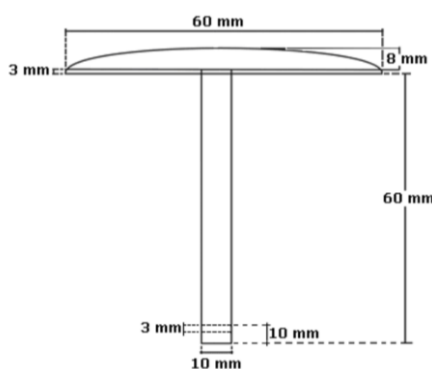
RSL σ_{95} - Resultante a um intervalo de confiança de 95% no sistema geodésico local.RSL σ_{99} - Resultante a um intervalo de confiança de 99% no sistema geodésico local.

Com base na tabela apresentada, é possível observar as precisões esperadas para os pontos dos vértices superiores. Verifica-se que os valores estimados atendem aos requisitos da NBR 14.166/2022, uma vez que a precisão prevista para as coordenadas planimétricas permanece inferior a 20 mm e, para a altimetria, abaixo de 50 mm, mantendo-se portanto dentro das tolerâncias normativas permitidas.

2.3 Materialização dos Marcos

A materialização dos marcos geodésicos seguiu as recomendações e normas do IBGE que define o padrão conforme o documento “Padronização de Marcos Geodésicos” (IBGE, 2008). A primeira especificação se dá em relação a chapa metálica destinada a identificação da estação, na qual ao estar fixada no topo de uma superfície estável, marco ou pilar, ela define o ponto de referência da estação. Conforme segue a Figura 3:

Figura 3 - Especificação da Chapa

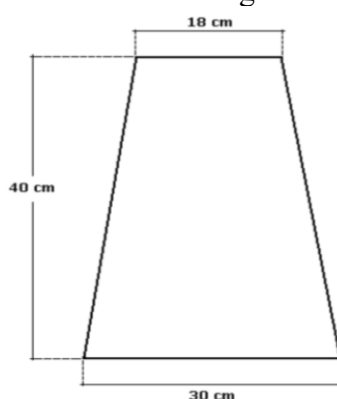


Fonte: (IBGE, 2008).

No caso do Marco de Concreto com a chapa no topo ele deve conter as seguintes dimensões:

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

Figura 4 - Modelo de marco geodésico do IBGE



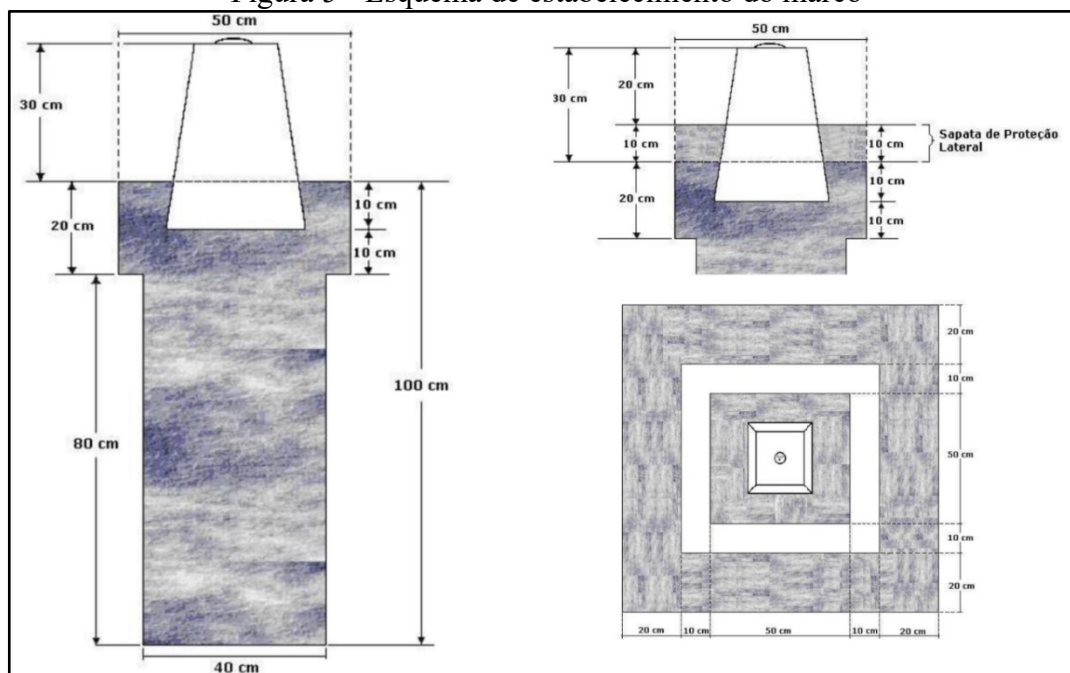
Fonte: (IBGE, 2008).

Após a confecção dos novos marcos, eles foram implantados com o auxílio da equipe técnica responsável do LTGEO (Laboratório de Topografia e Geodésia) da Universidade Federal de Uberlândia e da Prefeitura Municipal de Monte Carmelo. Durante a implantação, o solo foi perfurado seguindo as medidas descritas abaixo e posteriormente preenchido com concreto para a inserção dos marcos, realizando-se o nivelamento e o acabamento das estruturas, que segue as devidas orientações:

- Abrir uma cava com 50 cm de lado até uma profundidade de 20 cm;
- Reduzir a dimensão do lado da cava para 40 cm, acrescentando à profundidade inicial de 80 cm;
- Introduzir massa até uma altura diste 7 cm da borda da cava; e
- Assentar o marco, preencher o restante da cava com massa da fundação.

A figura 5 demonstra como deve ser realizado o modelo de marco e posteriormente como deve ser inserida a sapata lateral como forma de proteção do marco:

Figura 5 - Esquema de estabelecimento do marco



Fonte: (IBGE, 2008).

Após a cura do concreto, foram fixadas as placas de identificação com material aderente específico, contendo o código do município, o tipo do vértice, o número de identificação do marco e a inscrição “PROTEGIDO POR LEI”. Por fim, os marcos foram pintados para proteção e padronização visual. As figuras 6, 7 e 8, trazem a demonstração da confecção e implantação dos marcos geodésicos:

Figura 6 – Implantação dos Marcos Geodésicos na Praça do Camilão S-007 e P-007



Fonte: O autor.

Figura 7 – Implantação dos Marcos Geodésicos na Praça do Rosário S-003 e P-003



Fonte: O autor.

Figura 8 – Implantação dos Marcos Geodésicos na Praça da Areia P-010 e P-011



Fonte: O autor.

A implantação dos marcos geodésicos referentes aos VS foi realizada previamente à etapa de levantamento de campo. Já os marcos correspondentes aos VP foram instalados em conjunto do levantamento dos VS, garantindo o tempo adequado para a cura do concreto e permitindo a chegada das chapas metálicas com as nomenclaturas previamente definidas. Esse procedimento assegurou a correta estabilização estrutural dos marcos e a padronização da identificação, mantendo o nível de qualidade exigido para o trabalho.

2.4 Planejamento das Sessões de Rastreo

Após a etapa de planejamento, iniciou-se à execução do levantamento dos vértices superiores, seguida posteriormente pelo levantamento dos vértices principais. O planejamento referente aos VS foi desenvolvido no mês de setembro do ano de 2025, enquanto o planejamento da rede dos VP ocorreu no mês de novembro respectivamente ao ano de 2025, com as respectivas campanhas de rastreio realizadas nos meses subsequentes. Todo o cronograma foi definido previamente em reunião técnica conduzida pelo discente responsável da obra, garantindo alinhamento entre as etapas de planejamento, logística e execução em campo.

2.4.1 Disposição dos Vértices Superiores da Rede

O planejamento técnico dos vértices superiores foi conduzido pelo discente responsável, que estruturou a logística necessária para o levantamento e, a partir dessa estratégia, definiu-se os deslocamentos, a distribuição dos veículos e a estimativa dos custos operacionais.

Para viabilizar o uso simultâneo de quatro receptores GNSS, organizou-se uma equipe composta por doze integrantes, divididos em quatro grupos de trabalho. No dia 29/09/2025 realizou-se uma reunião destinada à apresentação do projeto, ao esclarecimento dos objetivos, ao detalhamento dos procedimentos em campo e à organização das sessões de rastreio.

Durante o planejamento, é necessário seguir a norma vigente NBR 14.166/2022, que especifica os critérios mínimos para o posicionamento relativo estático aplicado aos vértices superiores. Além dos requisitos técnicos de rastreio, a norma também define parâmetros estruturais e geométricos para a implantação das redes nos municípios, elementos que orientaram a escolha e a distribuição dos vértices a serem implantados. Entre essas exigências, destacam-se:

- ❖ Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM) deve contar, além dos marcos do SGB, com no mínimo quatro vértices;
- ❖ a densidade mínima dos vértices superiores em áreas urbanas deve ser de 1 vértice por 50 km²;
- ❖ o município tem autonomia para ampliar a quantidade de vértices superiores ou complementar a RRCM com vértices principais e de apoio, conforme sua necessidade operacional;

- ❖ em áreas rurais, recomenda-se densidade mínima de 1 vértice para cada 200 km²;
- ❖ quando o número de vértices superiores em áreas rurais ultrapassar 20 unidades, sua quantidade e distribuição espacial devem ser ajustadas às particularidades e demandas do município;
- ❖ núcleos urbanizados ou regiões com características urbanas localizadas em áreas rurais devem seguir os critérios definidos para áreas urbanas.

Conjuntamente a esses aspectos de distribuição espacial, a norma estabelece as condições técnicas que cada sessão de rastreamento deve atender, dentre as quais:

- ❖ emprego do método de posicionamento relativo estático;
- ❖ manutenção de PDOP médio ≤ 3 e PDOP máximo ≤ 5 durante toda a sessão;
- ❖ adoção de máscara de elevação mínima de 15°, com taxa de registro de 5s, 10s ou 15s;
- ❖ inexistência de obstáculos no mesmo nível ou acima da antena em um raio de 5 m;
- ❖ garantia de que ao menos $\frac{3}{4}$ do horizonte (270°) estejam livres de obstáculos superiores a 20° de elevação;
- ❖ inexistência de obstáculos que ultrapassem 30° de elevação em relação ao horizonte da antena;
- ❖ determinação do tempo mínimo de rastreamento conforme o comprimento da linha de base, conforme tabela normativa.

Todos esses critérios servem como parâmetros essenciais de verificação durante o planejamento e foram aplicados na execução do levantamento de campo. Com essas etapas consolidadas, iniciou-se a coleta das informações em campo, cujo objetivo consistiu na determinação das coordenadas dos vértices superiores, abrangendo o conjunto de S-001 a S-009.

Tabela 4 - Planejamento da sessão e equipes para implantação do (VS)

Sessões	Equipes	Ponto por equipe	Receptor utilizado	Dias	Tempo de rastreio
1	Equipe 1	S-001	<i>Hiper V RTK</i>	10/10/2025	1h
	Equipe 2	S-002	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	S-003	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 4	S-004	<i>ProMark 500</i>		
2	Equipe 1	S-001	<i>Hiper V RTK</i>	10/10/2025	1h
	Equipe 2	S-002	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	S-003	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 4	S-006	<i>ProMark 500</i>		
3	Equipe 1	S-001	<i>Hiper V RTK</i>	07/10/2025	1h
	Equipe 2	SAT 99658 SESI	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	S-009	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 4	S-006	<i>ProMark 500</i>		
4	Equipe 1	S-008	<i>Hiper V RTK</i>	07/10/2025	1h
	Equipe 2	SAT 99658 SESI	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	S-009	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 4	S-006	<i>ProMark 500</i>		
5	Equipe 1	S-008	<i>Hiper V RTK</i>	07/10/2025	1h
	Equipe 2	SAT 99658 SESI	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	S-007	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 4	S-005	<i>ProMark 500</i>		
6	Equipe 1	S-008	<i>Hiper V RTK</i>	08/10/2025	1h
	Equipe 2	SAT 99658 SESI	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	S-004	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 4	S-005	<i>ProMark 500</i>		
7	Equipe 1	S-006	<i>Hiper V RTK</i>	08/10/2025	1h
	Equipe 2	S-007	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	S-004	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 4	S-005	<i>ProMark 500</i>		
8	Equipe 1	S-003	<i>Hiper V RTK</i>	10/10/2025	1h
	Equipe 2	S-007	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	S-004	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 4	S-005	<i>ProMark 500</i>		
9	Equipe 1	S-003	<i>Hiper V RTK</i>	10/10/2025	1h
	Equipe 2	S-007	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	S-004	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 4	S-002	<i>ProMark 500</i>		

Fonte: O autor.

A Tabela 4 resume a distribuição das equipes, numeradas de um a quatro indicando os respectivos vértices superiores (VS) a serem ocupados, os equipamentos utilizados por cada equipe, as datas previstas e o tempo de rastreio adotado. Esse planejamento das equipes seguiu as orientações do “Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais” (INCRA, 2022), que estabelece os critérios mínimos para o método de posicionamento relativo estático.

Segundo o INCRA (2022), no método relativo estático os receptores devem permanecer estacionários durante toda a sessão de rastreo, o que favorece a coleta contínua de observações de fase de batimento da onda portadora e, conseqüentemente, a correta resolução das ambigüidades. Essa condição é fundamental para garantir estimativas precisas dos vetores de base. Segundo Monico (2008), a resolução correta das ambigüidades é crucial para alcançar a precisão requerida em aplicações geodésicas. Quando a ambigüidade é resolvida, obtém-se uma solução "fixa", enquanto, quando permanece "flutuante", a precisão é inferior, mas ainda assim útil para muitas aplicações.

É importante destacar que o desempenho do levantamento está diretamente relacionado ao tipo de equipamento empregado. Receptores mais antigos ou de simples frequência apresentam limitações frente a linhas de base extensas ou ambientes com forte interferência, enquanto equipamentos mais modernos, capazes de rastrear múltiplas constelações e múltiplas frequências, reduzem significativamente o tempo necessário de observação, aumentam a robustez da solução e aprimoram o processo de resolução das ambigüidades (INCRA, 2022).

A Tabela 5 apresenta o tempo mínimo de rastreo aproximado do posicionamento relativo em função do tipo de receptor utilizado, conforme estipulado pelo INCRA (2022).

Tabela 5 - Características técnicas para posicionamento relativo estático

Linha de Base	Tempo Mínimo (Minutos)	Observáveis	Solução da Ambigüidade	Efemérides
00 – 10 Km	20	L1 ou L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 – 20 Km	30	L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 – 20 Km	60	L1	Fixa	Transmitidas ou Precisas
20 – 100 Km	120	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Transmitidas ou Precisas
100 – 500 Km	240	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas
500 - 1000 Km	480	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas

Fonte: Adaptado (INCRA, 2022).

Com essas configurações introduzidas anteriormente, tornou-se possível visualizar espacialmente o planejamento das linhas de base da rede, conforme ilustrado na figura a seguir:

veículos e a previsão dos recursos operacionais indispensáveis ao levantamento. Considerando que a operação exigia o uso simultâneo de quatro receptores GNSS, formou-se uma equipe com oito profissionais, divididos em quatro duplas, de modo a otimizar o desempenho das atividades.

Conforme o cronograma estabelecido, em 03/12/2025 foi conduzida uma reunião de alinhamento destinada à apresentação do projeto de densificação, à descrição das etapas de campo e à coordenação das ocupações dos (VP) para rastreo. Todo o planejamento foi conduzido em conformidade com as recomendações da NBR 14.166, que estabelece para os vértices principais os mesmos critérios aplicados nos (VS), diferenciando-se apenas quanto ao tempo mínimo de rastreo, o qual deve seguir os valores apresentados na tabela a seguir.

Tabela 6 - Características técnicas para posicionamento relativo estático

Extensão da linha de base (km)	Tempo mínimo de rastreo (min)	Tipo de receptor do GNSS
0-5	20	Simples ou multifrequências
5-10	30	Simples ou multifrequências
10-20	60	Simples ou multifrequências

Fonte: Adaptado (NBR 14.666/2022).

No planejamento das equipes foram inicialmente organizadas 11 ocupações de rastreo, de modo a atender ao método de irradiação dupla segundo recomendações de (Silva, 2014). Esse procedimento corresponde à aplicação da irradiação simples realizada de forma redundante, na qual as observações são efetuadas duas vezes de forma independente, sendo a primeira em relação ao ponto A e a segunda em relação ao ponto B.

De acordo com essa abordagem, cada (VP) a ser determinado deve estar conectado a no mínimo, dois marcos do SGB ou a (VS) implantados. A norma também estabelece que, para essa estratégia, a resultante das coordenadas estimadas do vértice não deve ultrapassar 25 mm, garantindo a precisão exigida para vértices principais.

A estratégia adotada para a execução em campo consistiu na definição prévia de três vértices superiores que permaneceram fixos durante todo o processo de rastreo. Entre esses pontos, inclui-se o marco da RBMC de Monte Carmelo, que atua como referência oficial. Também foi utilizado o marco SAT-99658 (SESI), garantindo o apoio de um marco do SGB com coordenadas conhecidas, bem como o vértice superior S-007, que integra a rede e que, na etapa de processamento dos vértices principais, passou a apresentar coordenadas conhecidas

Como a RBMC não necessita de ocupação, apenas dois vértices superiores foram efetivamente ocupados de forma contínua conforme previsto no planejamento garantindo assim

duas linhas de base independentes. Para os vértices superiores (VS), as equipes utilizaram os receptores ProMark 500, enquanto as demais equipes operaram com os receptores Hiper V RTK, o qual apresenta precisão superior à do ProMark 500, conforme especificado no manual técnico do equipamento. A seguir, apresenta-se a tabela de planejamento que distribui as equipes e detalha a orientação operacional adotada em campo.

