



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

APLICAÇÃO DE REDE GEODÉSICA PARA O PROJETO SEGREGAÇÕES – MRS

LOGÍSTICA

INTRODUÇÃO

Em 2022, a MRS Logística assinou o contrato da renovação da concessão junto ao governo federal, que garante investimentos significativos na ampliação dos volumes transportados pela MRS. Entre os principais investimentos está o Projeto Segregações, cujo objetivo é a separação das linhas de trens de carga e passageiros na Região Metropolitana de São Paulo, ampliando a capacidade de ambos os sistemas.

O trecho das vias compartilhadas entre a MRS Logística e a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) possui aproximadamente 100 km de extensão, compreendido entre a Estação de Rio Grande da Serra (Linha 7 - Rubi) e a Estação Jundiaí (Linha 10 - Turquesa), passando pela Estação da Luz, no centro do município de São Paulo, percorrendo 12 municípios, abrangendo 30 estações e transportando quase 900 mil pessoas por dia.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Após a implantação do projeto Segregações, o trem de carga passará a ter uma linha exclusiva destinada à sua operação sem as restrições impostas atualmente, possibilitando aumento da produtividade e ganhos de eficiência para o transporte ferroviário de cargas.

No entanto, o projeto apresenta inúmeros desafios. Dentre eles, destaca-se a limitação do espaço físico disponível para a implantação do empreendimento, que exige alta precisão desde a elaboração do projeto básico até a fase de execução das obras, devido à inserção em área urbana densamente ocupada e à necessidade de mitigar ao máximo as interferências com as vias CPTM e estruturas existentes.

A definição do traçado de uma via férrea é uma fase crucial para os projetos de infraestrutura. Tendo como característica geométrica predominante a rigidez da trajetória, com rampas restritas e grandes raios de curvatura. Dessa forma, um dos principais desafios relacionado à projetos ferroviários deve-se ao fato da necessidade de perpassar em diferentes sistemas de referência devido aos longos trechos lineares de traçado (KOC; SPECHT, 2011).

O suporte geodésico para construção e operação de ferrovias, principalmente as de alta velocidade, requer redes geodésicas de alta precisão, sendo a base da construção da linha principal, e demanda cuidados especiais e precisão nas medições para sua criação (KANASHIN, 2023).

As redes geodésicas podem ser definidas como um objeto geométrico onde seus vértices são determinados por suas coordenadas, e estas são obtidas através da observação de seus



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

inúmeros pontos (LAROCCA, 2000). A categorização destas redes pode ser tomada em relação as componentes das coordenadas (horizontal e vertical) e relacionados a seu caráter de aquisição de dados pontuais (passivo e ativo).

Redes geodésicas são utilizadas em diversos ramos da ciência e engenharia, tais como georreferenciamento de levantamentos planialtimétricos (VARGAS et al., 2020), construção e monitoramento de barragens, construção de túneis (VELASCO et al., 2015), ferrovias de alta velocidade (KANASHIN, 2023; KOC; SPECHT, 2010) dentre outras aplicações.

O aprimoramento das redes GPS permitiu a obtenção de medidas precisas (centimétricas), possibilitando aplicações na área da engenharia tanto na locação de obras quanto no monitoramento de grandes estruturas (BLITZKOW; MATOS, 2002).

O desenvolvimento dos métodos de posicionamento dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS) operando no Sistema Geodésico Mundial padronizado (WGS-84) aliado ao incremento de sua precisão permitiu a verificação da capacidade de utilização de medições GPS para levantamentos ferroviários (KOC; SPECHT, 2010).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo apresentar os protocolos adotados para a implantação de uma rede geodésica aplicada a projetos ferroviários, concebida e implantada no Projeto Segregações da MRS Logística, bem como destacar a importância e benefícios obtidos na utilização da rede geodésica na elaboração do projeto básico, projeto executivo, execução da obra e manutenção do ativo.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

DIAGNÓSTICO

Antes do detalhamento das etapas de execução da rede geodésica há a necessidade premente de entender o contexto e desafios da implantação do projeto Segregações.

CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO SEGREGAÇÕES

A MRS Logística S. A. está entre as maiores ferrovias de carga do mundo e administra uma malha ferroviária de 1.643 km nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, sendo responsável por um terço de toda a carga transportada por trens no país.

Para separar o transporte de passageiros e de carga, minimizando os impactos para a CPTM e para a MRS, surgiram os projetos das Segregações Noroeste e Sudeste (Figura 1), que têm como proposta reduzir ao máximo o compartilhamento de trechos. O transporte de cargas realizado pela MRS passará a ser realizado em nova via exclusiva, nos trechos compreendidos entre as estações Rio Grande da Serra e Brás (Sudeste) e entre as estações Barra Funda e Jundiaí (Noroeste). Desta forma, a MRS reduzirá o compartilhamento com trens de passageiros para apenas 8 km no trecho entre as estações de Brás e Barra Funda, no centro de São Paulo.

A principal motivação do projeto é possibilitar a ampliação do transporte de passageiros sobre trilhos na região metropolitana de São Paulo, inclusive, viabilizando espaço para construção de linha exclusiva para o projeto do Trem Intercidades (TIC) que ligará São Paulo à Campinas (dentro do trecho da Segregação Noroeste).



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O projeto Segregações contribuirá para uma matriz de transportes mais equilibrada e melhorias na mobilidade urbana, uma vez que permite também acesso ferroviário mais amplo à região central da cidade de São Paulo, viabilizando a implantação de plataformas logísticas para operação de carga geral diretamente pelo modal ferroviário e reduzindo o fluxo de caminhões que acessam a cidade para este atendimento.

A Segregação Noroeste compreende o trecho localizado entre as Estações Barra Funda e Jundiaí, ao longo da Linha 7 - Rubi da CPTM, com extensão total de 56 km, em regiões montanhosas e com traçado sinuoso. O projeto neste trecho contempla a adequação de algumas das estações existentes da CPTM e a construção de um túnel de quase 1,5 km na região de Campo Limpo Paulista.