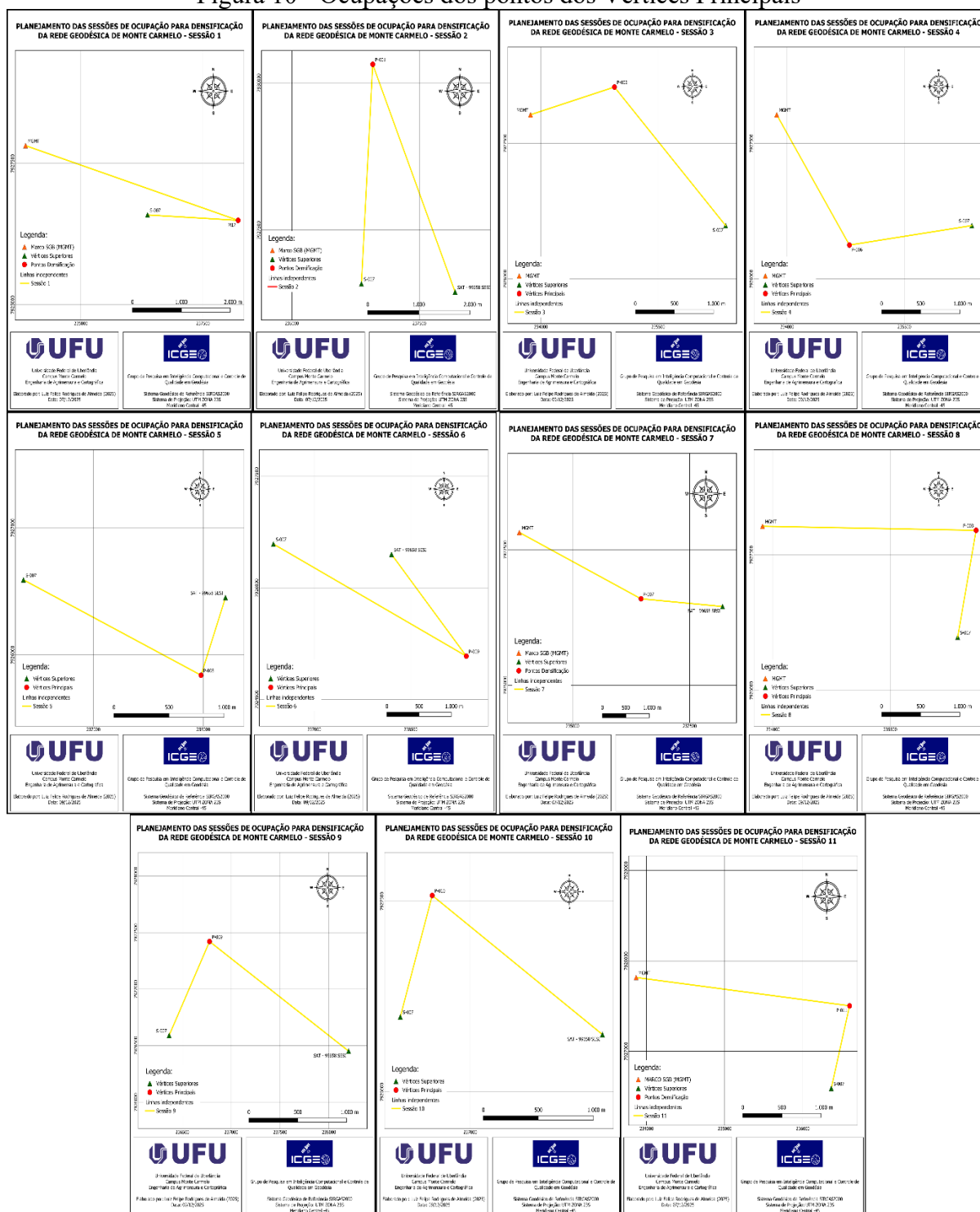
Tabela 7 - Planejamento das ocupações para implantação dos (VP)

Ocupações	Equipes	Ponto por equipe	Receptor utilizado	Dias	Tempo de rastreio
1	Equipe 1	S-007	<i>Hiper V RTK</i>	05/12/2025	30 min
	Equipe 2	M17	<i>Hiper V RTK</i>		
	RBMC – adotado	MGMT	<i>ProMark 500</i>		
	como uma ocupação		<i>ProMark 500</i>		
2	Equipe 1	S-007	<i>Hiper V RTK</i>	05/12/2025	30 min
	Equipe 4	P-001	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 2	SAT – 99658 SESI	<i>ProMark 500</i>		
			<i>ProMark 500</i>		
3	RBMC – adotado	MGMT	<i>Hiper V RTK</i>	05/12/2025	30 min
	como uma ocupação	P-002	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	S-007	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 1		<i>ProMark 500</i>		
4	RBMC – adotado	MGMT	<i>Hiper V RTK</i>	05/12/2025	30 min
	como uma ocupação	P-003	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	S-007	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 1		<i>ProMark 500</i>		
5	Equipe 1	S-007	<i>Hiper V RTK</i>	05/12/2025	30 min
	Equipe 4	P-005	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 2	SAT – 99658 SESI	<i>ProMark 500</i>		
			<i>ProMark 500</i>		
6	RBMC – adotado	MGMT	<i>Hiper V RTK</i>	05/12/2025	30 min
	como uma ocupação	P-006	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	S-007	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 1		<i>ProMark 500</i>		
7	RBMC – adotado	MGMT	<i>Hiper V RTK</i>	05/12/2025	30 min
	como uma ocupação	P-007	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	SAT-99658 SESI	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 1		<i>ProMark 500</i>		
8	Equipe 1	S-007	<i>Hiper V RTK</i>	05/12/2025	30 min
	Equipe 4	P-008	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 2	SAT – 99658 SESI	<i>ProMark 500</i>		
			<i>ProMark 500</i>		
9	Equipe 1	S-007	<i>Hiper V RTK</i>	05/12/2025	30 min
	Equipe 4	P-009	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 2	SAT – 99658 SESI	<i>ProMark 500</i>		
			<i>ProMark 500</i>		
10	Equipe 1	S-007	<i>Hiper V RTK</i>	05/12/2025	30 min
	Equipe 4	P-010	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 2	SAT – 99658 SESI	<i>ProMark 500</i>		
			<i>ProMark 500</i>		
11	RBMC – adotado	MGMT	<i>Hiper V RTK</i>	05/12/2025	30 min
	como uma ocupação	P-011	<i>Hiper V RTK</i>		
	Equipe 3	S-007	<i>ProMark 500</i>		
	Equipe 1		<i>ProMark 500</i>		

Fonte: O autor.

Também é possível visualizar espacialmente as 11 ocupações destinadas à determinação dos pontos P-001 a P-011 e M17, com excessão do P-004. A partir da Figura 10 a seguir:

Figura 10 - Ocupações dos pontos dos Vértices Principais



Fonte: O autor.

Com exceção do ponto P-004, todos os marcos previstos foram determinados nesta etapa do trabalho. A impossibilidade de determinação desse ponto decorreu da indisponibilidade de tempo hábil para a completa cura do concreto do marco, condição essencial para garantir a estabilidade física do monumento e, conseqüentemente, a confiabilidade das observações geodésicas. Essa limitação inviabilizou tanto a realização do rastreo GNSS quanto o processamento das observações correspondentes, uma vez que medições efetuadas antes da estabilização do marco poderiam comprometer a qualidade posicional do ponto.

Adicionalmente, destaca-se o marco M17, previamente implantado por Resende (2017), o qual foi reocupado e reestimado nesta etapa do trabalho, permitindo sua integração e atualização no contexto da rede analisada, conforme ilustrado na figura a seguir.

Concluída a etapa de coleta das observações em campo, os dados foram inicialmente processados no software Magnet Tools, no qual foi definida a estratégia de processamento GNSS. Em seguida, os arquivos de observação resultantes foram exportados para a implementação de algoritmos próprios, desenvolvidos para o processamento e ajustamento das informações, em conformidade com os critérios técnicos e metodológicos estabelecidos na NBR 14.166/2022, assegurando a consistência geométrica e a qualidade dos resultados obtidos no planejamento da rede.

2.5 Orçamento

O orçamento a ser apresentado reflete a execução completa do projeto de implantação de marcos geodésicos e realização de levantamentos GNSS de alta precisão, considerando tanto os custos de materiais e mão de obra quanto os serviços técnicos especializados:

Tabela 8 - Orçamento da Implantação dos Marcos Geodésicos

Descrição	Unidade	Dias	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)	BDI 15% (R\$)	Total c/ BDI
Cimento (50 kg)	Unidade	—	14	45,00	630,00	94,50	724,50
Areia	m ³	—	1,75	120,00	210,00	31,50	241,50
Brita	m ³	—	0,7	150,00	105,00	15,75	120,75
Engenheiro							
Agrimensor	Diária	2	1	600	1.200,00	—	1.200,00
Responsável							
Pedreiro	Diária	4	1	250,00	1.000,00	—	1.000,00
Servente	Diária	4	1	180,00	720,00	—	720,00
Subtotal	—	—	—	—	3.865,00	141,75	4.006,75

Fonte: O autor.

Na etapa de implantação física dos marcos geodésicos, foram utilizados materiais essenciais, como cimento, areia e brita, empregados na confecção de concreto de padrão técnico recomendado pelo INCRA/2023, garantindo a durabilidade e estabilidade dos marcos no campo. A mão de obra direta envolveu o Engenheiro Agrimensor responsável, pedreiro e servente, cujas diárias foram calculadas de acordo com valores de mercado e compatíveis com a complexidade da atividade. Nesta etapa, o BDI foi aplicado apenas sobre os materiais, cobrindo despesas indiretas como transporte, armazenamento e margem operacional. O custo total desta fase resultou em R\$ 4.006,75, refletindo uma execução eficiente e econômica da parte física do projeto.

A etapa de levantamento GNSS e serviços de engenharia compreende atividades de maior especialização, incluindo a coleta de dados geodésicos com receptores de dupla frequência (L1/L2), processamento e ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, além da logística de transporte, alimentação da equipe e aluguel de equipamentos de alta precisão. Nesta fase, o BDI foi aplicado de forma diferenciada: 30% sobre os custos diretos da equipe técnica e levantamento GNSS, garantindo cobertura de impostos, encargos administrativos, riscos e lucro; e 15% sobre transporte, alimentação e aluguel de equipamentos, refletindo despesas mais controladas.

Tabela 9 - Orçamento do Engenheiro Agrimensor

Categoria	Descrição	Unidade	Dias	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)	BDI Aplicado	Valor Total c/ BDI (R\$)	Fonte
Levantamento GNSS	Poligonação com técnica GNSS (receptores geodésicos L1/L2, ajustamento pelo método dos mínimos quadrados)	Unidade	—	21	2.520,30	52.926,30	15.877,89 (30%)	68.804,19	AMIRANET
	Implantação de Marcos	Unidade	—	6	140,00	840,00	126,00 (15%)	966,00	AETESP
Mão de Obra Campo/Escritório	Engenheiro Agrimensor Responsável	Diária	4	1	500,00	2.000,00	600,00 (30%)	2.600,00	—
	Auxiliares Técnicos		4	11	350,00	15.400,00	4.620,00 (30%)	20.020,00	—
	Motoristas	Diária	4	4	100,00	1.600,00	480,00 (30%)	2.080,00	—
Transporte	Aluguel de veículos	Diária	4	4	241,10	3.857,60	578,64 (15%)	4.436,24	Movida Uberlândia
	Gasolina (10 L por carro)	Litro	—	50	5,74	287,00	43,05 (15%)	330,05	Posto Carmelitano
Alimentação	Almoço da equipe	Diária	4	12	30,00	1.440,00	—	1.440,00	—
Equipamentos Alugados	Receptores Hiper V Topcon (par)	Aluguel	4	1	250,00	1.000,00	150,00 (15%)	1.150,00	ShopTOP Geotecnologias
	Receptores Promark 500 (par)	Aluguel	4	1	150,00	600,00	90,00 (15%)	690,00	ShopTOP Geotecnologias
Custo Total Final	—	—	—	—	—	79.950,90	22.465,58	102.416,48	—

Fonte: O autor.

O custo total desta etapa foi estimado em R\$ 102.416,48 compatível com padrões de mercado para serviços de topografia de alta precisão e com a complexidade operacional envolvida. Por fim, entramos no orçamento final do projeto:

Tabela 10 - Orçamento total do projeto

Orçamento	Subtotal (R\$)	BDI 30% (R\$)	Custo Total Final (R\$)
Serviços de Engenharia e Transporte	79.950,90	22.465,58	102.416,48
Materiais e Mão de Obra do Concreto	3.865,00	141,75	4.006,75
Total Geral	83.815,90	22.607,33	106.423,23

Fonte: O autor.

Dessa forma, o custo total do projeto, somando todas as etapas, alcança R\$ 106.423,23. Este valor representa não apenas os insumos materiais e a mão de obra, mas também a execução de serviços especializados, utilização de equipamentos de ponta e gestão adequada de riscos e despesas indiretas, garantindo a qualidade técnica e a confiabilidade dos resultados.

2.6 Cronograma

O desenvolvimento deste trabalho seguiu um cronograma estruturado, que organizou as atividades desde a coleta de informações até a entrega final do produto. Inicialmente, nos meses de julho e agosto de 2025, foram realizadas a coleta de informações existentes e o planejamento da rede geodésica, etapas fundamentais para subsidiar o levantamento de campo. Ainda nesse período, entre agosto e setembro, foi executada a pré-análise da rede, na qual se estimaram as precisões esperadas das coordenadas, bem como foram calculadas as matrizes de covariância e de pesos, garantindo maior confiabilidade ao planejamento das linhas de base e dos marcos geodésicos.

No mês de setembro, ocorreu a apresentação do TCC 1, etapa destinada à validação do andamento do projeto e à consolidação das decisões metodológicas adotadas. Entre setembro e outubro, realizou-se o levantamento de campo dos vértices superiores, seguido, em outubro e novembro, pelo processamento, pré-análise, ajustamento e controle de qualidade dessas observações, com aplicação do método dos mínimos quadrados.

Na sequência, no mês de dezembro, foram executadas as atividades relacionadas aos vértices principais, compreendendo o levantamento de campo, o processamento, a pré-análise, bem como o ajustamento e o controle de qualidade das observações. Ainda nesse período, procedeu-se à elaboração do produto, englobando o relatório técnico e a monografia. Por fim, em dezembro, realizou-se a entrega do produto e a apresentação do TCC 2, consolidando todas

as etapas do trabalho. Dessa forma, o cronograma não apenas organiza o tempo de execução das atividades, mas também assegura a integração metodológica entre planejamento, levantamento, processamento e análise final.

Tabela 11 - Planejamento do cronograma do projeto

Meses	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Coleta de Informações Existentes	X	X				
Planejamento da Rede Geodésica	X	X				
Pré – Análise – Precisões esperadas		X	X			
Apresentação do TCC 1			X			
Levantamento de Campo VS			X	X		
Processamento e Pré Análise VS				X	X	
Ajustamento e Controle de Qualidade VS					X	
Levantamento de Campo VP						X
Processamento e Pré Análise VP						X
Ajustamento e Controle de Qualidade VP						X
Elaboração do Produto final - (Relatório Técnico e Monografias)						X
Entrega do Produto - (Relatório Técnico e Monografias)						X
Apresentação do TCC 2						X

Fonte: O autor.

3 RESULTADOS

3.1 Processamento das Linhas Bases

Após a etapa de campo, as linhas de base foram processadas no software *Magnet Tools*, disponibilizado pela Universidade Federal de Uberlândia para o processamento de dados GNSS. Como o *Magnet Tools* é um software proprietário da Topcon, não houve necessidade de converter os arquivos brutos do Hiper V RTK para o formato RINEX, que é um formato padrão e aberto utilizado para armazenar dados brutos observados por receptores GNSS, diferentemente do que ocorre quando se utiliza receptores ProMark 500 (Ashtech), cujos arquivos possuem formatos próprios não reconhecidos pelo Magnet. Nesses casos, a conversão para RINEX torna-se obrigatória. No presente trabalho, utilizou-se o padrão RINEX 2.11 a partir do qual foram gerados os arquivos. *.o* (observação), *.n* (efemérides GPS), *.g* (efemérides GLONASS).

Com os arquivos convertidos e as sessões dos vértices superiores devidamente separadas, definiu-se a estratégia de processamento das linhas de base. O software *Magnet Tools* possui uma interface simples, o que facilita a execução dessa etapa. Para o processamento, adotou-se um nível mínimo de confiança de 95%, sendo consideradas no ajustamento apenas as soluções que atendessem a esse critério, conforme estabelece a NBR 14.166/2022. As soluções que não atingissem esse nível de confiança demandariam a adoção de outra estratégia de processamento.

Definiu-se ainda o uso de uma máscara de elevação de 22° para as linhas de base mais longas e de 15° para as linhas de menor extensão. Essa escolha é justificada, pois as linhas longas são mais sensíveis a erros atmosféricos e a baixa correlação de observações realizadas com satélites em ângulos muito baixos. Como a própria NBR 14.166/2022 recomenda uma elevação mínima de 15°, adotou-se esse valor para as linhas curtas e um valor mais restritivo para as longas. Também ficou definido que seriam utilizadas apenas efemérides transmitidas, uma vez que as linhas de base processadas são curtas e no planejamento indicou comprimento máximo de 5,95 km, muito abaixo do limite de 100 km, a partir do qual a norma exige o uso de efemérides precisas. Quanto ao tempo de rastreamento, o período de 1 hora foi mantido mesmo para linhas curtas.

Por fim, utilizou-se os sistemas GPS e *GLONASS*, operando simultaneamente nas frequências L1 e L2. Ao integrar duas constelações, amplia-se significativamente o número de satélites observáveis ao longo da sessão, melhorando a geometria de observação e a redução do PDOP e aumentando a probabilidade de solução das ambiguidades. Além disso, o uso de duas

frequências (L1 e L2) possibilita a obtenção de uma solução mais robusta, uma vez que a solução final é determinada a partir da média entre as observações nessas frequências. Esse procedimento contribui para a melhoria da qualidade do posicionamento e para o aumento da confiabilidade das soluções obtidas, conforme discutido por Monico (2008).

De forma resumida, apresenta-se a seguir a tabela contendo todas as informações referentes à estratégia de processamento adotada neste trabalho, tanto para os vértices superiores (VS) quanto para os vértices principais (VP).

Tabela 12 - Síntese da estratégia de processamento das linhas de base GNSS

Aspecto avaliado	Estratégia / Decisão adotada	Justificativa Técnica
Software de Processamento	Magnet Tools (Topcon)	Compatibilidade direta com arquivos brutos dos receptores Topcon; interface simples.
Conversão para RINEX	Necessária somente para dados do ProMark 500 (Ashtech)	Formatos Ashtech não são aceitos pelo Magnet Tools. Utilizado RINEX 2.11.
Arquivos RINEX utilizados	.o, .n, .g, .m	Observação, efemérides GPS, efemérides GLONASS e dados meteorológicos.
Método de Processamento	Posicionamento relativo estático	Método recomendado para rede geodésicas conforme NBR 14.166/2022.
Critério de aceitação das soluções	Nível de confiança $\geq 0,95$ (95%)	Atende à exigência normativa; soluções abaixo exigem outra estratégia.
Máscara de elevação	22° - Linhas longas; 15° - Linhas curtas	Redução de efeitos atmosféricos em linhas longas; 15° atende exigência mínima da NBR.
Tamanho máx. das linhas de base	5,95 km	Abaixo do limite de 100 km, dispensando uso obrigatório de efemérides precisas.
Efemérides utilizadas	Efemérides transmitidas	Adequada para linhas curtas; menor complexidade de processamento.
Tempo de rastreio	1 hora para todas as sessões	Garante mas tempo de observação; excede o mínimo normativo.
Sistemas GNSS utilizados	GPS + GLONASS – Linhas longas	Aumenta a quantidade de satélites e melhora a geometria (redução do PDOP).
Frequências utilizadas	L1 + L2 (Dupla frequência) – Linhas longas L1 – Linhas curtas	Melhora a resolução das ambiguidades.

Fonte: O autor.

Com o processamento inicial da rede, seguindo os critérios previamente estabelecidos, verificou-se que 12 das 35 linhas de base independentes apresentaram resíduos superior ao esperado para as componentes estimadas. Diante dessas inconsistências, procedeu-se à análise dos resíduos no software *Magnet Tools* para identificar quais observações apresentavam comportamento incompatível com o modelo adotado.