A Segregação Sudeste é compreendida pelo segmento localizado entre a Estação de Rio Grande da Serra e Brás, ao longo da Linha 10 - Turquesa da CPTM, com extensão total de 35 km, em uma região densamente urbanizada e com diversas interferências potenciais já mapeadas. Além disso, por meio do projeto da Segregação Sudeste, será garantido aos usuários da Linha 10 a acessibilidade universal a todas as estações da CPTM.

Entre as Segregações Noroeste e Sudeste, há um trecho onde os trens de carga continuarão compartilhando as vias com os trens de passageiros da CPTM na região central da cidade de São Paulo, no segmento entre as estações Brás e Barra Funda, resultando num segmento de aproximadamente 8,5 km de compartilhamento de trilhos entre carga e passageiros.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

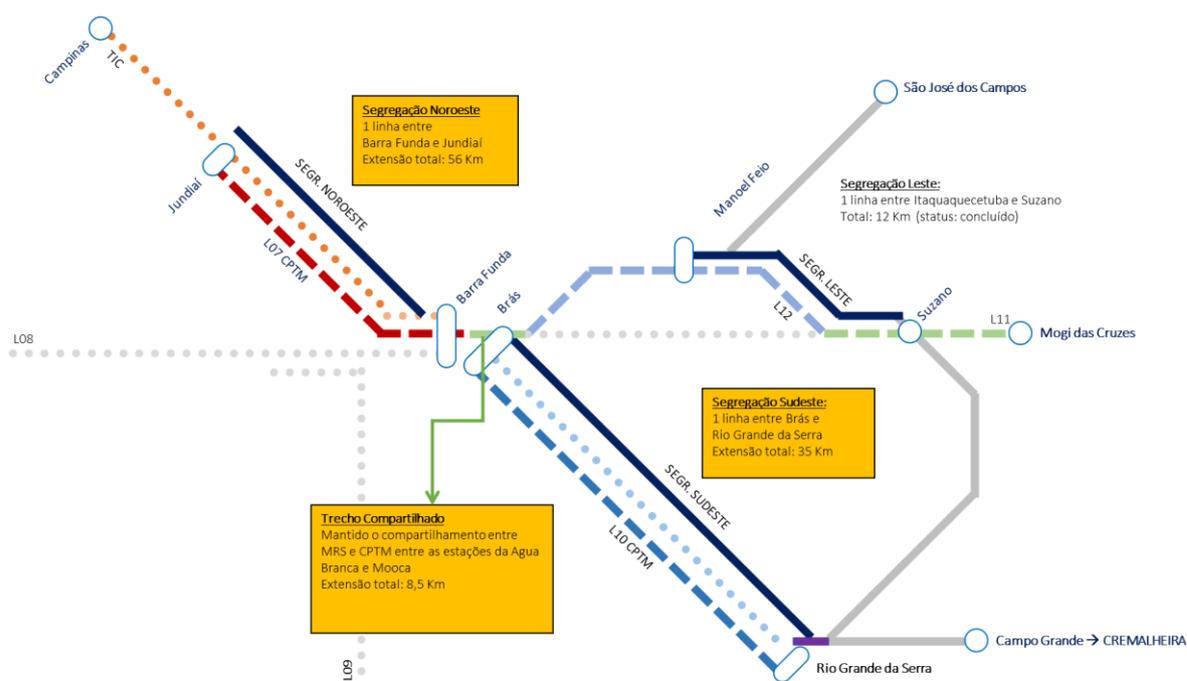


Figura 1 - Mapa de localização – Segregações Noroeste e Sudeste MRS Logística

CONCEPÇÃO DA REDE GEODÉSICA

As redes geodésicas para projetos e obras constituem uma infraestrutura que interliga todas as informações espaciais por um único referencial de alta confiabilidade, conferindo maior poder de informação e capacidade gerencial com a inerente economia de recursos e minimização de perdas.

O Projeto Segregações envolve uma pluralidade e complexibilidade de escopos e se não definidos corretamente ocasionarão insucessos na fase principal que é a captação de dados espaciais da área foco dos projetos. Dessa forma, faz-se necessário garantir que os vértices da rede geodésica sejam implantados de maneira precisa para não acarretar prejuízos à linha férrea, por isso a importância da participação de profissionais com expertise.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Devido essa necessidade preeminente, para a concepção da rede contratou-se consultoria composta por profissionais com expertise na aplicação de tecnologias de implantação de redes geodésicas – Geovector Engenharia Geomática e Fátima Tostes. E em conjunto com a MRS definiram as necessidades do projeto para elaboração do termo de referência para concorrência de empresa especializada na área, que culminou com a contratação da TOPOCART – Topografia, Engenharia e Aerolevantamentos LTDA. Além disso, a consultoria foi responsável pela elaboração do projeto funcional da rede geodésica, acompanhamento, análise técnica da implantação e auditoria da rede final.

As diretrizes básicas para realização da Rede Geodésica Tridimensional da MRS (RGT-MRS) estabeleceram as metodologias para a realização e densificação da rede geodésica, na qual foram utilizadas tecnologias GNSS relativa estática e de nivelamento geométrico de precisão, desenvolvendo-se nas seguintes fases:

- Projeto executivo da rede geodésica;
- Monumentalização, locação e construção dos marcos da rede;
- Coleta de dados, execução das observações em campo;
- Processamento, tratamento e disposição dos dados espaciais;
- Nivelamento geométrico;
- Modelo Geoidal Local (MGL)



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

O **projeto executivo da rede geodésica** contempla os conceitos e procedimentos para o planejamento, projeto e realização. Nesta etapa, a empresa contratada apresentou um planejamento de atividades a serem desenvolvidas, incluindo itens como: apoio logístico necessário; pessoal técnico; instrumentos e equipamentos para execução dos trabalhos.

O planejamento também contém o projeto geométrico executivo da rede, incluindo a localização definitiva de cada vértice, a monumentalização específica de cada vértice e as sessões de rastreio programadas entre os vértices, com as respectivas durações. Todo o detalhamento é apresentado em um plano de trabalho das atividades a serem desenvolvidas, com seus respectivos produtos entregáveis e o cronograma físico financeiro.

Para a **monumentalização**, a RGT-MRS foi composta por vértices com diferentes funções e acurácias, ou seja, há uma hierarquia de vértices (Figura 2).

As redes geodésicas clássicas são classificadas em quatro ordens. A rede de primeira ordem constitui-se de polígonos de lados de grande extensão, que variam entre 20 e 50 km ou mais. A rede de segunda ordem tem lados de comprimentos entre 10 e 20 km. A rede de terceira ordem possui lados que medem entre 5 e 10 km e a rede de quarta ordem possui lados que medem entre 1 e 3 km (LAROCCA, 2000).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

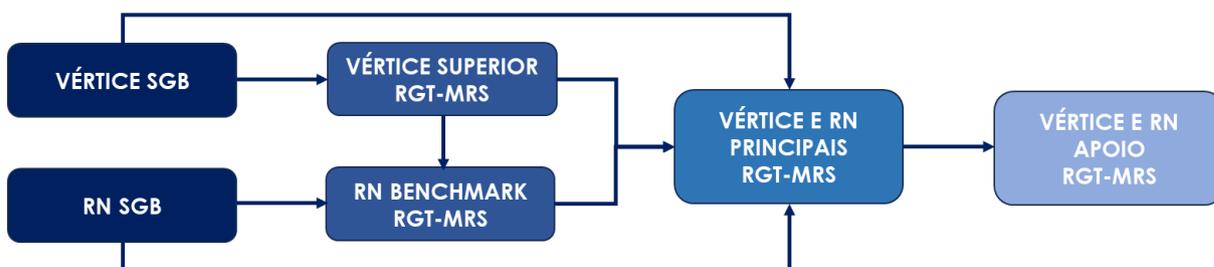


Figura 2 – Hierarquia dos vértices da rede geodésica - RGT-MRS.

A codificação dos vértices obedeceu a nomenclatura apresentada na Tabela 1. A indicação “nnnnn” refere-se número sequencial único do vértice ou RN.

Tabela 1 - Nomenclatura dos vértices e RNs da RGT-MRS

Vértice	Código	Ordem
Vértices Superiores	MRS-1-nnnnn	1ª Ordem
Vértices Principais	MRS-2-nnnnn	2ª Ordem
Vértices de Apoio	MRS-3-nnnnn	3ª Ordem
RN <i>Benchmark</i>	MRS-BM-nnnnn	4ª Ordem
RN	MRS-RN-nnnnn	
RN PS	MRS-PS-nnnnn	

Os projetos tipo de monumentalização foram disponibilizados à empresa contratada. Os vértices superiores são do tipo pilar com centragem forçada. A placa superior do pilar foi fixada com cuidado no seu nivelamento não excedendo 1% ou 0,5° de inclinação com o horizonte, em qualquer direção a partir de seu centro. Os dispositivos de centragem forçada foram fixados no topo dos pilares com erro de verticalidade igual ou inferior a 10'. Os vértices principais e de apoio são marcos de tronco piramidal com bloco e broca. Ressalta-se que o vértice de apoio é intervisível ao marco principal, permitindo o uso de



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

estação total (taqueômetro eletrônico). O vértice do tipo benchmark foi construído ao lado dos marcos de vértice superior, distantes de 2 metros.

No nivelamento geométrico, os pontos de segurança (PS) foram pinos com cabeça esférica, afixados nos postes dos pórticos, mediante furação e uso de resina epóxi com 70 Mpa de resistência.

Na fase de **coleta de dados e observações de campo**, todos os vértices foram vinculados ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) por meio de apoio dos vértices apresentados na Tabela 2 e suas coordenadas foram determinadas por rastreamento de satélites GNSS, com receptores geodésicos de dupla frequência L1/L2.

Tabela 2 - Vértices de apoio do SGB

Município	Vértice
Jundiaí	SAT 93792 (base comunitária em monitoramento contínuo Vasco Vecchiarutti)
São Paulo	Poli – 93800 (RBMC) / EACH 96325 (RBMC)
Valinhos	SAT 91609

Para a determinação das coordenadas tridimensionais de cada vértice, foi realizada a técnica de posicionamento relativo estático, com uso de, no mínimo, 3 Estações Base GNSS coletando dados de forma simultânea. O rastreamento simultâneo de sinais de satélite permitiu formar a tripla diferença de fase e proporcionar a formação de vetores independentes que foram ajustados.

A Figura 3 abaixo ilustra a formação de uma rede através da técnica realizada para este trabalho no levantamento da Rede Geodésica.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

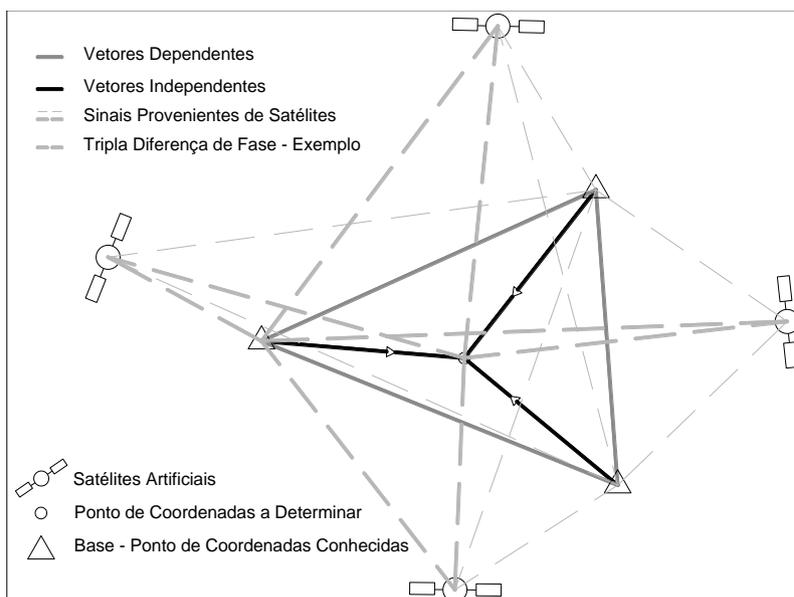


Figura 3 - Exemplos da forma de posicionamento GNSS a ser utilizada para a Rede Geodésica.