As linhas de base que exibiram os maiores resíduos foram removidas do conjunto de dados, garantindo que essa eliminação não comprometesse a estrutura geométrica mínima necessária ao ajustamento. Em conformidade com a NBR 14.166/2022, cada vértice superior

como uma ferramenta preliminar de análise, uma vez que o ajustamento final da rede será conduzido pelo software MatlabR2024a, que é disponibilizado pela Universidade Federal de Uberlândia para trabalhos acadêmicos.

Concluído o processamento preliminar, a próxima etapa é a exportação dos arquivos contendo as observações nas componentes ΔX , ΔY e ΔZ , seus respectivos desvios-padrão σX , σY e σZ , bem como as covariâncias $CovXY$, $CovXZ$ e $CovYZ$. Esses arquivos serviram de base para a etapa de pré-análise e controle de qualidade da rede, na qual foram avaliados as linhas de base conhecidas e o erro de fechamento tridimensional. Embora a verificação de linhas base repetidas seja normalmente recomendada, nesse caso a análise tornou-se inviável, pois todas as linhas repetidas foram excluídas anteriormente durante o processo de remoção das observações com maiores resíduos.

3.2 Controle de Qualidade antes do Ajustamento: Linhas Bases Conhecidas

A partir das linhas de base definidas na etapa de planejamento, é possível avaliar as linhas de base conhecidas, especialmente entre o marco MGMT e o ponto SAT-99658 (SESI) instalado anteriormente por Rosa (2017). Dessa forma, é possível gerar linhas independentes entre os dois pontos. Essa estratégia possibilita verificar a integridade geométrica do ponto SESI, tratando-o como incógnita para fins de comparação e análise da consistência de suas coordenadas.

Conforme a NBR 14.166/2022, sempre que forem utilizados marcos do SGB para apoio, recomenda-se verificar sua coerência por meio de comparação com marcos da RBMC, respeitando tempos mínimos de rastreo. A diferença entre cada coordenada oficial do marco geodésico do SGB e a respectiva coordenada obtida por meio do posicionamento relativo em relação a um marco da RBMC não pode exceder ± 20 mm.

Neste trabalho, essa avaliação foi conduzida a partir de quatro ocupações realizadas no ponto SAT-99658 (SESI), previstas no planejamento das sessões destinadas à implantação dos vértices superiores. Além dessas ocupações vinculadas às sessões principais, foram executadas medições adicionais, em dias distintos e de forma independente, com o objetivo de analisar a consistência e a qualidade geométrica desse ponto de controle. Como resultado dessas análises, foram obtidos os valores apresentados na Tabela 13 a seguir para a coordenada no sistema cartesiano:

Tabela 13 - Análise das diferenças entre as coordenadas oficiais do ponto SESI e as coordenadas estimadas em (m)

Linha independente	Sessões	Dias dos rastreios	Tempo de rastreio	Coordenada estimada			Coordenada Oficial			Diferença na coordenada		
				X	Y	Z	X	Y	Z	diffX	diffY	diffZ
MGMT – SESI	3	07/10/2025	1h	4083950,892	4454180,242	2036085,866	4083950,891	4454180,242	2036085,852	0,001	0,000	0,014
MGMT – SESI	4	07/10/2025	1h	4083950,874	4454180,221	2036085,861	4083950,891	4454180,242	2036085,852	0,017	0,021	0,009
MGMT – SESI	5	07/10/2025	1h	408395,89	4454180,233	2036085,864	4083950,891	4454180,242	2036085,852	0,001	0,009	0,012
MGMT – SESI	6	08/10/2025	1h	4083950,899	4454180,232	2036085,872	4083950,891	4454180,242	2036085,852	0,008	0,010	0,020
MGMT – SESI	Independente	02/12/2025	1h	4083950,874	4454180,227	2036085,862	4083950,891	4454180,242	2036085,852	0,017	0,015	0,010

Fonte: O autor.

Conclui-se que a diferença tridimensional média obtida na análise da linha de base conhecida entre os vértices do SGB MGMT e SAT-99658 foi de aproximadamente 18 mm, valor compatível com a tolerância de 20 mm estabelecida pela norma. Embora o resultado esteja dentro do limite admissível, considera-se que o vértice SAT-99658 apresenta uma discrepância relevante, indicando a necessidade de investigações futuras para verificar a ocorrência de um possível deslocamento do ponto.

A partir deste estudo, torna-se viável a realização de análises adicionais, não apenas considerando o vértice SAT-99658 como incógnita, mas também avaliando o comportamento e a estabilidade do vértice MGMT, ampliando a compreensão da confiabilidade dos pontos de apoio utilizados.

3.3 Controle de Qualidade antes do Ajustamento: Erro de Fechamento

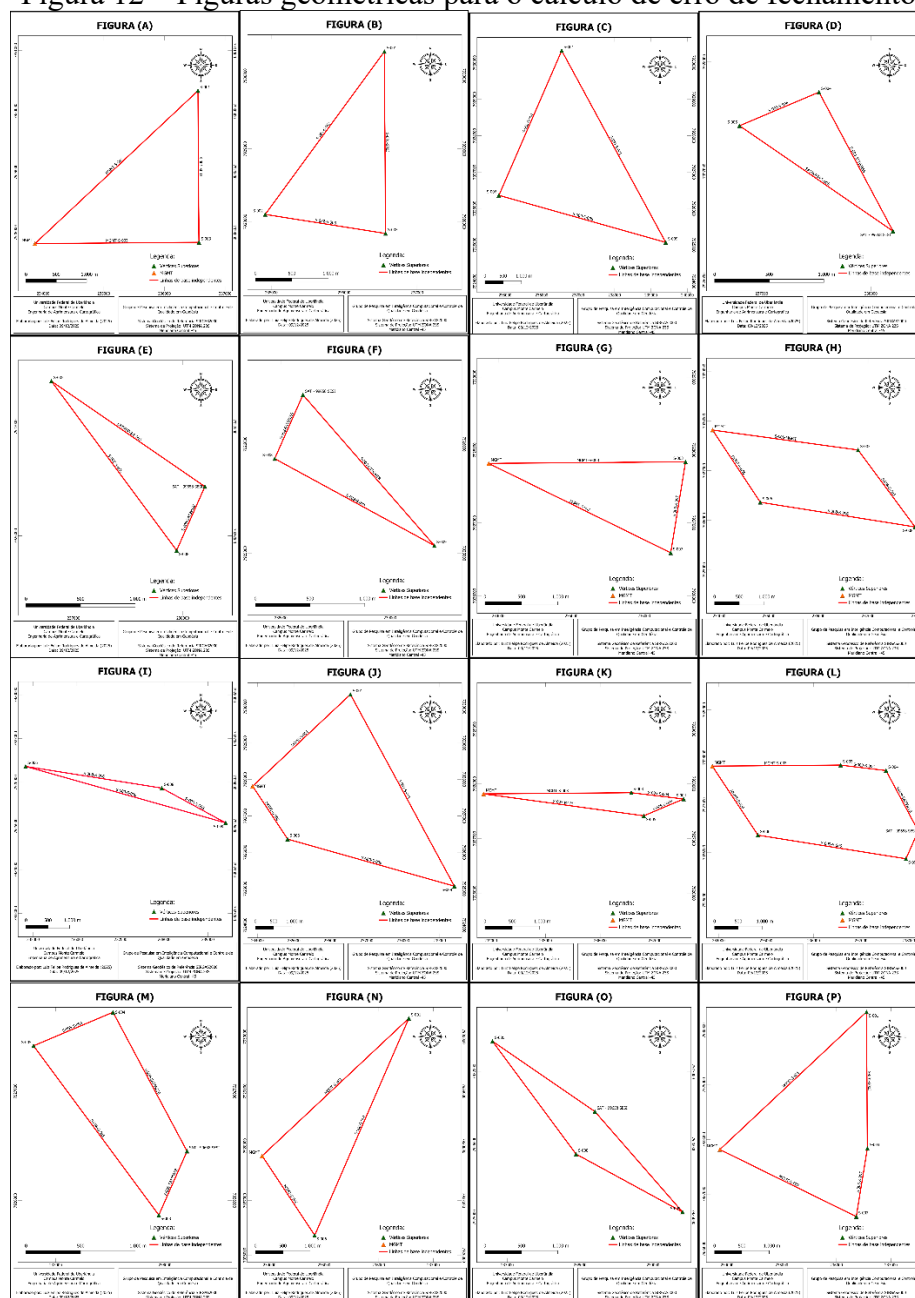
O controle de qualidade referente ao erro de fechamento tridimensional foi realizado a partir das observações exportadas na etapa anterior, considerando a rede já processada. Essa verificação antecede obrigatoriamente o ajustamento, conforme orienta a NBR 14.166/2022, e tem como finalidade identificar eventuais erros na geometria de fechamento entre as linhas de base.

De acordo com a norma, na estratégia de ajustamento em rede, cada conjunto de três linhas de base formando um triângulo deve apresentar um erro de fechamento tridimensional igual ou melhor que $\pm 10mm + 1ppm$. Esse limite deve ser aplicado a todas as combinações possíveis de polígonos de três lados presentes na rede GNSS, abrangendo tanto as figuras formadas exclusivamente pelos vértices superiores quanto aquelas que incluem linhas de base conhecidas, como no caso das conexões entre MGMT e SESI. A aplicação desse critério permitiu a identificação antecipada de quaisquer incompatibilidades entre as observações, garantindo que a geometria da rede e a precisão das linhas de base estivessem dentro dos padrões estabelecidos pela norma antes do início do ajustamento. Assim, o erro de fechamento

tridimensional atuou como um importante mecanismo de controle de qualidade, assegurando a coerência interna das observações utilizadas.

A figura a seguir apresenta a disposição espacial das 16 figuras geométricas avaliadas, cada uma composta por no mínimo três lados, juntamente com os vértices superiores correspondentes e a indicação do atendimento ou não aos limites estabelecidos pela norma. A análise contemplou tanto polígonos de maior extensão quanto figuras menores, permitindo uma compreensão abrangente do comportamento geométrico da rede e da consistência dos erros de fechamento tridimensionais.

Figura 12 – Figuras geométricas para o cálculo de erro de fechamento



Fonte: O autor.

A Tabela 14 a seguir apresenta a distribuição das 16 figuras geométricas analisadas, bem como os respectivos valores de erro associados a cada uma delas:

Tabela 14 - Análise do erro de fechamento

Figuras	Erro de fechamento (m)	Comprimento (m)	Tolerância (m)	Diferença em módulo	Situação	PPM (erro de fechamento / Comprimento) * 10 ⁶ em (mm)
A	0,02009	8879,519	0,01888	0,0012	Reprovado	2,262848
B	0,01589	6941,481	0,016941	0,0011	Aprovado	2,288993
C	0,03426	15071,474	0,025071	0,0092	Reprovado	2,272969
D	0,01439	3932,987	0,013933	0,0005	Reprovado	3,65956
E	0,01402	4250,974	0,014251	0,0002	Aprovado	3,298538
F	0,01217	4132,793	0,014133	0,0020	Aprovado	2,945708
G	0,01211	6745,972	0,016746	0,0046	Aprovado	1,794552
H	0,01796	9770,614	0,019771	0,0018	Aprovado	1,837858
I	0,01031	9574,736	0,019575	0,0093	Aprovado	1,077105
J	0,01767	16164,056	0,026164	0,0085	Aprovado	1,093414
K	0,01226	7417,252	0,017417	0,0052	Aprovado	1,653038
L	0,02369	10639,998	0,020640	0,0030	Reprovado	2,226222
M	0,01133	4790,803	0,014791	0,0035	Aprovado	2,364531
N	0,02216	9754,978	0,019755	0,0024	Reprovado	2,271558
O	0,01133	4790,803	0,014791	0,0035	Aprovado	2,364531
P	0,01404	10224,718	0,020225	0,0062	Aprovado	1,372752

Fonte: O autor.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 14, procedeu-se à análise individual de cada figura, considerando simultaneamente o erro de fechamento tridimensional, o limite de tolerância estabelecido pela NBR 14.166/2022 (10 mm + 1 ppm) e o valor de PPM (Partes por Milhão) correspondente.

Em relação ao erro de fechamento dos polígonos da rede, considerando os vértices superiores, o polígono de maior dimensão (~16 km) apresentou um erro tridimensional de aproximadamente 18 mm (~1 ppm), valor que permanece dentro da tolerância preconizada pela norma, calculada em cerca de 26 mm (10 mm + 1 ppm). Isso implica que para cada 1km existe um erro aproximado de 1 mm.

Complementarmente, a análise do ppm possibilita classificar a rede quanto à acurácia do posicionamento relativo segundo National Geodetic Survey (1986), indicando em quais categorias de trabalhos geodésicos a rede é adequada.

No contexto deste trabalho, o valor ppm apresentado na Tabela 14 indica, de forma direta, quantos milímetros de erro ocorrem a cada 1 quilômetro de extensão da figura analisada. Observando os resultados obtidos, verifica-se que os valores de PPM permanecem na ordem milimétrica, refletindo boa acurácia do posicionamento relativo. A maior discrepância

identificada corresponde à Figura D, cujo PPM indica um erro aproximado de 4 mm para cada 1 km, sendo o maior valor registrado entre todas as figuras analisadas.

3.4 Ajustamento da Rede GNSS

O ajustamento de observações permite estimar as coordenadas dos pontos da rede de forma consistente, considerando os erros e incertezas das medições. Este processo envolve o tratamento matemático das observações coletadas em campo, minimizando discrepâncias entre medidas observadas e valores ajustados. Dessa forma, utiliza-se a estimação dos parâmetros pelo método dos mínimos quadrados (MMQ), desenvolvido de modo independente por Legendre (1805) apud Klein (2014) e Gauss (1809) apud Klein (2014).

3.4.1 Vértices Superiores

No caso específico deste trabalho, o ajustamento envolve o conjunto de vértices superiores determinados por posicionamento relativo GNSS. Foram processadas 23 linhas de base, e cada linha de base fornece três componentes (ΔX , ΔY e ΔZ), totalizando 69 observações no vetor L (vetor de observações), que possui dimensão 69×1 . Além disso, utiliza-se também o vetor L_0 , formado pelas observações aproximadas: para pontos desconhecidos, atribuem-se valores nulos, enquanto as coordenadas conhecidas são inseridas diretamente com o sinal ajustado conforme a orientação da linha de base.

Ainda nesse contexto, a matriz A , correspondente às derivadas parciais das observações em relação aos parâmetros incógnitos, assume dimensão 69×27 , uma vez que o conjunto ajustado contém 27 parâmetros (coordenadas X , Y e Z dos nove pontos dos vértices superiores desconhecidos). Cada linha dessa matriz relaciona com cada componente (ΔX , ΔY ou ΔZ) e é influenciada pelas coordenadas dos pontos envolvidos na linha de base correspondente.

No MMQ, utilizou-se uma solução única que minimiza a soma ponderada dos quadrados dos resíduos, ou seja, das correções estimadas às observações como mostrado em (Klein, 2014). Para a implantação da atual RG, por exemplo, realizou-se um conjunto de observações que permitem estimar os parâmetros de interesse, além de sua precisão, por meio de um modelo matemático previamente conhecido que estabeleça a relação entre medidas e parâmetros. Esse modelo pode ser representado pela equação (9):

$$L = Ax \quad (7)$$

Em que:

L – vetor $n \times 1$ das observações;

A –matriz jacobiana (ou design) de $n \times u$;

x – vetor $u \times 1$ dos parâmetros incógnitos.

Em geral, a relação entre as medidas e os parâmetros incógnitos na equação (7) não é perfeita como diz (Bonimani, 2019). As medições exibem variações de natureza probabilística: se repetirmos a coleta de uma mesma grandeza, os resultados não coincidirão exatamente, mas ficarão concentrados em um intervalo de valores. Essas variações são tratadas como efeitos aleatórios e constituem uma característica intrínseca de qualquer processo de medida. A presença desses efeitos é amplamente discutida na literatura técnica por (Gemael, 1994).

Devido a tais variações, o sistema de equações torna-se redundante, mas não consistente. A redundância decorre da existência de observações adicionais além das estritamente necessárias para a solução, enquanto a inconsistência resulta das múltiplas soluções obtidas quando o número de observações é superior ao número mínimo exigido. Contudo, ao introduzir em cada equação um vetor de erros aleatórios (e), conforme equação (8), obtém-se um sistema consistente, porém com infinitas soluções (Dalmolin, 2002).

$$L = Ax + e \quad (8)$$

Nesse caso, o modelo expresso na equação (7) deixa de ser estritamente matemático e passa a ser estatístico, como definido em (8). A utilização de observações redundantes no ajustamento é necessária justamente por conta dessas variações probabilísticas, com dois principais propósitos: aumentar a acurácia das estimativas e identificar possíveis erros nas observações e nos modelos (Gemael, 1994).

Esses erros são geralmente classificados em três tipos: grosseiros, sistemáticos e aleatórios (Gemael, 1994). Os erros grosseiros ocorrem por falhas humanas ou experimentais e devem ser identificados para reduzir seus efeitos no ajustamento. Os sistemáticos podem ser minimizados por técnicas específicas. Já os aleatórios, de natureza puramente probabilística e sem causa conhecida, são inerentes ao processo de medição. Apenas estes últimos devem permanecer presentes no ajustamento.

O método mais utilizado na Geodésia para o ajustamento de observações é o MMQ, que tem como objetivo minimizar a soma dos quadrados dos erros aleatórios, ponderados pelos respectivos pesos das observações (Gemael, 1994), conforme a equação (9):

$$e^T P e = \text{Mínimo} \quad (9)$$

A matriz peso P é uma matriz $n \times n$ que representa a confiabilidade relativa das n observações usadas no ajustamento. Sua construção deriva diretamente da Matriz Variância-Covariância (MVC) das observações, representada por Σ_L . No contexto deste trabalho, a MVC possui dimensão 69×69 , organizada em blocos 3×3 correspondentes a cada conjunto de observações $\Delta X, \Delta Y$ e ΔZ . Em cada bloco, os termos da diagonal principal contêm as variâncias, isto é, os desvios-padrão das observações elevados ao quadrado (σ^2), enquanto os termos fora da diagonal representam as covariâncias entre as três componentes da linha de base:

$$\sum i = \begin{matrix} \sigma_{\Delta x}^2 & Cov_{XY} & Cov_{XZ} \\ Cov_{XY} & \sigma_{\Delta y}^2 & Cov_{YZ} \\ Cov_{XZ} & Cov_{YZ} & \sigma_{\Delta z}^2 \end{matrix} \quad (10)$$

A matriz Σ_L completa é composta por esses blocos na diagonal principal, e sua inversa fornece a matriz peso:

$$P = \Sigma_L^{-1} \quad (11)$$

Dessa forma a solução do ajustamento pelo MMQ, ou seja, do vetor dos parâmetros x é dado pelo vetor dos erros aleatórios correspondentes:

$$x = (A^T P A)^{-1} (A^T P L) \quad (12)$$

Com isso, se x_0 representa o vetor de parâmetros aproximados, a solução ajustada é obtida adicionando-se ao vetor de correções dos parâmetros aproximados, obtidos anteriormente na equação (12), logo obtemos o vetor de parâmetros ajustados:

$$x_a = x_0 + x \quad (13)$$

Após obter a solução ajustada x_a , é possível calcular as correções aplicadas às observações. Essas correções constituem o vetor dos erros estimados, usualmente representado por \hat{e} , definido como:

$$\hat{e} = L - Ax_a \quad (14)$$

Esses erros estimados representam as discrepâncias entre as observações e os valores ajustados e são fundamentais para a etapa de controle de qualidade, pois servem de base para os testes estatísticos aplicados posteriormente. Dessa forma fica montada a estratégia de ajustamento que posteriormente no controle de qualidade após o ajustamento serão utilizadas as respectivas matrizes.