Para cada vértice superior foi realizado um mapeamento de obstruções a ser empregado para definir o melhor horário de observações naquele ponto. Para os demais vértices foram feitas avaliações somente nos casos de presença de obstruções. A análise foi atualizada 3 dias antes da observação e apresentada a consultoria para validação.

As efemérides empregadas para produção do almanaque nestas análises foram coletadas por um período superior a 8 horas, em data pretérita distante no máximo 3 dias da análise.

Os horários de observação para qualquer vértice se limitaram entre as 05:00 e 17:00 locais, observando e cuidando para minimizar os impactos do comportamento ionosférico sobre as observáveis.

As observações foram realizadas em períodos em que o GDOP (*Geometric Dilution of Precision*) em cada seção permaneça abaixo de 4 (quatro) por toda a sessão.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Para a RGT-MRS, considerando-se a hierarquia dos vértices, o comprimento dos vetores, o potencial de multicaminhamento de sinais do lugar, a quantidade de satélites disponíveis, o comportamento ionosférico e a acurácia a ser obtida, a empresa contratada definiu a sessão máxima de rastreamento simultâneo para cada vetor.

Na fase de **processamento e tratamento das observações**, todos os vetores a serem processados, analisados e levados a ajustamento eram vetores independentes. O cálculo dos vetores independentes baseou-se em um encadeamento (*coordinate seeding*) a partir de vértices com coordenadas precisamente conhecidas (vértices SGB, Superiores ou Principais).

Os vetores da rede de vértices Superiores foram processados com efemérides precisas IGS. Os vetores da rede de vértices Principais foram processados com efemérides rápidas IGR. E os vetores entre os vértices principais e de apoio foram processados com efemérides transmitidas.

As coordenadas geodésicas ajustadas e convertidas para o Datum SIRGAS2000 foram transformadas para as projeções UTM – Universal Transversa de Mercator e PTL – Plano Topográfico Local (NBR 13133 /2001).

O **nivelamento geométrico** é a operação que visa à determinação do desnível entre dois pontos a partir de leitura de estádias ou código de barras efetuadas com níveis ópticos ou digitais, respectivamente.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O transporte de altitudes foi executado em circuitos de nivelamento com amarração nos vértices de Referência Altimétrica do SGB-IBGE, hgeoHRNOR2020. Estes circuitos foram constituídos de Pontos de Segurança (PS's) materializados com pinos de aço fixados no solo e/ou ainda pelos vértices da Rede Geodésica existentes, implantados em toda a área do projeto.

A acurácia do apoio topográfico altimétrico se expressa pela qualidade do fechamento de circuitos ou linhas, formados por nivelamento, conectando estações de altitudes normais conhecidas. A qualidade do nivelamento geométrico foi controlada com o contranivelamento, seção a seção, observando-se tolerância do erro de fechamento, nas seções, de $6mm * \sqrt{K}$.

O nivelamento consiste em utilizar um equipamento (nível topográfico) que materializa um plano de visada ortogonal ao Geoide. Este equipamento executa leituras em duas miras graduadas idênticas, uma a ré e outra a vante estipulando assim a diferença de nível para os pontos nas bases das duas miras. Este procedimento é realizado em um caminhamento consecutivo e a diferença de nível entre dois pontos é definida pelo somatório das diferenças de nível encontradas em cada lance ou seção (Figura 4).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

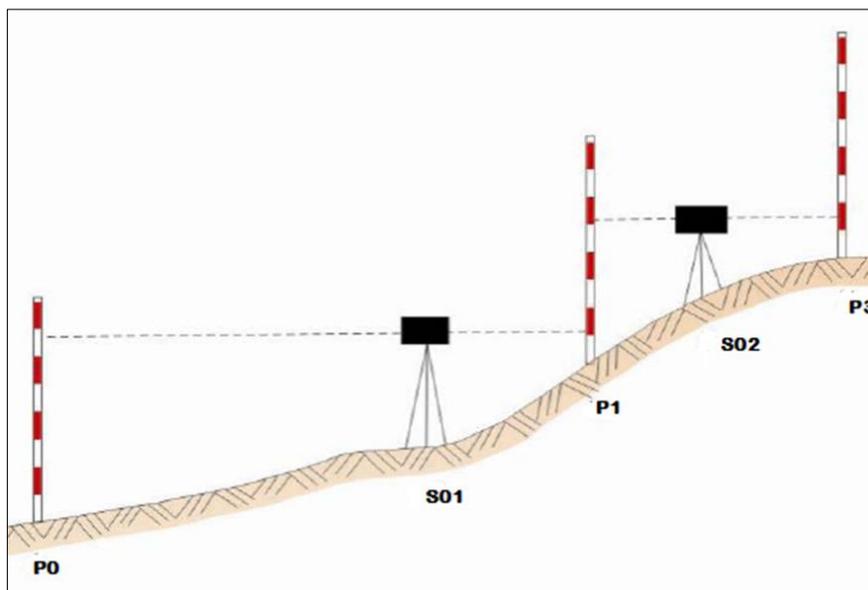


Figura 4 – Metodologia de Nivelamento Geométrico a ser utilizado.

A qualidade das operações de campo na determinação do apoio topográfico altimétrico foi constatada com o controle das diferenças de nível entre o nivelamento e o contranivelamento geométricos, seção a seção, e acumulados na linha ou circuito, observando os valores-limites estipulados pelo Termo de Referência de Contratação.

Na etapa de confecção do **Modelo de Ondulação Geoidal Local - MGL** foram evidenciadas as informações obtidas das diferenças entre as altitudes elipsoidais dos levantamentos geodésicos (vértices do SGB-IBGE e/ou da rede de apoio fotogramétrica) e as altitudes ortométricas dos mesmos vértices obtidas a partir do Nivelamento Geométrico, resultando no conhecimento das Ondulações Geoidais - N e a partir delas a densificação dessa grandeza para toda área do projeto.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A etapa consistiu na obtenção das ondulações geoidais de todos os pontos utilizados no referido projeto. Para os pontos nivelados e ocupados por receptores GNSS temos o cálculo direto da ondulação (real) e para os outros foi feita a interpolação a partir do Modelo de Ondulação Geoidal Local gerado, por exemplo: as altitudes ortométricas dos vértices do apoio suplementar foram obtidas pelo MGL.

A elaboração do Modelo de Ondulação Geoidal Local atendeu os seguintes critérios:

- O MGL tem precisão melhor que 9 cm (estatística resultante da diferença média entre os valores das altitudes ortométricas niveladas comparadas com aquelas obtidas pelo MGL para todos os vértices analisados, com exceção daqueles utilizados para geração do MGL);
- Foram utilizadas referências de nível, oficiais do SGB-IBGE ou levantadas a partir da Rede Altimétrica do SGB-IBGE, rastreadas por receptor GNSS para realizar a aferição e controle do Modelo de Ondulação Geoidal Local;

É importante destacar que os especialistas consultores acompanharam todas as etapas elencadas em conjunto com a empresa executora, bem como validaram os cálculos de ajustamento da rede geodésica.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os serviços de execução da Rede Geodésica Tridimensional MRS foram realizados em 4 meses (2023). A RGT-MRS utilizou como referência principal vértices de primeira ordem do



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

IBGE, homologados junto ao Sistema Geodésico Brasileiro – SGB e o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS2000.

Para obtenção de altitudes normais, onde não foi possível realizar o nivelamento geométrico, utilizou-se o modelo para conversão de altitudes normais a partir do Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais (hgeoHNOR2020) do IBGE.

Para compensação da altura (ou ondulação) geoidal foi confeccionado e utilizado o Modelo de Ondulação Geoidal Local, possibilitando a conversão das altitudes geométricas (elipsoidais), em altitudes ortométricas (geoidais)

REDE GEODÉSICA TRIDIMENSIONAL (RGT-MRS)

A RGT-MRS desempenha um papel de extrema importância na infraestrutura e operações do Projeto Segregações. Além de possibilitar a execução das atividades relacionadas ao projeto, é essencial para todas as outras iniciativas da companhia nos trechos sudeste, noroeste e central, bem como para futuros projetos que utilizem tecnologias avançadas.

A monumentalização, locação e construção dos marcos geodésicos da rede, que serviram como pontos de referência essenciais para as futuras medições e cálculos geodésicos, resultou em uma rede robusta composta por vértices superiores, principais, apoio e benchmarks, totalizando 90 marcos, sendo:

- 9 (nove) **Vértices Superiores - 1ª ordem** (Pilares);
- 39 (trinta e nove) **Vértices Principais - 2ª ordem** (Padrão IBGE);

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- 37 (trinta e sete) **Vértices de Apoio - 3ª ordem** (Padrão IBGE);
- 5 (cinco) **Benchmarks** para o Nivelamento Geométrico.

O processo construtivo e implantação de cada marco foi documentado por imagens sequenciais, tomadas antes e depois da concretagem das estacas, dos blocos e superestrutura acabada conforme definição de projeto tipo de cada marco (**Figura 5 e Figura 6**).

Os recursos mobilizados para a perfuração variaram de acordo com as profundidades, diâmetro desejado, tipo de maciço, coesão do solo, nível de hidratação do maciço e nível do lençol freático (ou curva piezométrica). Utilizaram-se desde trados manuais até perfuratrizes rotativas ou rotopercussivas. Os equipamentos, quando aplicáveis, seguiram as diretrizes da NR-12, garantindo a segurança e o cumprimento das normas vigentes.

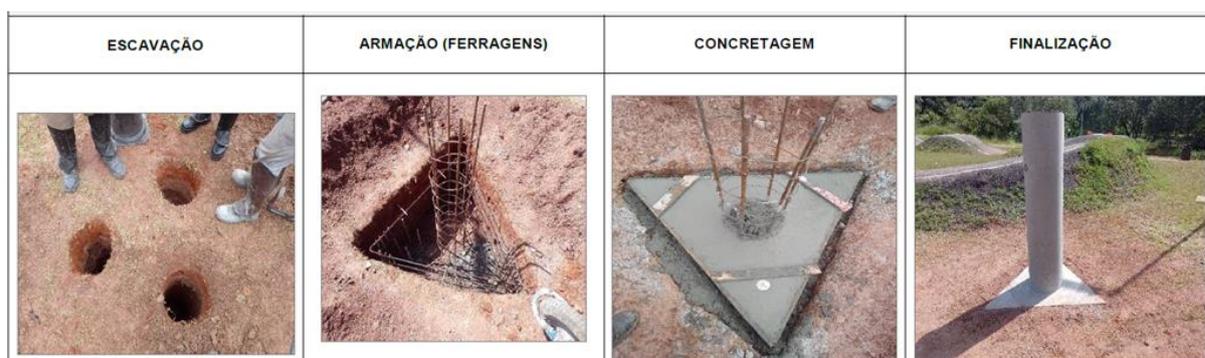


Figura 5 – Monumentalização do Vértice Superior do tipo Pilar (nas imagens: MRS-1-005 Ecoparque Caieiras).