3.4.2 Vértices Principais

No caso dos vértices principais, o ajustamento foi realizado por meio do método de irradiação dupla, aplicado individualmente a cada ponto. Diferentemente do procedimento adotado para os vértices superiores, no qual todas as observações foram ajustadas de forma conjunta, para os vértices principais cada ponto foi processado de maneira independente. Nesse procedimento, as observações GNSS foram realizadas duas vezes para cada vértice, utilizando diferentes pontos de referência, e as coordenadas finais foram determinadas a partir da média das soluções obtidas, garantindo maior confiabilidade ao posicionamento. Para cada ponto, foram utilizadas no mínimo duas observações, cada uma contendo as componentes ΔX , ΔY e ΔZ , totalizando seis componentes no vetor L . Para os vértices P-001 e P-008, nos quais foram obtidas três observações, o vetor L passou a conter nove componentes.

Conforme estabelece a NBR 14.166/2022, o ajustamento de vértices principais deve utilizar exclusivamente conexões com pontos conhecidos (vértices superiores ou SGBs). Assim, para estimar a coordenada de um vértice principal representado aqui pelo ponto P-X apenas como exemplo ilustrativo utilizam-se unicamente observações provenientes desses pontos de referência.

O vetor das observações aproximadas L_0 é composto apenas pelas coordenadas desses pontos de referência. A matriz de projeto A , nesse caso, assume dimensão 6×3 quando há duas observações, resultando em 3 graus de liberdade, e 9×3 quando há três observações, aumentando para 6 graus de liberdade, o que garante a condição mínima necessária para o ajustamento.

Em seguida, é construída a matriz de variâncias e covariâncias das observações (MVC), resultando em uma estrutura 6×6 ou 9×9 , cuja inversa compõe a matriz de pesos P . A partir disso, aplicam-se os procedimentos de ajustamento já apresentados anteriormente: determinação do vetor de correções x , obtenção das coordenadas ajustadas x_a e cálculo dos respectivos resíduos e erros. Todas essas etapas antecedem as verificações de controle de qualidade, que serão discutidas no próximo tópico.

3.5 Controle de Qualidade da Rede GNSS após o Ajustamento

O ajustamento da rede de vértices superiores foi realizado pelo Método dos Mínimos Quadrados. Para garantir a consistência estatística do ajustamento e a confiabilidade das coordenadas estimadas, foi aplicado um fluxo clássico de diagnóstico estatístico, para o tratamento de um conjunto de dados contaminado por *outliers* e que vêm sendo frequentemente utilizadas nos princípios de confiabilidade (Baarda, 1968; Rofatto; Matsuoka; Klein, 2017) e aplicados em trabalhos que utilizam as redes geodésicas como Bonimani, (2017).

3.5.1 Vértices Superiores

Na fase de detecção, emprega-se inicialmente o Teste Global, que avalia se o conjunto de observações, está de acordo com o modelo matemático e estocástico adotado. Esse teste, no entanto, não aponta onde está o problema, apenas informa se existe alguma inconsistência estatisticamente significativa no ajustamento. Considerando que todos os cuidados operacionais em campo foram devidamente seguidos, é comum que, em redes GNSS, aconteça eventualmente que uma inconsistência esteja relacionada ao modelo estocástico, isto é, à forma como as precisões das linhas de base foram atribuídas ou ponderadas no ajustamento. A estatística é definida pela equação 15:

$$Tq = \hat{e}^T P \hat{e} \quad (15)$$

A aprovação desse teste indica que o conjunto de observações é compatível com o modelo, enquanto sua reprovação conduz à necessidade de uma análise mais refinada. Quando o Teste Global rejeita a hipótese de ausência de erros, torna-se necessário identificar quais observações são responsáveis pela inconsistência.

O valor crítico do teste é obtido por:

$$T_{q,crit} = \chi^2_{1-\alpha, n-u} \quad (16)$$

Considerando um nível de significância de $\alpha = 0,05$ para a rede de vértices superiores analisada, obteve-se: $Tq = 245,373203$ e $T_{q,crit} = 58,124038$.

Como $Tq > T_{q,crit}$, a hipótese nula foi rejeitada, indicando que o ajustamento apresenta inconsistências, associadas a presença de erros no modelo. Esse resultado implica a aplicação de testes locais para identificação individual de possíveis *outliers*, conforme proposto por (Baarda, 1968) e discutido por (Rofatto, 2020).

Após a rejeição do teste global do ajustamento, procedeu-se à estimativa da variância a posteriori, que permite avaliar o nível real de dispersão dos resíduos em relação ao modelo ajustado. A variância a posteriori é calculada por:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\hat{\mathbf{e}}^T P \hat{\mathbf{e}}}{n - u} \quad (17)$$

No caso da rede analisada, obteve-se $\hat{\sigma}_0^2 = 5,8422$. Esse valor implica que a variância observada é significativamente maior à variância a priori representada pelo sigma a priori inicialmente calculado de forma que ao aplicar na matriz de variância e covariância das observação ela é reestimada:

$$\Sigma_L^{novo} = \hat{\sigma}_0^2 \Sigma_L \quad (18)$$

Como consequência a matriz peso também é reestimada e essa atualização garante que os testes a seguir sejam realizados em um modelo estocástico a um nível mais realista e menos otimista em relação aos dados. Caso o teste global indique a presença de inconsistências, procede-se à fase de identificação, na qual se aplicam testes individuais, como o *Data Snooping*, para localizar a linha de base responsável pela discrepância. Uma vez identificado o outlier, a observação correspondente é removida, e um novo ajustamento é realizado, atualizando os resíduos, as ponderações e a matriz de covariâncias conforme descrito por autores como (Klein, 2014).

$$w_i = \frac{c_i^T P \hat{e}}{\sqrt{c_i^T P \Sigma_L P c_i}} \quad (19)$$

Em que c_i é o vetor associado à i -ésima da observação. O valor crítico para a estatística w_i é obtido a partir da distribuição normal padrão, com correção de Bonferroni:

$$w_{crit} = \Phi^{-1}\left(1 - \frac{\alpha}{2n}\right) \quad (20)$$

Sendo Φ^{-1} a função inversa da distribuição normal padrão. De acordo com Baarda (1968) e Teunissen (2006), uma observação é considerada outlier quando $w_i > w_{crit}$, desde que não ocorra empate estatístico com outras observações. No nosso caso, não foram identificados *outliers*, mesmo com a aplicação iterativa do procedimento. A cada iteração, a observação associada ao maior valor de w_i era temporariamente removida do conjunto de dados, preservando-se seu índice original.

Em seguida, o sistema era reajustado, com reestimação dos parâmetros, dos resíduos e das estatísticas de teste. Esse processo foi repetido até que todas as estatísticas individuais atendessem à condição $w_i < w_{crit}$ ou até a ocorrência de empate estatístico. Como nenhum outlier foi detectado ao longo das iterações, os parâmetros finais foram estimados, e a matriz de covariância a posteriori das incógnitas foi então definida como:

$$\Sigma_{\hat{x}} = (A^T P A)^{-1} \quad (21)$$

Os desvios padrão das coordenadas ajustadas foram calculados a partir da diagonal da matriz:

$$\sigma_{\hat{x}_i} = \sqrt{\text{diag}(\Sigma_{\hat{x}})} \quad (22)$$

Onde diag é o operador que extrai somente os elementos da diagonal principal da matriz de covariância $\Sigma_{\hat{x}}$. Esses valores representam a precisão final das coordenadas dos vértices superiores da rede, após a aplicação completa do controle de qualidade estatístico. Com o objetivo de integrar pontos de controle ao ajustamento da rede, foi adotado um modelo que introduz uma matriz G que corresponde a uma expansão da matriz de coeficientes do modelo clássico (Matriz A), incorporando, em suas últimas colunas, as coordenadas dos pontos de

controle. Essa aplicação permite que a diferença entre as coordenadas dos vértices e pontos de controle sejam modeladas o que possibilita a propagação adequada das incertezas associadas a esses pontos, como definido pela NBR 14.166/2022. As precisões dos pontos de controle são representadas por suas respectivas MVCs, às quais também é acrescida a MVC das observações. A matriz de covariância aumentada do sistema é definida pela equação (23) como:

$$\Sigma_{aug} = \begin{bmatrix} \Sigma_L & 0 \\ 0 & \Sigma_{pt} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Onde Σ_L representa a MVC das observações da rede e Σ_{pt} corresponde à matriz bloco-diagonal contendo as MVCs dos pontos de controle MGMT e SESI. A partir dessa matriz, obtém-se a matriz de pesos expandida: $P_{aug} = \Sigma_{aug}^{-1}$. O ajustamento é então realizado pelo MMQ, utilizando o modelo funciona expandido, resultando na matriz de covariância das incógnitas expandida:

$$Q_{\hat{x}_{aug}} = (G^T P_{aug} G)^{-1} \quad (24)$$

A partir dessa matriz, são extraídas as precisões a posteriori das coordenadas ajustadas, obtidas pela raiz quadrada dos elementos da diagonal principal de $Q_{\hat{x}_{aug}}$. Por fim, o vetor de incógnitas ajustadas é calculado por:

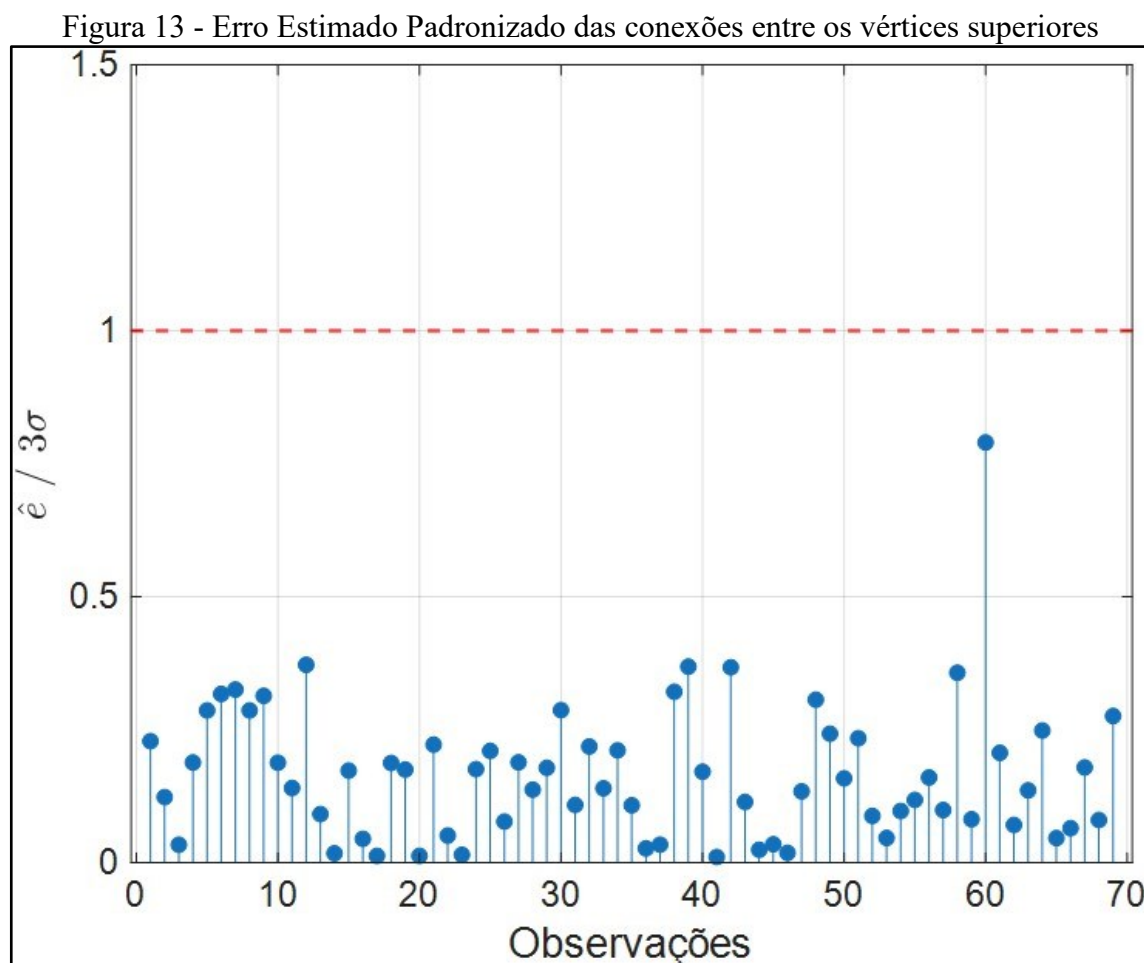
$$\hat{x}_{aug} = (Q_{\hat{x}_{aug}} G^T P_{aug} l_{aug})^{-1} \quad (25)$$

Onde l_{aug} é o vetor de observações estendido com termos nulos associados às restrições impostas aos pontos de controle. Após a aplicação desses critérios é realizada a avaliação dos resíduos após a propagação dos erros estimados em relação ao valor e posteriormente calcula-se o erro estimado padronizado (\hat{e}_p), dado pela seguinte relação:

$$\hat{e}_p = \frac{\hat{e}}{3\sigma} \quad (26)$$

Nesse contexto, 3σ representa três vezes o desvio-padrão associado à componente analisada, servindo como um limite estatístico para identificar valores que se afastam significativamente do comportamento esperado. Com base nesse critério, é possível visualizar

o erro estimado padronizado para os vértices superiores, conforme mostrado no gráfico da figura 13:



Fonte: O autor.

Uma vez que, conforme apresentado anteriormente, a matriz G foi construída de modo a incorporar os pontos de controle como incógnitas adicionais no modelo de ajustamento, tornou-se possível não apenas avaliar suas coordenadas ajustadas, mas também estimar as respectivas precisões associadas. Após o cálculo do erro estimado padronizado, procedeu-se à sua avaliação segundo o critério normativo adotado, o qual estabelece que o erro estimado padronizado não deve exceder o valor unitário. De forma equivalente, define-se que o erro estimado não pode ser superior a três vezes o seu respectivo desvio padrão, assegurando a consistência estatística das observações utilizadas no ajustamento. Atendido esse critério, procede-se à determinação das coordenadas no sistema cartesiano, bem como das precisões associadas a cada componente. A Tabela a seguir apresenta as coordenadas ajustadas e suas respectivas precisões, incluindo os pontos de controle incorporados ao modelo.

Tabela 15 - Coordenadas ajustadas dos VS no sistema geocêntrico

Vértices Superiores	X	Y	Z	σX (mm)	σY (mm)	σZ (mm)	σX (m)	σY (m)	σZ (m)
S-001	4083615,9637	-4456171,6822	-2032382,7482	4,1	4,7	2,8	0,004	0,005	0,003
S-002	4081917,7470	-4456789,6354	-2034484,2551	4,4	4,9	3,0	0,004	0,005	0,003
S-003	4083047,2455	-4455583,0897	-2034741,9230	4,1	4,6	2,8	0,004	0,005	0,003
S-004	4083736,3690	-4454922,2413	-2034869,7776	7,8	9,0	4,5	0,008	0,009	0,005
S-005	4083118,7906	-4455332,2704	-2035159,1399	6,8	7,6	4,6	0,007	0,008	0,005
S-006	4081456,6859	-4456454,4974	-2036126,6488	7,2	7,7	4,5	0,007	0,008	0,005
S-007	4082628,753	-4455454,225	-2035928,090	4,4	5,0	3,2	0,004	0,005	0,003
S-008	4083629,035	-4454223,455	-2036635,745	6,1	6,5	3,7	0,006	0,007	0,004
S-009	4084545,925	-4453078,432	-2037420,866	6,1	6,7	3,9	0,006	0,007	0,004
RBMC (MGMT)	4081095,413	-4457449,215	-2034743,264	1,9	1,9	1,0	0,002	0,002	0,001
SAT 99658	4083950,890	-4454180,241	-2036085,857	5,7	6,2	3,5	0,006	0,006	0,004

Fonte: O autor.

Ao implementar de forma manual o código para os resultados, aplicamos também a transformação das coordenadas do sistema geocêntrico para o sistema geodésico obtendo assim as coordenadas em latitude (φ), longitude (λ) e altitude (h) seguindo as equações apresentados no trabalho de (Abreu, 2017). Dessa forma, a Tabela 16 apresenta as coordenadas transformadas para o sistema geodésico:

Tabela 16 - Coordenadas ajustadas do (VS) no Sistema Geodésico

Vértices Superiores	latitude (φ)	longitude (λ)	altitude (h)	σ latitude (φ) (mm)	σ longitude (λ) (mm)	σ altitude (h) (mm)	σ latitude (φ) (m)	σ longitude (λ) (m)	σ altitude (h) (m)
S-001	-18°42'6.13494"	-47°29'52.78070"	875,402	2,2	2,4	6,0	0,002	0,002	0,006
S-002	-18°43'18.07626"	-47°30'49.76046"	894,605	2,4	2,6	6,3	0,002	0,003	0,006
S-003	-18°43'27.33402"	-47°29'53.51885"	857,364	2,3	2,5	5,9	0,002	0,002	0,006
S-004	-18°43'31.49674"	-47°29'20.94014"	877,991	3,7	4,6	11,3	0,004	0,005	0,011
S-005	-18°43'41.60928"	-47°29'45.93480"	861,963	3,2	3,5	10,2	0,003	0,003	0,010
S-006	-18°44'14.48930"	-47°30'53.63957"	893,008	3,3	3,7	10,4	0,003	0,004	0,010
S-007	-18°44'7.80889"	-47°30'1.07827"	880,512	2,5	2,7	6,4	0,003	0,003	0,006
S-008	-18°44'32.01918"	-47°29'7.52323"	888,676	2,5	3,0	8,8	0,002	0,003	0,009
S-009	-18°44'58.53926"	-47°28'18.04040"	928,671	2,7	3,3	8,9	0,003	0,003	0,009
RBMC (MGMT)	-18°43'26.77267"	-47°31'25.66204"	912,469	1,1	1,9	1,9	0,001	0,002	0,002
SAT 99658	-18°44'13.14571"	-47°28'58.42880"	887,828	2,3	2,8	8,4	0,002	0,003	0,008

Fonte: O autor.

Conforme discutido por Monico (2008) e Hofmann-Wellenhof et al. (2008), a altitude geodésica tende a apresentar desvios padrão superiores aos da planimetria, uma vez que corresponde à componente radial da posição, definida ao longo da normal ao elipsóide, sendo mais sensível à propagação dos erros presentes nas coordenadas cartesianas (X, Y, Z).

A etapa seguinte consiste na transformação das coordenadas para o sistema geodésico local, com o objetivo de auxiliar na execução de levantamentos topográficos. Esse sistema viabiliza a utilização de estação total em trabalhos de caráter local, tornando-se essencial para aplicações práticas de campo. Nesse contexto, a densificação da rede por meio de pontos próximos é fundamental, pois garante o suporte necessário a operações topográficas, como o transporte de coordenadas. Esse procedimento é realizado a partir de duas coordenadas conhecidas, permitindo a determinação de outras duas coordenadas, caracterizando uma poligonal enquadrada. As orientações para essa transformação também seguiram o trabalho de (Abreu, 2017). A transformação é apresentada na equação (28):

$$\begin{bmatrix} e \\ n \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{sen}\lambda_0 & \cos\lambda_0 & 0 \\ -\text{sen}\varphi_0\cos\lambda_0 & -\text{sen}\varphi_0\text{sen}\lambda_0 & \cos\varphi_0 \\ \cos\varphi_0\cos\lambda_0 & \cos\varphi_0\text{sen}\lambda_0 & \text{sen}\varphi_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (28)$$

onde:

φ_0 e λ_0 são as Coordenadas Geodésicas Curvilíneas do ponto de origem do SGL, dado que no trabalho é utilizado o ponto médio da rede como o ponto de origem do SGL.

X_0, Y_0 e Z_0 são as Coordenadas Geodésicas Cartesianas Geocêntricas do ponto de origem do SGL;

X, Y e Z são as Coordenadas Geodésicas Cartesianas Geocêntricas do ponto a ser transformado.

O ponto de origem foi definido no ponto médio da rede, considerando que o Sistema Geodésico Local deve ser utilizado exclusivamente como sistema de projeção planimétrica, enquanto a altimetria deve seguir o referencial vertical estabelecido pelo SGB. Conforme a NBR 13.133/2021, o Sistema Geodésico Local deve atender aos seguintes requisitos: as coordenadas topográficas plano-retangulares convencionais da origem devem ser fixadas em $y_0 = 250\,000\text{ m}$ e $x_0 = 150\,000\text{ m}$; além disso, a diferença máxima de altitude entre os pontos de maior e menor cota na área de abrangência deve ser inferior a 150 m. No caso desse trabalho, a variação máxima foi de $\sim 71\text{ m}$ estando dentro dos critérios exigidos.

Tabela 17 - Ponto médio de origem do SGL

Pontos	Ponto médio no sistema geocêntrico			Ponto médio em latitude e longitude		Ponto médio sistema geodésico local	
	X, Y, Z			longitude		x_0, y_0	
Ponto	X_0	Y_0	Z_0	(φ_0)	longitude (λ_0)	x_0	y_0
médio	4082976,6196	-4455421,7256	-2035325,3013	-18°43'47,03876"	-47°29'51,57337"	150000,000	250000,000

Fonte: O autor.

Dessa forma segue as coordenadas transformadas para o sistema geodésico local e seus respectivos desvios padrões:

Tabela 18 - Coordenadas dos (VS) no Sistema Geodésico local

Vértices Superiores	x_0 (m)	y_0 (m)	z (m)	σx_0 (mm)	σy_0 (mm)	σz (mm)	σx_0 (m)	σy_0 (m)	σz (m)
S-001	149964,670	253102,969	875,402	1,6	1,5	6,0	0,002	0,002	0,006
S-002	148295,159	250890,622	894,605	1,7	1,6	6,3	0,002	0,002	0,006
S-003	149943,048	250606,007	857,364	1,6	1,6	5,9	0,002	0,002	0,006
S-004	150897,587	250477,980	877,991	3,7	2,9	11,3	0,004	0,003	0,011
S-005	150165,253	250167,028	861,963	2,5	2,5	10,2	0,003	0,003	0,010
S-006	148181,668	249155,840	893,008	2,8	2,6	10,4	0,003	0,003	0,010
S-007	149721,578	249361,358	880,512	1,9	1,9	6,4	0,002	0,002	0,006
S-008	151290,569	248616,819	888,676	1,8	1,6	8,8	0,002	0,002	0,009
S-009	152740,147	247801,123	928,671	2,2	1,9	8,9	0,002	0,002	0,009
RBMC (MGMT)	147243,268	250623,073	912,469	1,6	1,6	1,9	0,002	0,002	0,002
SAT 99658	151557,053	249197,181	887,828	1,7	1,4	8,4	0,002	0,001	0,008

Fonte: O autor.

Por fim, seguindo as recomendações apresentadas por Abreu (2017), foi desenvolvido o código responsável pela conversão das coordenadas do sistema geodésico para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), no fuso 23S. A projeção UTM é amplamente utilizada em aplicações cartográficas e topográficas por empregar um sistema métrico plano, o que facilita a representação, o cálculo de distâncias e a integração com levantamentos de campo. Essa projeção baseia-se na divisão da superfície terrestre em fusos longitudinais de 6°, minimizando as deformações dentro de cada fuso. Como resultado, obtiveram-se as coordenadas no sistema UTM.

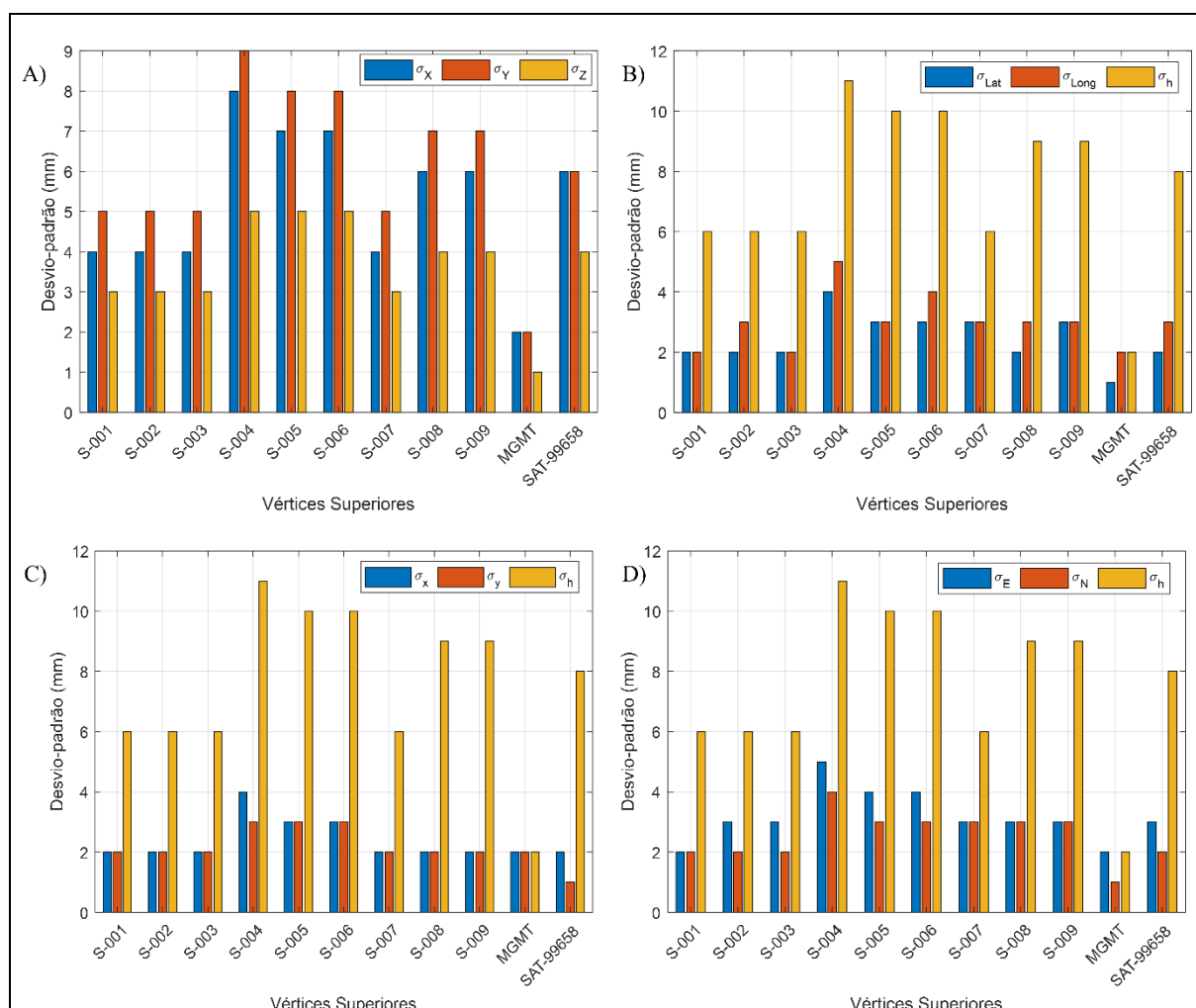
Tabela 19 - Coordenadas dos (VS) na Projeção Universal Transversa de Mercator

Vértices Superiores	E (m)	N (m)	h (m)	σE (mm)	σN (mm)	σh (mm)	σE (m)	σN (m)	σh (m)
S-001	236554,64	7930335,567	875,402	2,4	2,2	6	0,002	0,002	0,006
S-002	234915,719	7928099,346	894,605	2,6	2,4	6,3	0,003	0,002	0,006
S-003	236567,965	7927837,75	857,364	2,5	2,3	5,9	0,003	0,002	0,006
S-004	237524,506	7927723,062	877,991	4,6	3,7	11,3	0,005	0,004	0,011
S-005	236796,369	7927401,785	861,963	3,5	3,2	10,2	0,004	0,003	0,010
S-006	234826,506	7926362,575	893,008	3,7	3,3	10,4	0,004	0,003	0,010
S-007	236363,884	7926589,72	880,512	2,7	2,5	6,4	0,003	0,003	0,006
S-008	237943,65	7925867,012	888,676	3	2,5	8,8	0,003	0,003	0,009
S-009	239404,947	7925071,487	928,671	3,3	2,7	8,9	0,003	0,003	0,009
RBMC (MGMT)	233867,337	7927817,001	912,469	1,9	1,1	1,9	0,002	0,001	0,002
SAT 99658	238202,056	7926451,231	887,828	2,8	2,3	8,4	0,003	0,002	0,008

Fonte: O autor.

Após a geração das tabelas, torna-se possível avaliar a distribuição das precisões das coordenadas por meio de representações gráficas, sendo apresentados: (A) as precisões no sistema geocêntrico, (B) as precisões no sistema geodésico, (C) as precisões no sistema geodésico local e, por fim, (D) as precisões no sistema UTM.

Figura 14 - Precisões dos vértices superiores em diferentes sistemas de coordenadas



Fonte: o Autor.

Com os resultados obtidos, torna-se possível prosseguir para a etapa de controle de qualidade dos vértices principais. Essa etapa é diretamente dependente das anteriores, uma vez que as análises são realizadas de forma encadeada. Para os vértices principais, utiliza-se a coordenada oficial do marco dos vértices superiores S-007 como referência. Já o cálculo do sistema geodésico local depende da determinação do ponto médio da rede, considerando que os vértices principais (VPs) estão inseridos conjuntamente com a rede dos vértices superiores (VS).

3.5.2 Vértices Principais

A etapa referente aos vértices principais foi conduzida com a mesma sequência metodológica aplicada aos vértices superiores. A única diferença prática é que as análises foram realizadas de forma individual para cada (VP): cada vértice principal foi ajustado separadamente, considerando apenas as observações a ele associadas (P-001, P-002, P-003, ...), o que permite avaliar de forma mais detalhada o comportamento estatístico específico de cada ponto.

Como resultado desse procedimento individualizado, foram obtidas 11 soluções independentes, cada uma acompanhada de sua estatística global T_q , do respectivo valor crítico $T_{q,crit}$ (calculado a partir da equação: $\chi^2_{1-\alpha, f}$) e do sigma a posteriori $\hat{\sigma}_0^2$. Os resultados estão resumidos na Tabela abaixo:

Tabela 20 - Estatísticas do controle de qualidade e sigma a posteriori dos vértices principais

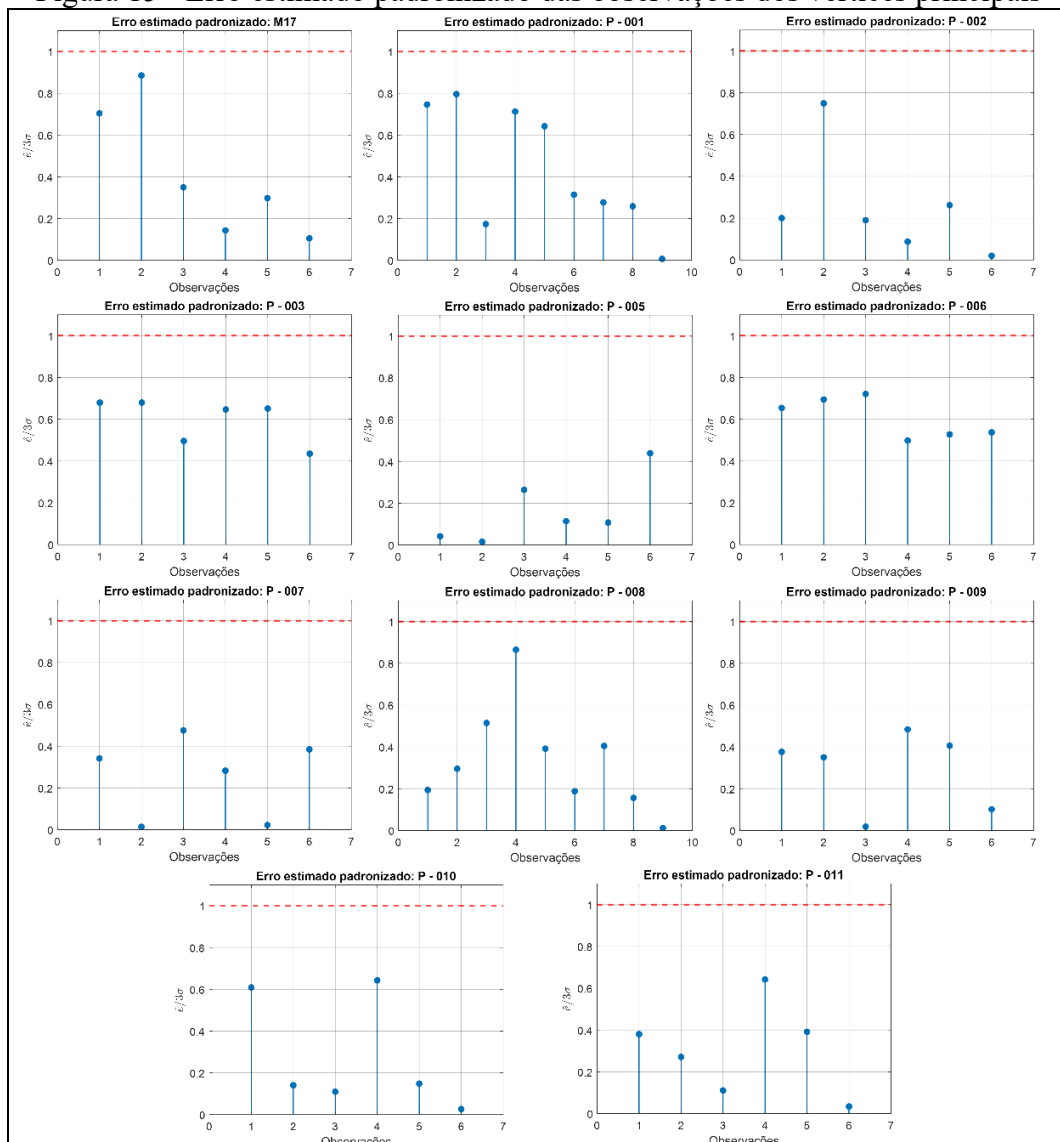
PONTOS	T_q	$T_{q,crit}$	$\hat{\sigma}_0^2$
P-001	10,93991	12,59158	1,82332
P-002	0,869471	7,81472	0,28982
P-003	16,06139	7,81472	5,35379
P-005	10,03939	7,81472	3,34646
P-006	14,75708	7,81472	4,91903
P-007	44,35286	7,81472	14,78429
P-008	17,04575	12,59158	4,824672
P-009	3,88902	7,81472	1,296342
P-010	7,36301	7,81472	2,454339
P-011	10,05175	7,81472	3,350587
M17	25,75886	7,81472	8,5863

Fonte: O autor.

Diante desses resultados, os valores críticos $T_{q,crit}$ de P-001 e P-008 aumentaram em relação aos demais pontos devido a inclusão de mais observações, o que altera os graus de liberdade ($f = n - u$) e, por consequência, o valor crítico da distribuição χ^2 . Nos demais vértices, a quantidade de observações foi padronizada, mantendo-se o mesmo $T_{q,crit}$. Mesmo em casos em que o $T_q < T_{q,crit}$ (nesse caso, sem rejeição do teste global para aquele vértice), aplicou-se o $\hat{\sigma}_0^2$ para reestimar a MVC. Dessa forma, reestimando Σ_L por $\Sigma_L^{novo} = \hat{\sigma}_0^2 \Sigma_L$ garante que o modelo estocástico passe a refletir o nível real de dispersão observado nos resíduos, produzindo estatísticas e precisões mais realistas para as etapas subsequentes (padronização dos

resíduos, cálculo de w_i , e determinação das precisões das coordenadas). Dessa forma, mantém-se o padrão utilizado nos vértices superiores, para os quais a MVC original também foi reestimada. Após a aplicação desses critérios é realizada a avaliação dos resíduos após a propagação dos erros estimados em relação ao valor e posteriormente calcula-se o erro estimado padronizado, dessa forma é possível visualizar o erro de estimado padronizado a partir do seguinte gráfico para os vértices principais:

Figura 15 - Erro estimado padronizado das observações dos vértices principais



Fonte: O autor.

Mediante a análise dos erros padronizado apresentados para os vértices principais, observa-se que todos os valores permanecem inferiores ao limite = 1, representado pela linha tracejada vermelha nas figuras. Esse comportamento indica que a relação adotada para o controle estatístico das observações está sendo plenamente atendida, não havendo indícios de

erros grosseiros ou observações inconsistentes ao nível de confiança considerado. A ausência de valores superiores a 3σ demonstra que nenhuma observação pode ser classificada como outlier, dispensando a necessidade de eliminação ou reponderação de dados no processo de ajustamento.