**30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**



Figura 6 – Monumentalização do Vértice Principal Padrão IBGE (nas imagens: MRS-2-028 Ecoparque Caieiras).

A Figura 7 exemplifica os registros fotográficos dos vértices superiores (1ª ordem) implantados do tipo pilar. Na Figura 8 apresenta-se os marcos do tipo padrão IBGE, utilizados nos vértices principais (2ª ordem) e apoio (3ª ordem). Os benchmarks utilizados para o nivelamento geométrico são ilustrados na Figura 9.



Figura 7 – Vértices Superiores: MRS-1-001 (Rio Grande da Serra), MRS-1-002 (Estação Capuava), MRS-1-003 (região de Utinga).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 8 – Marco Principal e Apoio: MRS-2-0007 e MRS-3-0007 (região Santo André).



Figura 9 – Benchmark: MRS-BM-04 (região túnel Botujuru)

Com os **vértices superiores** monumentalizados, a etapa que seguiu foi a coleta de dados através do rastreamento das observações. A fim de evitar problemas no processamento e ajustamento da rede superior, foi realizado o serviço on-line do IBGE-PPP para o processamento de dados GNSS (Figura 10).

O IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) é um serviço para o pós-processamento de dados GNSS, que utiliza o programa CSRS-PPP (*GPS Precise Point Positioning*) desenvolvido pelo NRCan (*Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada*).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

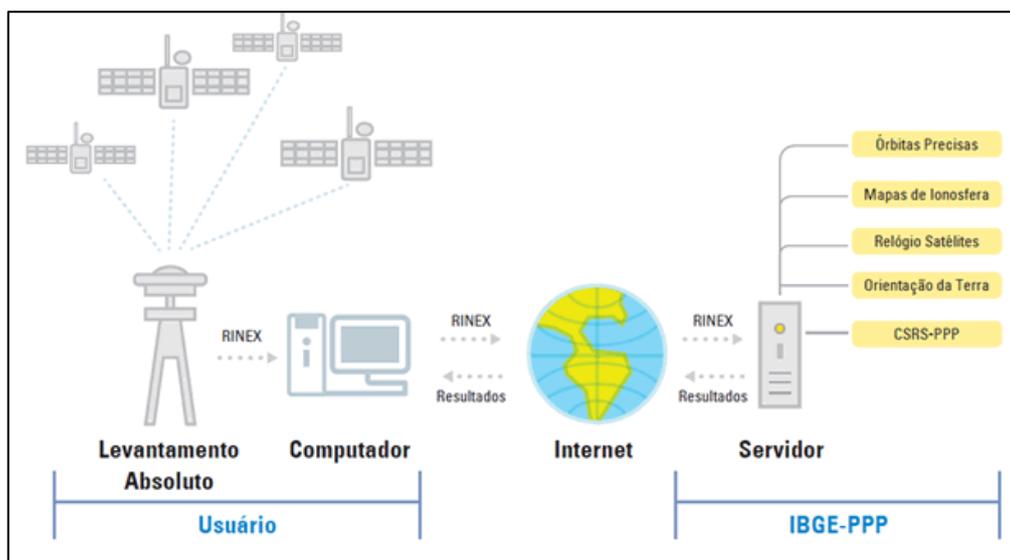


Figura 10 – Fluxo do processamento IBGE-PPP.
Fonte: IBGE.

Os arquivos de coleta são submetidos a plataforma web do IBGE-PPP, que processa dados GNSS (GPS e GLONASS) e fornece os resultados através da emissão de relatórios com coordenadas obtidas e informações estatísticas. Foi submetido ao IBGE-PPP todas as sessões de rastreamento GNSS dos Vértices Superiores, buscando garantir maior confiabilidade nos resultados.

Após o rastreamento dos vértices superiores e análise do PPP, a etapa seguinte foi o tratamento dos vetores observados, processamento e ajustamento da rede superior (1ª ordem), utilizando como referência as RBMC e SAT mencionados anteriormente.

A disposição espacial das bases oficiais (RBMC's - SAT's) e os Vértices da Rede Superior da MRS são apresentados na Figura 11.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