Dessa forma ao fim da aplicação do controle de qualidade foram determinadas as coordenadas nos respectivos sistemas adotados para os vértices superiores sendo um deles o Sistema geocêntrico apresentado na tabela a seguir:

Tabela 21 - Coordenadas ajustadas dos (VP) no Sistema Geocêntrico

Vértices Principais	X	Y	Z	σX (mm)	σY (mm)	σZ (mm)	σX (m)	σY (m)	σZ (m)
P-001	4083635,451	-4456143,652	-2032401,730	3,5	3,6	2,0	0,004	0,004	0,002
P-002	4081943,448	-4456777,426	-2034457,787	9,4	7,3	5,6	0,009	0,007	0,006
P-003	4083058,552	-4455540,695	-2034807,353	11,8	12,2	7,4	0,012	0,012	0,007
P-005	4083111,365	-4455347,570	-2035141,320	7,1	8,1	5,3	0,007	0,008	0,005
P-006	4081440,104	-4456472,266	-2036119,368	13,6	13,4	8,8	0,014	0,013	0,009
P-007	4082709,282	-4455385,467	-2035915,149	10,1	9,5	7,0	0,010	0,010	0,007
P-008	4083652,277	-4454191,585	-2036662,402	6,1	6,4	3,6	0,006	0,006	0,004
P-009	4084519,755	-4453105,529	-2037409,151	8,1	8,7	6,4	0,008	0,009	0,006
P-010	4083039,708	-4455457,265	-2035022,571	9,9	12,8	7,6	0,010	0,013	0,008
P-011	4082992,304	-4455484,568	-2035061,580	7,8	6,4	5,1	0,008	0,006	0,005
M17	4083977,56	-4454173,72	-2036045,28	9,3	6,8	5,2	0,009	0,007	0,005

Fonte: O autor.

Após a aplicação da transformação das coordenadas do sistema geocêntrico para o sistema geodésico, obtiveram-se os valores correspondentes em latitude, longitude e altitude elipsoidal. Os resultados desse procedimento, bem como as precisões associadas, encontram-se apresentados na tabela a seguir:

Tabela 22 - Coordenadas ajustadas do (VP) no Sistema Geodésico

Vértices Principais	latitude (φ)	longitude (λ)	altitude (h)	σ latitude (φ) (mm)	σ longitude (λ) (mm)	σ altitude (h) (mm)	σ latitude (φ) (m)	σ longitude (λ) (m)	σ altitude (h) (m)
P-001	-18°42'6,79783"	-47°29'51,64418"	874,385	1,7	2,3	4,6	0,002	0,002	0,005
P-002	-18°43'17,17386"	-47°30'48,83215"	894,023	3,6	4,9	11,6	0,004	0,005	0,012
P-003	-18°43'29,59570"	-47°29'52,25678"	856,001	5,3	6,1	16,7	0,005	0,006	0,017
P-005	-18°43'40,99507"	-47°29'46,47448"	862,172	4,0	5,2	10,0	0,004	0,005	0,010
P-006	-18°44'14,24520"	-47°30'54,46659"	892,472	6,4	6,5	18,9	0,006	0,007	0,019
P-007	-18°44'7,37158"	-47°29'57,46623"	879,871	5,1	4,7	13,9	0,005	0,005	0,014
P-008	-18°44'32,92140"	-47°29'6,20333"	889,869	3,3	4,3	7,9	0,003	0,004	0,008
P-009	-18°44'58,15470"	-47°28'19,32393"	927,063	4,7	4,8	11,7	0,005	0,005	0,012
P-010	-18°43'36,99901"	-47°29'50,80711"	854,785	5,4	7,7	15,2	0,005	0,008	0,015
P-011	-18°43'38,32462"	-47°29'52,62952"	856,040	3,2	3,8	10,1	0,003	0,004	0,010
M17	-18°44'11,75801"	-47°28'57,60756"	887,3134	3,6	5,6	10,7	0,004	0,006	0,011

Fonte: O autor.

A etapa seguinte consiste na conversão das coordenadas para o sistema geodésico local. Esse sistema é definido a partir das coordenadas de referência nos sistemas geocêntrico e geodésico, tomando como origem o ponto médio da rede, o mesmo previamente adotado para os vértices superiores:

Tabela 23 - Coordenadas dos (VP) no Sistema Geodésico Local

Vértices Principais	x_0 (m)	y_0 (m)	z (m)	σx_0 (mm)	σy_0 (mm)	σz (mm)	σx_0 (m)	σy_0 (m)	σz (m)
P-001	149997,975	253082,585	874,385	2,0	1,5	4,6	0,002	0,002	0,005
P-002	148322,356	250918,373	894,023	2,9	2,1	11,6	0,003	0,002	0,012
P-003	149980,027	250536,459	856,001	3,9	3,5	16,7	0,004	0,004	0,017
P-005	150149,442	250185,916	862,172	2,6	2,2	10,0	0,003	0,002	0,010
P-006	148157,438	249163,344	892,472	4,0	4,1	18,9	0,004	0,004	0,019
P-007	149827,403	249374,808	879,871	2,9	3,3	13,9	0,003	0,003	0,014
P-008	151329,236	248589,071	889,869	2,0	1,8	7,9	0,002	0,002	0,008
P-009	152702,546	247812,956	927,063	2,1	2,6	11,7	0,002	0,003	0,012
P-010	150022,501	250308,799	854,785	4,5	3,2	15,2	0,005	0,003	0,015
P-011	149969,106	250268,035	856,040	2,8	2,3	10,1	0,003	0,002	0,010
M17	151581,117	249239,852	887,313	3,3	1,8	10,7	0,003	0,002	0,011

Fonte: O autor.

Por fim, seguindo as recomendações apresentadas por Abreu (2017), aplicou-se a conversão das coordenadas do sistema geodésico para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), no fuso 23S.

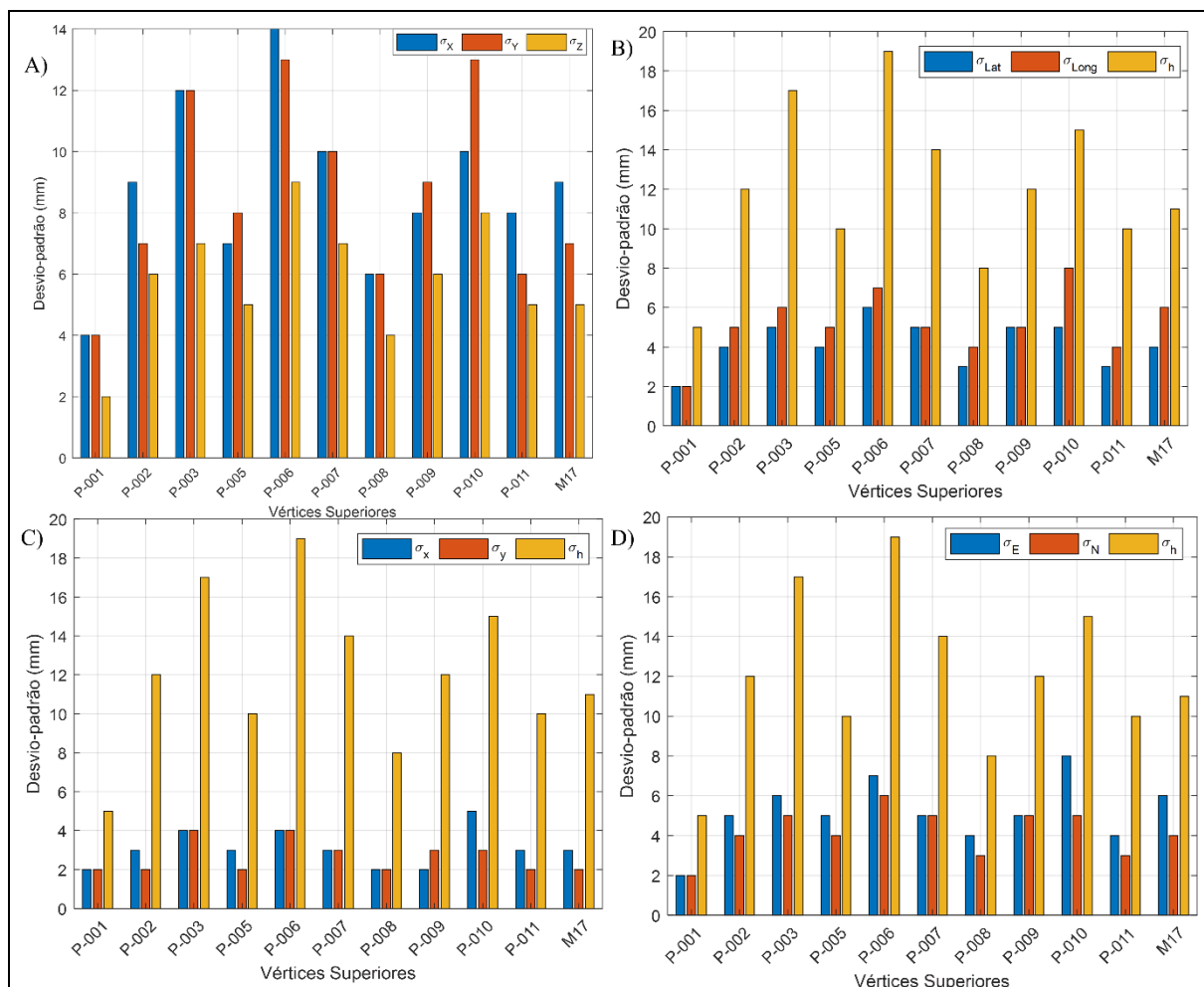
Tabela 24 - Coordenadas dos (VP) na Projeção Universal Transversa de Mercator

Vértices Principais	E (m)	N (m)	h (m)	σE (mm)	σN (mm)	σh (mm)	σE (m)	σN (m)	σh (m)
P-001	236588,238	7930315,645	874,385	2,3	1,7	4,6	0,002	0,002	0,005
P-002	234942,534	7928127,484	894,023	4,9	3,6	11,6	0,005	0,004	0,012
P-003	236605,926	7927768,704	856,001	6,1	5,3	16,7	0,006	0,005	0,017
P-005	236780,290	7927420,455	862,172	5,1	4,1	10,0	0,005	0,004	0,010
P-006	234802,165	7926369,741	892,472	6,5	6,4	18,9	0,007	0,006	0,019
P-007	236469,543	7926604,655	879,871	4,8	5,1	13,9	0,005	0,005	0,014
P-008	237982,714	7925839,801	889,869	4,3	3,3	7,9	0,004	0,003	0,008
P-009	239367,174	7925082,793	927,063	4,8	4,7	11,7	0,005	0,005	0,012
P-010	236651,599	7927541,588	854,785	7,7	5,4	15,2	0,008	0,005	0,015
P-011	236598,763	7927500,067	856,040	3,8	3,2	10,1	0,004	0,003	0,010
M17	238225,527	7926494,248	887,313	5,6	3,6	10,7	0,006	0,004	0,011

Fonte: O autor.

Após a geração das tabelas, torna-se possível avaliar a distribuição das precisões das coordenadas por meio de representações gráficas, sendo apresentados: (A) as precisões no sistema geocêntrico, (B) as precisões no sistema geodésico, (C) as precisões no sistema geodésico local e, por fim, (D) as precisões no sistema UTM.

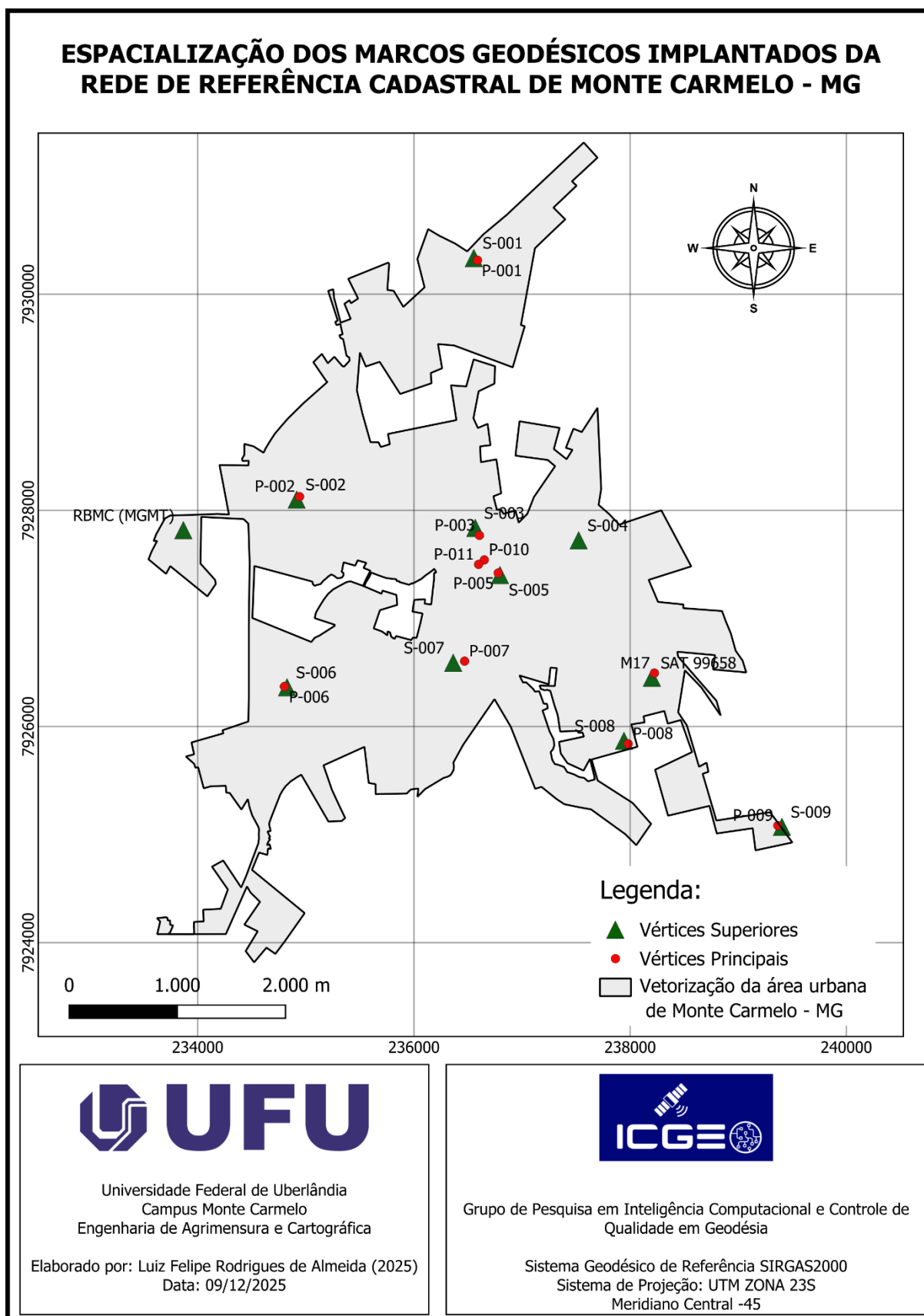
Figura 16 - Precisões dos vértices principais em diferentes sistemas de referência



Fonte: o Autor.

Após a execução de todas essas etapas para os vértices superiores e principais, o objetivo final consiste na elaboração de um mapa que possibilite a visualização espacial dos marcos implantados e, posteriormente, na confecção das monografias correspondentes. Esses materiais serão disponibilizados à população, de modo a subsidiar a aplicação das informações em trabalhos futuros. Na sequência, apresenta-se a Figura 17 que ilustra a distribuição espacial de todos os marcos implantados neste estudo, a partir de suas coordenadas atualizadas. Nessa representação, é possível verificar tanto os vértices superiores quanto os vértices principais:

Figura 17 – Espacialização dos Marcos da Rede Geodésica de Monte Carmelo - MG



Fonte: O autor.

4 CONCLUSÃO

A implantação e densificação da rede de referência cadastral do município de Monte Carmelo (MG) permitiram estabelecer uma infraestrutura geodésica confiável, capaz de atender com precisão às demandas de levantamentos realizados por estação total e às atualizações cadastrais executadas com receptores GNSS.

Na etapa de controle de qualidade prévia ao ajustamento, verificou-se uma diferença tridimensional média de aproximadamente 16 mm na análise da linha de base conhecida entre os vértices do SGB (MGMT e SAT-99658), valor compatível com a tolerância de 20 mm sugerida pela norma. Embora dentro da tolerância, os autores consideram que o vértice 99658 do SGB apresenta uma diferença significativa, de modo que, no futuro, serão necessárias investigações adicionais para verificar um possível deslocamento do ponto.

Em relação ao erro de fechamento dos polígonos da rede, considerando os vértices superiores, o polígono de maior dimensão (~16 km) apresentou um erro tridimensional de aproximadamente 18 mm (~1 ppm), valor que permanece dentro da tolerância preconizada pela norma, calculada em cerca de 26 mm (10 mm + 1 ppm).

No ajustamento da rede, aplicou-se inicialmente a injeção absoluta, adotando os vértices do SGB MGMT e S-007 como pontos de controle (fixos). O teste global indicou que as incertezas das linhas de base informadas pelo software de processamento estavam otimizadas em aproximadamente seis vezes. Assim, após o reescalonamento das variâncias e covariâncias com base nesse fator, procedeu-se à aplicação do método de identificação de erros não-aleatórios (*Data Snooping*). Nenhum *outlier* foi identificado nesta etapa.

Posteriormente a injeção relativa foi aplicada e as incertezas das coordenadas dos vértices superiores para um nível de 95%, em termos de latitude, longitude e altitude elipsoidal, foram da ordem de ~6 mm, ~6 mm e ~16 mm, respectivamente. Os piores casos entre os vértices superiores foram observados no ponto S-004, que apresentou incertezas de aproximadamente ~8 mm, ~10 mm e ~23 mm, respectivamente, a um nível de 95%. Todos os demais vértices apresentaram incertezas menores que essas.

O ajustamento dos vértices principais seguiu o mesmo procedimento adotado para os vértices superiores, porém suas coordenadas foram determinadas a partir da dupla irradiação em relação aos pontos de controle. Nesse tipo de vértice, o pior caso ocorreu no ponto P-006 (entre os P), com incertezas de ~13 mm, ~14 mm e ~38 mm, respectivamente, a um nível de 95%. Ainda assim, os demais vértices apresentaram desempenho superior ao desse ponto.