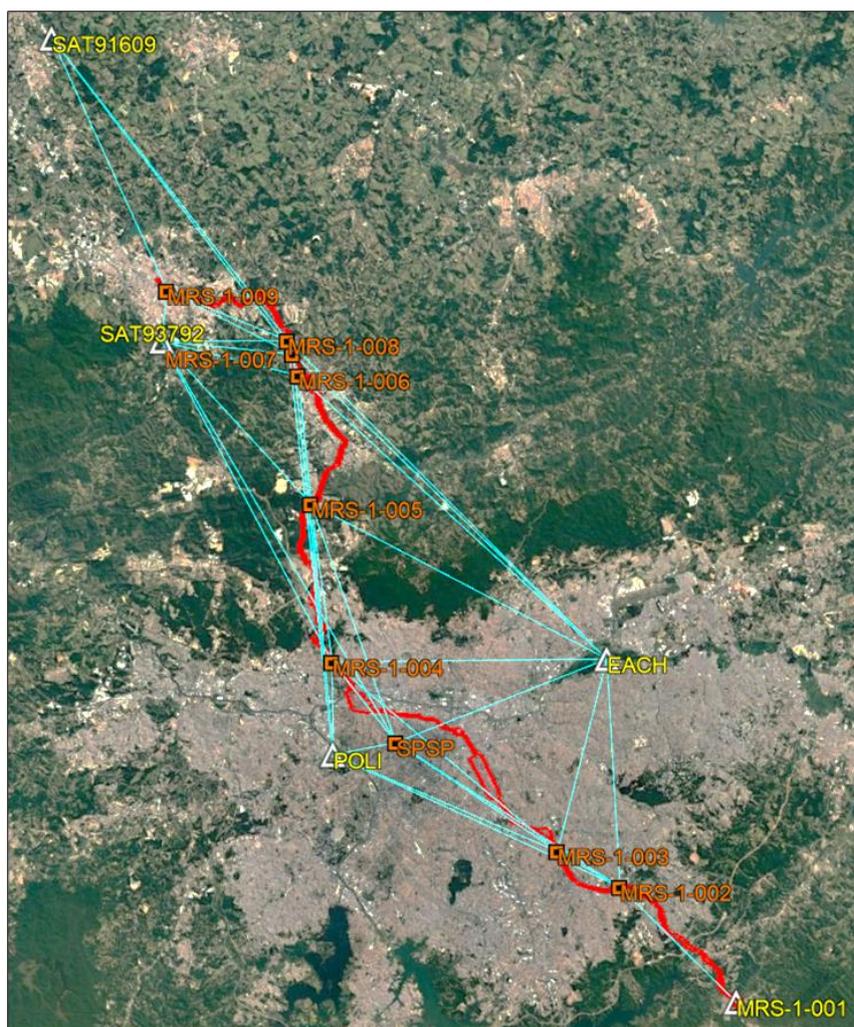


Figura 11 – Vértices Superiores.

Após análise e processamento dos dados observados, foi constatada uma lacuna significativa na rede superior da MRS na região Sudeste. Esse vazio se refere à ausência de uma base oficial de referência geodésica, o que acabou prejudicando a precisão e geometria da rede MRS nessa área. Dessa forma, com intuito de garantir a precisão no ajustamento das observações, foi determinada a necessidade de estabelecer como ponto

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

controle o vértice MRS-1-001. A coordenada utilizada para o ponto MRS-1-001 foi a média das coordenadas obtidas no processamento PPP.

Com os vértices superiores ajustados, a etapa seguinte foi o ajustamento dos **vértices principais** (2ª ordem). O ajustamento dos vértices da rede principal utilizou-se como pontos de controle e ajuste os pontos da RBMC e SAT (base oficial) e os vértices ajustados da Rede Superior.

A Figura 12 apresenta a disposição espacial das bases oficiais (RBMC's - SAT's), os vértices da superiores e os vértices principais.

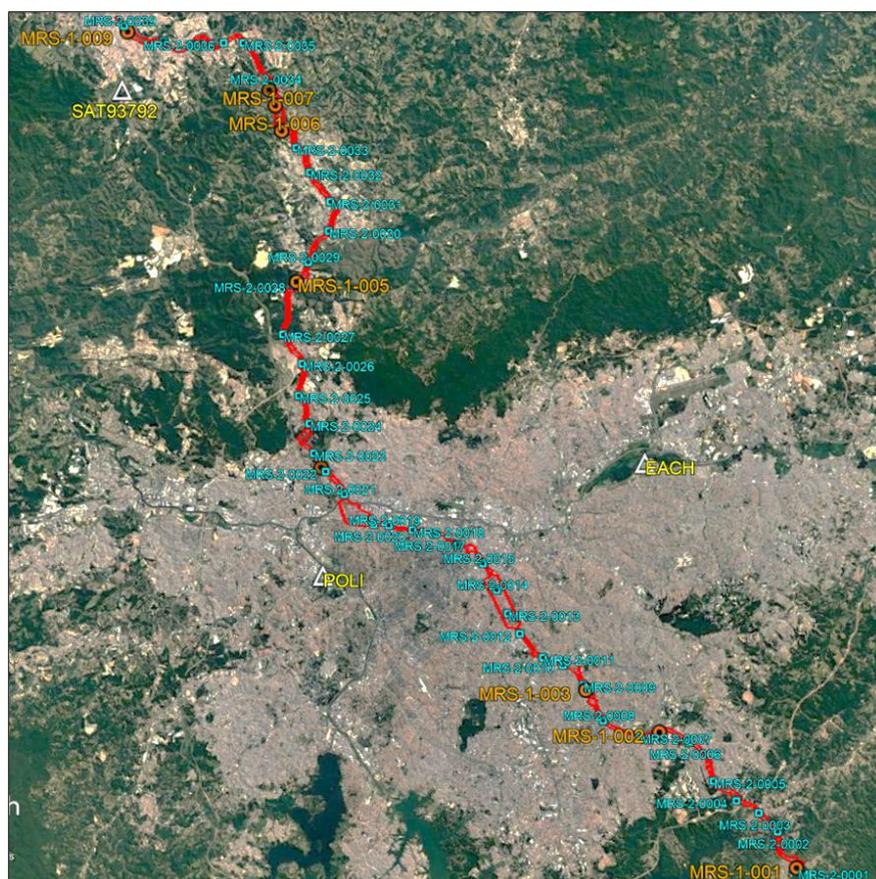


Figura 12 – Vértices Superiores e Vértices Principais.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Após ajustamento dos vértices principais, a etapa que seguiu foi o ajustamento dos vértices de apoio (3ª ordem). Para o cálculo dos vértices da rede de apoio utilizou-se como pontos de controle e ajuste os vértices ajustados da rede principal, sendo assim, as coordenadas da rede de apoio foram derivadas de um vetor direto da rede principal entre os pontos intervisíveis.

A Figura 13 apresenta a disposição espacial dos vértices da rede principal e de apoio.

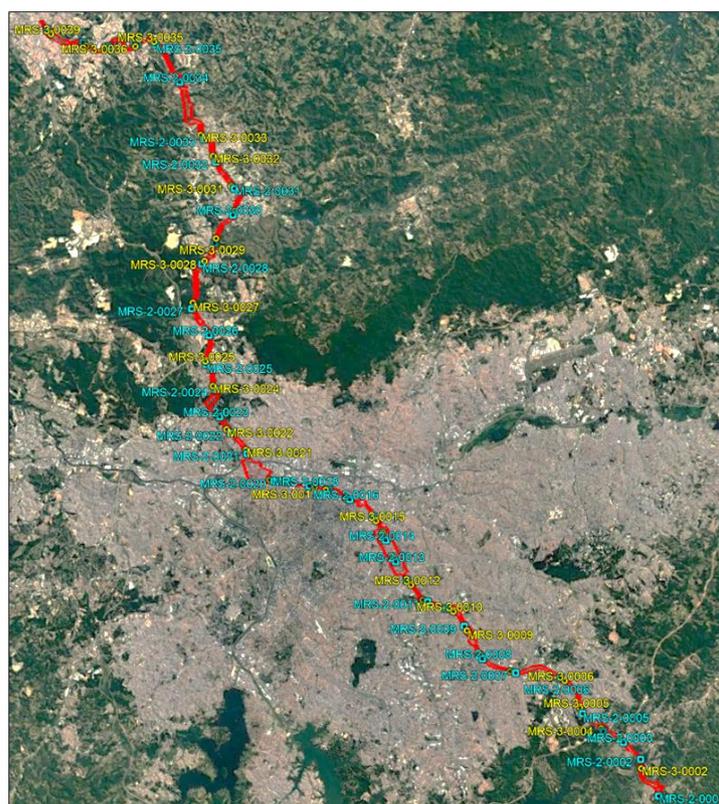


Figura 13 – Vértices Principais e de Apoio.

Na Figura 14 é apresentada a disposição espacial dos Benchmarks implantados.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 14 – Benchmarks Implantados.

A execução do nivelamento geométrico foi realizada com dois tipos de circuitos: os principais e os secundários.

Os circuitos principais foram aqueles realizados em grandes caminhamentos adjacentes às áreas de interesse, levando altitudes ortométricas aos vértices localizados no mesmo e ainda aos pontos de segurança estratégicos para início de outro circuito de nivelamento. Tais circuitos foram realizados prioritariamente e alguns tiveram amarração direta com os vértices altimétricos de referência.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Os circuitos secundários são aqueles utilizados para o transporte das altitudes ortométricas para os vértices da RGT-MRS monumentalizados (vértices superiores, vértices principais e apoio e benchmarks). Estes foram realizados tomando como partida os Pontos de Segurança (PS) deixados nos circuitos de nivelamento principal. Com o resultado do nivelamento geométrico foram obtidas as altitudes normais calculadas para os vértices da RGT-MRS.

O nivelamento e contranivelamento Geométrico foi realizado para transporte da referência de altitude ortométrica a partir da linha de RN's do IBGE para todos os vértices RGT-MRS, totalizando uma extensão nivelada de 129 km distribuídos em 04 circuitos de nivelamento.

A Figura 15 apresenta os circuitos principais do nivelamento geométrico realizado.



Figura 15 – Circuitos Principais do Nivelamento Geométrico.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Para todos os vértices implantados para a RGT-MRS foram elaboradas monografias detalhadas (Figura 16) contendo as coordenadas geográficas no Sistema SIRGAS2000, coordenadas planas no Sistema UTM Fuso 23S e no Sistema Topográfico Local, Altitude Geométrica e Altitude Normal, data de determinação, descrição de itinerário, croqui de localização e fotografia e informações relativas às suas características de monumentalização.

MRS		
RGT-MRS Monografia de Vértices		
Vértice: MRS-1-001	Vértice visado: MRS-2-0001	Projeto/Ano: MRS_LevCad_Segregacoes/2022
Estado: São Paulo	Município: Rio Grande da Serra/SP	Local: Localizado na MRS Rio Grande da Serra
Coordenadas SGR: SIRGAS2000 (Época 2000,4)		
Geodésicas Lat. (S): 23°44'48,885724" Long. (W): 46°23'23,709576" Alt. (h): 749,468		Universal Transversa de Mercator - UTM N: 7373101,289 E: 358345,263 MC: 45 Fuso / Zona: 23
Altitude Normal (Base) (m): 750,8293	Altitude Normal (Centragem) (m): 752,8289	Altura Pilar (m): 2,000
Coordenadas Sistema Topográfico Local		
Origem do plano: ORI_LESTE	$\phi_0 = 23^\circ 32'00,00''$	$\lambda_0 = 46^\circ 13'00,00''$
Referencial: LESTE	X: 284925,668	Y: 328300,383
		Altitude Normal (Centragem) (m): 752,8289
Desvio-Padrão após Ajustamento		
Sigma Latitude(m) 0,006	Sigma Longitude(m) 0,012	Sigma Altitude Geométrica(m) 0,018
Descrição:		
Marco de pilar no formato cilíndrico de concreto armado com diâmetro de 40cm e altura de 200cm confeccionado em fundação de bloco triangular e estacas cilíndricas de concreto armado, contém pino de aço centragem forçada no topo do pilar, placa de identificação na lateral à 20cm do topo do pilar e uma chapa de identificação na fundação (Base) triangular à 20cm do pilar.		
Itinerário:		
Partindo-se do portão de acesso principal da Estação Rio Grande da Serra, segue-se 459m sentido à Estação Ferroviária de Campo Grande até um local onde MRS-1-001 está localizado na margem esquerda da ferrovia.		
Imagem Panorâmica:	Foto do Local:	
		

Figura 16 – Monografia do Vértice MRS-1-001 (Estação Rio Grande da Serra)

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Para a confecção do Modelo de Ondulação Geoidal Local (MGL) foram utilizados os vértices do SGB-IBGE e da rede de apoio localizados dentro do limite do projeto e escolhidos estrategicamente segundo sua distribuição espacial. As ondulações geoidais desses vértices foram calculadas a partir das altitudes geométricas e ortométricas, através da seguinte equação aproximada:

$$H = h - N$$

Onde:

H: Altitude Ortométrica

h: Altitude Geométrica

N: Ondulação Geoidal

A Figura 17 ilustra como os sistemas de referências e suas respectivas medidas associadas e como estas se correspondem no espaço.