De maneira geral, todas as incertezas estimadas permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela norma, que recomenda até 20 mm para a incerteza planimétrica (2D) e até 50 mm para a incerteza altimétrica. Portanto, os resultados obtidos demonstram a confiabilidade geométrica da rede, evidenciando que os vértices ajustados satisfazem os padrões de qualidade previstos na norma para aplicações cadastrais e cartográficas.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: execução de levantamento topográfico**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14166: rede de referência cadastral municipal: requisitos e procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ABREU, Marcos Vinicius Sanches. **Avaliação da aplicabilidade dos sistemas de projeções transversas de Mercator na cartografia cadastral no Brasil**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.
- AETESP – ASSOCIAÇÃO DAS EMPRESAS DE TOPOGRAFIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **AETESP**. São Paulo, 2025. Portal. Disponível em: <http://www.aetesp.com.br/>. Acesso em: 22 ago. 2025.
- AMORIM, G. P. **Confiabilidade de rede GPS de referência cadastral municipal: estudo de caso da rede do município de Vitória (ES)**. 2004. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- BAARDA, W. A. **Testing procedure for use in geodetic networks**. Publications on Geodesy, v. 2, n. 5, 97 p., 1968.
- BONIMANI, Maria Luisa Silva. **Método Monte Carlo aplicado à análise dos níveis de probabilidade do procedimento Data Snooping: estudo de caso para rede GNSS de Monte Carmelo – MG**. 2019. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2019.
- BONIMANI, M. L. S.; ROFATTO, V. F.; MATSUOKA, M. T.; KLEIN, I.; VERONEZ, M. R.; SILVEIRA JR., L. G. **O efeito das covariâncias entre os componentes de linha base sobre a confiabilidade de redes GNSS**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 73, n. 2, p. 666–684, 2021.
- CHAVES, J. C. **Uso da tecnologia GPS na monitoração de deformação: sistemas, etapas e experimentos**. 2001. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- DALMOLIN, Q. **Ajustamento por mínimos quadrados**. Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, 2002.
- GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora UFPR, 1994.
- GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Adjustment computations: spatial data analysis**. 4. ed. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2006. Disponível em: <https://engineering.purdue.edu/~bethel/adjcmp.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2025.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and more**. Wien: Springer, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 19 ago. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS: 15 anos**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/>. Acesso em: 19 ago. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resolução PR nº 22, de 21 de julho de 1983**. Dispõe sobre as especificações e normas para levantamentos geodésicos no território brasileiro. Boletim de Serviço, Rio de Janeiro, n. 1602, supl., 1 ago. 1983.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/>. Acesso em: 19 ago. 2025.

INCRA – INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Manual técnico de limites e confrontações georreferenciadas de imóveis rurais**. 3. ed. Brasília: INCRA, 2023. Disponível em: <https://sigef.incra.gov.br/>. Acesso em: 1 nov. 2025.

KLEIN, I.; MATSUOKA, M. T.; SOUZA, S. F. **Análise do serviço on-line de PPP (GDGPS – APPS) para receptores de dupla frequência: um estudo envolvendo dados de estações da RBMC**. *Gaea – Journal of Geoscience*, v. 6, n. 2, p. 90–98, jul./dez. 2010.

KLEIN, I.; MATSUOKA, M. T.; SOUZA, S. F.; VERONEZ, M. R. **Ajustamento de observações: uma interpretação geométrica para o método dos mínimos quadrados**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 17, n. 2, p. 272–294, 2011.

KLEIN, I.; MATSUOKA, M. T.; SOUZA, S. F.; COLLISCHONN, C. **Planejamento de redes geodésicas resistentes a múltiplos outliers**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 18, n. 3, p. 480–507, 2012.

KLEIN, I.; ROFATTO, V. F.; MATSUOKA, M. T. **O problema da escolha do datum na geodésia**. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 77, n. 0a, p. 1–20, 2025. DOI: 10.14393/rbcv77n0a-75038.

KLEIN, I. **Proposta de um novo método para o planejamento de redes geodésicas**. 2014. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LUZ, Vinicius José Souza. **Implantação de uma rede geodésica com GNSS no campus Araras da UFU de Monte Carmelo**. 2019. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2008.

NATIONAL GEODETIC SURVEY. **Geometric geodesy**. NOAA, 1986. Disponível em: <https://geodesy.noaa.gov/>. Acesso em: 14 dez. 2025.

PINTO, J. R. M. **Potencialidade do uso do GPS em obras de engenharia**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, 2000.

RESENDE, Gabriel da Costa. **Densificação da rede geodésica horizontal no município de Monte Carmelo – MG**. 2017. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2017.

ROFATTO, V. F. **Uma extensão à teoria da confiabilidade em geodésia**. 2020. 255 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

ROSA, Ramires Silva. **Implantação de uma rede geodésica horizontal no município de Monte Carmelo – MG**. 2017. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2017.

SHOPTOP. **Produtos**. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://shoptopgeotecnologias.com.br/produtos>. Acesso em: 22 ago. 2025.

REVISTA A MIRA. **Simulador referencial de preços de serviços de agrimensura**. Disponível em: <https://www.amiranet.com.br/simulador>. Acesso em: 10 dez. 2025.

APÊNDICE A – MONOGRAFIAS DOS MARCOS GEODÉSICOS DA RRCM

RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	S-001	Tipo:	Vértice Superior
Data do Levantamento:	07/10/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
		Município:	Monte Carmelo
		UF:	Minas Gerais

Inscrição Chapa: S-001

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGeo – UFU).

Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento de Rede GNSS

Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)

Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)

Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS

Latitude:	-18° 42' 6,13494"	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,004 m
Longitude:	-47° 29' 52,78070"	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,005 m
Alt. Elip.:	875,401 m	<i>Sigma</i> :	0,006 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,012 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)

N (Norte):	7930335,567 m	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,004 m
E (Leste):	236554,640 m	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,005 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)				

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL

y (Norte):	253102,969 m	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,004 m
x (Leste):	149964,670 m	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,004 m
z:	875,401 m	<i>Sigma</i> :	0,006 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,012 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X_0 : 4082976,6196 m

Coordenada Geodésica de Origem φ_0 : -18°43'47,03876"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem x_0 : 150000

Coordenada Cartesiana de Origem Y_0 : -4455421,7256 m

Coordenada Geodésica de Origem λ_0 : -47°29'51,57337"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem y_0 : 250000

Coordenada Cartesiana de Origem Z_0 : -2035325,3013 m

COORDENADAS CARTESIANAS

X:	4083615,9637 m	<i>Sigma</i> :	0,0041 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0082 m
Y:	-4456171,6822 m	<i>Sigma</i> :	0,0047 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0094 m
Z:	-2032382,7482 m	<i>Sigma</i> :	0,0028 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0056 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça Santa Rita, no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: S-001

Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	S-002	Tipo:	Vértice Superior
Data do Levantamento: 10/10/2025	Data de Ajustamento: 07/12/2025	Município: Monte Carmelo	UF: Minas Gerais
Inscrição Chapa: S-002			

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGeo – UFU).

Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento de Rede GNSS

Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)

Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)

Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS

Latitude:	-18° 43' 18,07626"	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,005 m
Longitude:	-47° 30' 49,76046"	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,005 m
Alt. Elip.:	894,605 m	<i>Sigma</i> :	0,006 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,013 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)

N (Norte):	7928099,346 m	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,005 m
E (Leste):	234915,719 m	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,005 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)				

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL

y (Norte):	250890,622 m	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,004 m
x (Leste):	148295,159 m	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,004 m
z:	894,605 m	<i>Sigma</i> :	0,006 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,013 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X₀: 4082976,6196

Coordenada Geodésica de Origem φ_0 : -18°43'47,03876"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem x₀: 150000

Coordenada Cartesiana de Origem Y₀: -4455421,7256

Coordenada Geodésica de Origem λ_0 : -47°29'51,57337"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem y₀: 250000

Coordenada Cartesiana de Origem Z₀: -2035325,3013

COORDENADAS CARTESIANAS

X:	4081917,7470 m	<i>Sigma</i> :	0,0044 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0088 m
Y:	-4456789,6354 m	<i>Sigma</i> :	0,0049 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0098 m
Z:	-2034484,2551 m	<i>Sigma</i> :	0,0030 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0060 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça da Catulina, no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: S-002



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	S-003	Tipo:	Vértice Superior
Data do Levantamento:	08/10/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
Município:		Monte Carmelo	UF: Minas Gerais
Inscrição Chapa: S-003			

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGeo – UFU).
Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento de Rede GNSS
Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)
Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)
Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS				
Latitude:	-18° 43' 27,33402"	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%): 0,005 m
Longitude:	-47° 29' 53,51885"	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%): 0,005 m
Alt. Elip.:	857,364 m	Sigma:	0,006 m	Sigma(95%): 0,012 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)				
N (Norte):	7927837,750 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%): 0,005 m
E (Leste):	236567,965 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%): 0,005 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)			

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL				
y (Norte):	250606,007 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%): 0,004 m
x (Leste):	149943,048 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%): 0,004 m
z:	857,364 m	Sigma:	0,006 m	Sigma(95%): 0,012 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X ₀ :	4082976,6196	Coordenada Geodésica de Origem ϕ_0 :	-18°43'47,03876"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem x ₀ :	150000
Coordenada Cartesiana de Origem Y ₀ :	-4455421,7256	Coordenada Geodésica de Origem λ_0 :	-47°29'51,57337"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem y ₀ :	250000
Coordenada Cartesiana de Origem Z ₀ :	-2035325,3013				

COORDENADAS CARTESIANAS				
X:	4083047,2455 m	Sigma:	0,0041 m	Sigma(95%): 0,0082 m
Y:	-4455583,0897 m	Sigma:	0,0046 m	Sigma(95%): 0,0092 m
Z:	-2034741,9230 m	Sigma:	0,0028 m	Sigma(95%): 0,0056 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça do Rosário, no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: S-003



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	S-004	Tipo:	Vértice Superior
Data do Levantamento:	08/10/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
Município:		Monte Carmelo	UF: Minas Gerais
Inscrição Chapa: S-004			

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGeo – UFU).
Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento de Rede GNSS
Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)
Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)
Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS				
Latitude:	-18° 43' 31,49674"	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%): 0,008 m
Longitude:	-47° 29' 20,94014"	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%): 0,010 m
Alt. Elip.:	877,991 m	Sigma:	0,011 m	Sigma(95%): 0,023 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)				
N (Norte):	7927723,062 m	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%): 0,008 m
E (Leste):	237524,506 m	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%): 0,010 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)			

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL				
y (Norte):	250477,980 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%): 0,006 m
x (Leste):	150897,587 m	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%): 0,007 m
z:	877,991 m	Sigma:	0,011 m	Sigma(95%): 0,023 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X ₀ : 4082976,6196	Coordenada Geodésica de Origem φ_0 : -18°43'47,03876"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem x ₀ : 150000
Coordenada Cartesiana de Origem Y ₀ : -4455421,7256	Coordenada Geodésica de Origem λ_0 : -47°29'51,57337"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem y ₀ : 250000
Coordenada Cartesiana de Origem Z ₀ : -2035325,3013		

COORDENADAS CARTESIANAS				
X:	4083736,3690 m	Sigma:	0,0078m	Sigma(95%): 0,0156 m
Y:	-4454922,2413 m	Sigma:	0,0090 m	Sigma(95%): 0,0180 m
Z:	-2034869,7776 m	Sigma:	0,0045 m	Sigma(95%): 0,0090 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça do Cristo, no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: S-004



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	S-005	Tipo:	Vértice Superior
Data do Levantamento:	07/10/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
		Município:	Monte Carmelo
		UF:	Minas Gerais
		Inscrição Chapa:	S-005

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGEO – UFU).

Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento de Rede GNSS

Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)

Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)

Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS

Latitude:	-18° 43' 41,60928"	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,006 m
Longitude:	-47° 29' 45,93480"	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,007 m
Alt. Elip.:	861,962 m	<i>Sigma</i> :	0,010 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,020 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)

N (Norte):	7927401,785 m	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,006 m
E (Leste):	236796,369 m	<i>Sigma</i> :	0,004 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,008 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)				

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL

y (Norte):	250167,028 m	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,006 m
x (Leste):	150165,253 m	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,006 m
z:	861,962 m	<i>Sigma</i> :	0,010 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,020 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X_0 : 4082976,6196

Coordenada Geodésica de Origem φ_0 : -18°43'47,03876"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem x_0 : 150000

Coordenada Cartesiana de Origem Y_0 : -4455421,7256

Coordenada Geodésica de Origem λ_0 : -47°29'51,57337"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem y_0 : 250000

Coordenada Cartesiana de Origem Z_0 : -2035325,3013

COORDENADAS CARTESIANAS

X:	4083118,7906 m	<i>Sigma</i> :	0,0068m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0136 m
Y:	-4455332,2704 m	<i>Sigma</i> :	0,0076 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0152 m
Z:	-2035159,1399 m	<i>Sigma</i> :	0,0046 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0092 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça da Matriz, no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: S-005

Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	S-006	Tipo:	Vértice Superior
Data do Levantamento:	07/10/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
		Município:	Monte Carmelo
		UF:	Minas Gerais
		Inscrição Chapa:	S-006

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGeo – UFU).

Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento de Rede GNSS

Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)

Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)

Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS

Latitude:	-18° 44' 14,48930"	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,007 m
Longitude:	-47° 30' 53,63957"	<i>Sigma</i> :	0,004 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,007 m
Alt. Elip.:	893,008 m	<i>Sigma</i> :	0,010 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,021 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)

N (Norte):	7926362,575 m	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,007 m
E (Leste):	234826,506 m	<i>Sigma</i> :	0,004 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,008 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)				

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL

y (Norte):	249155,840 m	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,006 m
x (Leste):	148181,668 m	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,006 m
z:	893,008 m	<i>Sigma</i> :	0,010 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,021 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X₀: 4082976,6196

Coordenada Geodésica de Origem φ_0 : -18°43'47,03876"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem x₀: 150000

Coordenada Cartesiana de Origem Y₀: -4455421,7256

Coordenada Geodésica de Origem λ_0 : -47°29'51,57337"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem y₀: 250000

Coordenada Cartesiana de Origem Z₀: -2035325,3013

COORDENADAS CARTESIANAS

X:	4081456,6859 m	<i>Sigma</i> :	0,0072m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0144 m
Y:	-4456454,4974 m	<i>Sigma</i> :	0,0077 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0154 m
Z:	-2036126,6488 m	<i>Sigma</i> :	0,0045 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0090 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na UNIFUCAMP, no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: S-006



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	S-007	Tipo:	Vértice Superior
Data do Levantamento:	07/10/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
Município:		Monte Carmelo	UF: Minas Gerais
Inscrição Chapa: S-007			

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGeo – UFU).
Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento de Rede GNSS
Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)
Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)
Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS				
Latitude:	-18° 44' 7,80889"	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%): 0,006 m
Longitude:	-47° 30' 1,07827"	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%): 0,006 m
Alt. Elip.:	880,512 m	Sigma:	0,006 m	Sigma(95%): 0,013 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)				
N (Norte):	7926589,720 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%): 0,007 m
E (Leste):	236363,884 m	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%): 0,007 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)			

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL				
y (Norte):	249361,358 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%): 0,004 m
x (Leste):	149721,578 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%): 0,004 m
z:	880,512 m	Sigma:	0,006 m	Sigma(95%): 0,013 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X ₀ : 4082976,6196	Coordenada Geodésica de Origem φ_0 : -18°43'47,03876"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem x ₀ : 150000
Coordenada Cartesiana de Origem Y ₀ : -4455421,7256	Coordenada Geodésica de Origem λ_0 : -47°29'51,57337"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem y ₀ : 250000
Coordenada Cartesiana de Origem Z ₀ : -2035325,3013		

COORDENADAS CARTESIANAS				
X:	4082628,7525 m	Sigma:	0,0044m	Sigma(95%): 0,0088 m
Y:	-4455454,2245 m	Sigma:	0,0050 m	Sigma(95%): 0,0100 m
Z:	-2035928,0904 m	Sigma:	0,0032 m	Sigma(95%): 0,0064 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça do Camilão, no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: S-007



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice: S-008		Tipo: Vértice Superior	
Data do Levantamento: 07/10/2025	Data de Ajustamento: 07/12/2025	Município: Monte Carmelo	UF: Minas Gerais
Inscrição Chapa: S-008			

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGeo – UFU).
Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento de Rede GNSS
Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)
Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)
Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS				
Latitude:	-18° 44' 32,01918"	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%): 0,005 m
Longitude:	-47° 29' 7,52323"	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%): 0,006 m
Alt. Elip.:	888.676 m	Sigma:	0,009 m	Sigma(95%): 0,018 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)				
N (Norte):	7925867,012 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%): 0,006 m
E (Leste):	237943,650 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%): 0,006 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)			

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL				
y (Norte):	248616,819 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%): 0,004 m
x (Leste):	151290,569 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%): 0,004 m
z:	888.676 m	Sigma:	0,009 m	Sigma(95%): 0,018 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X ₀ :	4082976,6196	Coordenada Geodésica de Origem φ_0 :	-18°43'47,03876"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem x ₀ :	150000
Coordenada Cartesiana de Origem Y ₀ :	-4455421,7256	Coordenada Geodésica de Origem λ_0 :	-47°29'51,57337"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem y ₀ :	250000
Coordenada Cartesiana de Origem Z ₀ :	-2035325,3013				

COORDENADAS CARTESIANAS				
X:	4083629,0350 m	Sigma:	0,0061m	Sigma(95%): 0,0122 m
Y:	-4454223,4548 m	Sigma:	0,0065 m	Sigma(95%): 0,0130 m
Z:	-2036635,7453 m	Sigma:	0,0037 m	Sigma(95%): 0,0074 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Parque de exposição no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: S-008



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	S-009	Tipo:	Vértice Superior
Data do Levantamento: 07/10/2025	Data de Ajustamento: 07/12/2025	Município: Monte Carmelo	UF: Minas Gerais
Inscrição Chapa: S-009			

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGeo – UFU).

Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento de Rede GNSS

Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)

Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)

Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS

Latitude:	-18° 44' 58,53926"	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,006 m
Longitude:	-47° 28' 18,04040"	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,007 m
Alt. Elip.:	928,671 m	<i>Sigma</i> :	0,009 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,018 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)

N (Norte):	7925071,487 m	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,006 m
E (Leste):	239404,947 m	<i>Sigma</i> :	0,003 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,007 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)				

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL

y (Norte):	247801,123 m	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,004 m
x (Leste):	152740,147 m	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,004 m
z:	928,671 m	<i>Sigma</i> :	0,009 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,018 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X_0 : 4082976,6196

Coordenada Geodésica de Origem φ_0 : -18°43'47,03876"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem x_0 : 150000

Coordenada Cartesiana de Origem Y_0 : -4455421,7256

Coordenada Geodésica de Origem λ_0 : -47°29'51,57337"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem y_0 : 250000

Coordenada Cartesiana de Origem Z_0 : -2035325,3013

COORDENADAS CARTESIANAS

X:	4084545,9247 m	<i>Sigma</i> :	0,0061 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0122 m
Y:	-4453078,4317 m	<i>Sigma</i> :	0,0067 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0134 m
Z:	-2037420,8659 m	<i>Sigma</i> :	0,0039 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0078 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça São Sebastião no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: S-009

Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	P-001	Tipo:	Vértice Principal
Data do Levantamento: 05/12/2025	Data de Ajustamento: 07/12/2025	Município: Monte Carmelo	UF: Minas Gerais
Inscrição Chapa: P-001			

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGeo – UFU).

Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento pela Dupla Irradiação

Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)

Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)

Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS

Latitude:	-18° 42' 06,79781"	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,004 m
Longitude:	-47° 29' 51,64418"	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,005 m
Alt. Elip.:	874,385 m	<i>Sigma</i> :	0,005 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,010 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)

N (Norte):	7930315,645 m	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,004 m
E (Leste):	236588,238 m	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,005 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)				

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL

y (Norte):	253082,585 m	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,004 m
x (Leste):	149997,975 m	<i>Sigma</i> :	0,002 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,004 m
z:	874,385 m	<i>Sigma</i> :	0,005 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,010 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X_0 : 4082976,6196

Coordenada Geodésica de Origem φ_0 : -18°43'47,03876"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem x_0 : 150000

Coordenada Cartesiana de Origem Y_0 : -4455421,7256

Coordenada Geodésica de Origem λ_0 : -47°29'51,57337"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem y_0 : 250000

Coordenada Cartesiana de Origem Z_0 : -2035325,3013

COORDENADAS CARTESIANAS

X:	4083635,451 m	<i>Sigma</i> :	0,0035m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0070 m
Y:	-4456143,652 m	<i>Sigma</i> :	0,0036 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0072 m
Z:	-2032401, 730 m	<i>Sigma</i> :	0,0020 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0040 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça Santa Rita no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: P-001

Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	P-002	Tipo:	Vértice Principal
Data do Levantamento:	05/12/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
		Município:	Monte Carmelo
		UF:	Minas Gerais
			Inscrição Chapa: P-002

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGEO – UFU).
Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento pela Dupla Irradiação
Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)
Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)
Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS					
Latitude:	-18° 43' 17,17388"	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%):	0,008 m
Longitude:	-47° 30' 48,83216"	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%):	0,010 m
Alt. Elip.:	894,023 m	Sigma:	0,012 m	Sigma(95%):	0,023 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)					
N (Norte):	7928127,484 m	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%):	0,008 m
E (Leste):	234942,534 m	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%):	0,010 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)				

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL					
y (Norte):	250918,373 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%):	0,006 m
x (Leste):	148322,356 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%):	0,004 m
z:	894,023 m	Sigma:	0,012 m	Sigma(95%):	0,023 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X ₀ : 4082976,6196	Coordenada Geodésica de Origem φ_0 : -18°43'47,03876"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem x ₀ : 150000
Coordenada Cartesiana de Origem Y ₀ : -4455421,7256	Coordenada Geodésica de Origem λ_0 : -47°29'51,57337"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem y ₀ : 250000
Coordenada Cartesiana de Origem Z ₀ : -2035325,3013		

COORDENADAS CARTESIANAS					
X:	4081943,448 m	Sigma:	0,0094 m	Sigma(95%):	0,0188 m
Y:	-4456777,426 m	Sigma:	0,0073 m	Sigma(95%):	0,0146 m
Z:	-2034457,787 m	Sigma:	0,0056 m	Sigma(95%):	0,0112 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça da Catulina no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: P-002



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	P-003	Tipo:	Vértice Principal
Data do Levantamento: 05/12/2025	Data de Ajustamento: 07/12/2025	Município: Monte Carmelo	UF: Minas Gerais
Inscrição Chapa: P-003			

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGEO – UFU).

Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento pela Dupla Irradiação

Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)

Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)

Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS

Latitude:	-18° 43' 29,59568"	<i>Sigma</i> :	0,005 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,012 m
Longitude:	-47° 29' 52,25676"	<i>Sigma</i> :	0,006 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,012 m
Alt. Elip.:	856,001 m	<i>Sigma</i> :	0,017 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,034 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)

N (Norte):	7927768,704 m	<i>Sigma</i> :	0,005 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,011 m
E (Leste):	236605,926 m	<i>Sigma</i> :	0,006 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,012 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)				

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL

y (Norte):	250536,459 m	<i>Sigma</i> :	0,004 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,008 m
x (Leste):	149980,027 m	<i>Sigma</i> :	0,004 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,008 m
z:	856,001 m	<i>Sigma</i> :	0,017 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,034 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X_0 : 4082976,6196

Coordenada Geodésica de Origem φ_0 : -18°43'47,03876"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem x_0 : 150000

Coordenada Cartesiana de Origem Y_0 : -4455421,7256

Coordenada Geodésica de Origem λ_0 : -47°29'51,57337"

Coordenada no Sistema geodésico local de origem y_0 : 250000

Coordenada Cartesiana de Origem Z_0 : -2035325,3013

COORDENADAS CARTESIANAS

X:	4083058,552 m	<i>Sigma</i> :	0,0118 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0236 m
Y:	-4455540,695 m	<i>Sigma</i> :	0,0122 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0244 m
Z:	-2034457,787 m	<i>Sigma</i> :	0,0074 m	<i>Sigma</i> (95%):	0,0148 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça do Rosário no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: P-003



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	P-005	Tipo:	Vértice Principal
Data do Levantamento: 05/12/2025	Data de Ajustamento: 07/12/2025	Município: Monte Carmelo	UF: Minas Gerais
Inscrição Chapa: P-005			

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGeo – UFU).
Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento pela Dupla Irradiação
Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)
Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)
Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS					
Latitude:	-18° 43' 40,99505"	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%):	0,008 m
Longitude:	-47° 29' 46,47448"	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%):	0,010 m
Alt. Elip.:	862,172 m	Sigma:	0,010 m	Sigma(95%):	0,020 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)					
N (Norte):	7927420,455 m	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%):	0,008 m
E (Leste):	236780,290 m	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%):	0,010 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)				

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL					
y (Norte):	250185,916 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%):	0,004 m
x (Leste):	150149,442 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%):	0,006 m
z:	862,172 m	Sigma:	0,010 m	Sigma(95%):	0,020 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X ₀ : 4082976,6196	Coordenada Geodésica de Origem φ ₀ : -18°43'47,03876"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem x ₀ : 150000
Coordenada Cartesiana de Origem Y ₀ : -4455421,7256	Coordenada Geodésica de Origem λ ₀ : -47°29'51,57337"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem y ₀ : 250000
Coordenada Cartesiana de Origem Z ₀ : -2035325,3013		

COORDENADAS CARTESIANAS					
X:	4083111,365 m	Sigma:	0,0071 m	Sigma(95%):	0,0142 m
Y:	-4455347,570 m	Sigma:	0,0081 m	Sigma(95%):	0,0162 m
Z:	-2035141,320 m	Sigma:	0,0053 m	Sigma(95%):	0,0106 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça da Matriz no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: P-005



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	P-006	Tipo:	Vértice Principal
Data do Levantamento:	05/12/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
		Município:	Monte Carmelo
		UF:	Minas Gerais
			Inscrição Chapa: P-006

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGEO – UFU).
Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento de pela Dupla Irradiação
Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)
Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)
Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS				
Latitude:	-18° 44' 14,24519"	Sigma:	0,006 m	Sigma(95%): 0,013 m
Longitude:	-47° 30' 54,46660"	Sigma:	0,007 m	Sigma(95%): 0,014 m
Alt. Elip.:	892,472 m	Sigma:	0,019 m	Sigma(95%): 0,038 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)				
N (Norte):	7926369,741 m	Sigma:	0,006 m	Sigma(95%): 0,013 m
E (Leste):	234802,165 m	Sigma:	0,007 m	Sigma(95%): 0,014 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)			

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL				
y (Norte):	249163,344 m	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%): 0,008 m
x (Leste):	148157,438 m	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%): 0,008 m
z:	892,472 m	Sigma:	0,019 m	Sigma(95%): 0,038 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X ₀ :	4082976,6196	Coordenada Geodésica de Origem φ_0 :	-18°43'47,03876"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem x ₀ :	150000
Coordenada Cartesiana de Origem Y ₀ :	-4455421,7256	Coordenada Geodésica de Origem λ_0 :	-47°29'51,57337"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem y ₀ :	250000
Coordenada Cartesiana de Origem Z ₀ :	-2035325,3013				

COORDENADAS CARTESIANAS				
X:	4081440,104 m	Sigma:	0,0136m	Sigma(95%): 0,0272 m
Y:	-4456472,266 m	Sigma:	0,0134 m	Sigma(95%): 0,0268 m
Z:	-2036119,368 m	Sigma:	0,0088 m	Sigma(95%): 0,0176 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na UNIFUCAMP no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: P-006



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	P-007	Tipo:	Vértice Principal
Data do Levantamento:	05/12/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
		Município:	Monte Carmelo
		UF:	Minas Gerais
			Inscrição Chapa: P-007

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGeo – UFU).
Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento de pela Dupla Irradiação
Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)
Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)
Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS					
Latitude:	-18° 44' 07,37156"	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%):	0,010 m
Longitude:	-47° 29' 57,46621"	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%):	0,010 m
Alt. Elip.:	879,871 m	Sigma:	0,014 m	Sigma(95%):	0,028 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)					
N (Norte):	7926604,655 m	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%):	0,010 m
E (Leste):	236469,543 m	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%):	0,010 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)				

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL					
y (Norte):	249374,808 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%):	0,007 m
x (Leste):	149827,403 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%):	0,006 m
z:	879,871 m	Sigma:	0,014 m	Sigma(95%):	0,028 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X ₀ :	4082976,6196	Coordenada Geodésica de Origem φ_0 :	-18°43'47,03876"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem x ₀ :	150000
Coordenada Cartesiana de Origem Y ₀ :	-4455421,7256	Coordenada Geodésica de Origem λ_0 :	-47°29'51,57337"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem y ₀ :	250000
Coordenada Cartesiana de Origem Z ₀ :	-2035325,3013				

COORDENADAS CARTESIANAS					
X:	4082709,282 m	Sigma:	0,0101 m	Sigma(95%):	0,0202 m
Y:	-4455385,467 m	Sigma:	0,0095 m	Sigma(95%):	0,0190 m
Z:	-2035915,149 m	Sigma:	0,0070 m	Sigma(95%):	0,0140 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça do Camilão no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: P-007



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	P-008	Tipo:	Vértice Principal
Data do Levantamento:	05/12/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
Município:		Monte Carmelo	UF: Minas Gerais
Inscrição Chapa: P-008			

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGeo – UFU).
Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento de pela Dupla Irradiação
Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)
Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)
Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS					
Latitude:	-18° 44' 32,92138"	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%):	0,007 m
Longitude:	-47° 29' 06,20333"	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%):	0,009 m
Alt. Elip.:	889,869 m	Sigma:	0,008 m	Sigma(95%):	0,016 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)					
N (Norte):	7925839,801 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%):	0,007 m
E (Leste):	237982,714 m	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%):	0,009 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)				

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL					
y (Norte):	248589,071 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%):	0,004 m
x (Leste):	151329,236 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%):	0,004 m
z:	889,869 m	Sigma:	0,008 m	Sigma(95%):	0,016 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X ₀ :	4082976,6196	Coordenada Geodésica de Origem φ_0 :	-18°43'47,03876"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem x ₀ :	150000
Coordenada Cartesiana de Origem Y ₀ :	-4455421,7256	Coordenada Geodésica de Origem λ_0 :	-47°29'51,57337"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem y ₀ :	250000
Coordenada Cartesiana de Origem Z ₀ :	-2035325,3013				

COORDENADAS CARTESIANAS					
X:	4083652,277 m	Sigma:	0,0061 m	Sigma(95%):	0,0122 m
Y:	-4454191,585 m	Sigma:	0,0064 m	Sigma(95%):	0,0128 m
Z:	-2036662,402 m	Sigma:	0,0036 m	Sigma(95%):	0,0072 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado no Parque de Exposição no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: P-008



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	P-009	Tipo:	Vértice Principal
Data do Levantamento:	05/12/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
		Município:	Monte Carmelo
		UF:	Minas Gerais
Inscrição Chapa: P-009			

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGEO – UFU).
Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento pela Dupla Irradiação
Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)
Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)
Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS					
Latitude:	-18° 44' 58,15468"	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%):	0,010 m
Longitude:	-47° 28' 19,32395"	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%):	0,010 m
Alt. Elip.:	927,063 m	Sigma:	0,012 m	Sigma(95%):	0,023 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)					
N (Norte):	7925082,793 m	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%):	0,010 m
E (Leste):	239367,174 m	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%):	0,010 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)				

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL					
y (Norte):	247812,956 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%):	0,006 m
x (Leste):	152702,546 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%):	0,004 m
z:	39,309 m	Sigma:	0,012 m	Sigma(95%):	0,023 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X ₀ : 4082976,6196	Coordenada Geodésica de Origem φ ₀ : -18°43'47,03876"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem x ₀ : 150000
Coordenada Cartesiana de Origem Y ₀ : -4455421,7256	Coordenada Geodésica de Origem λ ₀ : -47°29'51,57337"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem y ₀ : 250000
Coordenada Cartesiana de Origem Z ₀ : -2035325,3013		

COORDENADAS CARTESIANAS					
X:	4084519,755 m	Sigma:	0,0081 m	Sigma(95%):	0,0162 m
Y:	-4453105,529 m	Sigma:	0,0087 m	Sigma(95%):	0,0174 m
Z:	-2037409,151 m	Sigma:	0,0064 m	Sigma(95%):	0,0128 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça do São Sebastião no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: P-009



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	P-010	Tipo:	Vértice Principal
Data do Levantamento:	05/12/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
		Município:	Monte Carmelo
		UF:	Minas Gerais
			Inscrição Chapa: P-010

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGEO – UFU).
Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento pela Dupla Irradiação
Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)
Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)
Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS				
Latitude:	-18° 43' 36,99901"	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%): 0,011 m
Longitude:	-47° 29' 50,80711"	Sigma:	0,008 m	Sigma(95%): 0,016 m
Alt. Elip.:	854,785 m	Sigma:	0,015 m	Sigma(95%): 0,030 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)				
N (Norte):	7927541,588 m	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%): 0,011 m
E (Leste):	236651,599 m	Sigma:	0,008 m	Sigma(95%): 0,016 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)			

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL				
y (Norte):	250308,799 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%): 0,006 m
x (Leste):	150022,501 m	Sigma:	0,005 m	Sigma(95%): 0,010 m
z:	854,785 m	Sigma:	0,015 m	Sigma(95%): 0,030 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X ₀ :	4082976,6196	Coordenada Geodésica de Origem φ_0 :	-18°43'47,03876"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem x ₀ :	150000
Coordenada Cartesiana de Origem Y ₀ :	-4455421,7256	Coordenada Geodésica de Origem λ_0 :	-47°29'51,57337"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem y ₀ :	250000
Coordenada Cartesiana de Origem Z ₀ :	-2035325,3013				

COORDENADAS CARTESIANAS				
X:	4083039,708 m	Sigma:	0,0099 m	Sigma(95%): 0,0198 m
Y:	-4455457,265 m	Sigma:	0,0128 m	Sigma(95%): 0,0256 m
Z:	-2035022,571 m	Sigma:	0,0076 m	Sigma(95%): 0,0152 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça da Areia no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: P-010



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	P-011	Tipo:	Vértice Principal
Data do Levantamento:	05/12/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
		Município:	Monte Carmelo
		UF:	Minas Gerais
			Inscrição Chapa: P-011

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGEO – UFU).
Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento pela Dupla Irradiação
Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)
Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)
Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS				
Latitude:	-18° 43' 38,32460"	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%): 0,006 m
Longitude:	-47° 29' 52,62950"	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%): 0,008 m
Alt. Elip.:	856,040 m	Sigma:	0,010 m	Sigma(95%): 0,020 m

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL				
N (Norte):	7927500,067 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%): 0,006 m
E (Leste):	236598,763 m	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%): 0,008 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)			

COORDENADAS PLANAS (UTM)				
y (Norte):	250268,035 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%): 0,005 m
x (Leste):	149969,106 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%): 0,006 m
z:	856,040 m	Sigma:	0,010 m	Sigma(95%): 0,020 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X ₀ :	4082976,6196	Coordenada Geodésica de Origem φ_0 :	-18°43'47,03876"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem x ₀ :	150000
Coordenada Cartesiana de Origem Y ₀ :	-4455421,7256	Coordenada Geodésica de Origem λ_0 :	-47°29'51,57337"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem y ₀ :	250000
Coordenada Cartesiana de Origem Z ₀ :	-2035325,3013				

COORDENADAS CARTESIANAS				
X:	4082992,304 m	Sigma:	0,0078 m	Sigma(95%): 0,0156 m
Y:	-4455484,568 m	Sigma:	0,0064 m	Sigma(95%): 0,0128 m
Z:	-2035061,580 m	Sigma:	0,0051 m	Sigma(95%): 0,0102 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado na Praça da Areia no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: P-011



Localização do Vértice no Google Earth:



RELATÓRIO DA ESTAÇÃO GEODÉSICA RRCM – MONTE CARMELO

Identificação do Vértice:	M17	Tipo:	Vértice Principal
Data do Levantamento:	05/12/2025	Data de Ajustamento:	07/12/2025
		Município:	Monte Carmelo
		UF:	Minas Gerais
			Inscrição Chapa: M17

Responsável Técnico: Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo Luiz Felipe Rodrigues de Almeida (Grupo ICGeo – UFU).
Método de Determinação: Processamento Relativo Estático e Ajustamento pela Dupla Irradiação
Injunções no Ajustamento da Rede GNSS: Absoluta (Controle de Qualidade) e Relativa (Propagação de Incertezas)
Vértices de referência do ajustamento: Estação Ativa MGMT (RBMC – SGB) e Estação Passiva 99658 (SGB)
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000 (ÉPOCA 2000,4)
Vértice implantado de acordo com a norma NBR 14.166/2022.

COORDENADAS GEODÉSICAS				
Latitude:	-18° 44' 11,75802"	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%): 0,008 m
Longitude:	-47° 28' 57,60757"	Sigma:	0,006 m	Sigma(95%): 0,012 m
Alt. Elip.:	887,313 m	Sigma:	0,011 m	Sigma(95%): 0,022 m

COORDENADAS PLANAS (UTM)				
N (Norte):	7926494,248 m	Sigma:	0,004 m	Sigma(95%): 0,008 m
E (Leste):	238225,527 m	Sigma:	0,006 m	Sigma(95%): 0,012 m
MC:	-45 (FUSO 23 S)			

COORDENADAS NO SISTEMA GEODÉSICO LOCAL				
y (Norte):	249239,852 m	Sigma:	0,002 m	Sigma(95%): 0,004 m
x (Leste):	151581,117 m	Sigma:	0,003 m	Sigma(95%): 0,006 m
z:	887,313 m	Sigma:	0,011 m	Sigma(95%): 0,022 m

Origem do Sistema: Ponto Médio da Rede

Coordenada Cartesiana de Origem X ₀ : 4082976,6196	Coordenada Geodésica de Origem φ ₀ : -18°43'47,03876"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem x ₀ : 150000
Coordenada Cartesiana de Origem Y ₀ : -4455421,7256	Coordenada Geodésica de Origem λ ₀ : -47°29'51,57337"	Coordenada no Sistema geodésico local de origem y ₀ : 250000
Coordenada Cartesiana de Origem Z ₀ : -2035325,3013		

COORDENADAS CARTESIANAS				
X:	4083977,559 m	Sigma:	0,0093 m	Sigma(95%): 0,0186 m
Y:	-4454173,725 m	Sigma:	0,0068 m	Sigma(95%): 0,0136 m
Z:	-2036045,280 m	Sigma:	0,0052 m	Sigma(95%): 0,0104 m

Descrição da Localização: O vértice geodésico encontra-se implantado no SESI no município de Monte Carmelo (MG).

Registro Fotográfico do Vértice: M17

Localização do Vértice no Google Earth:



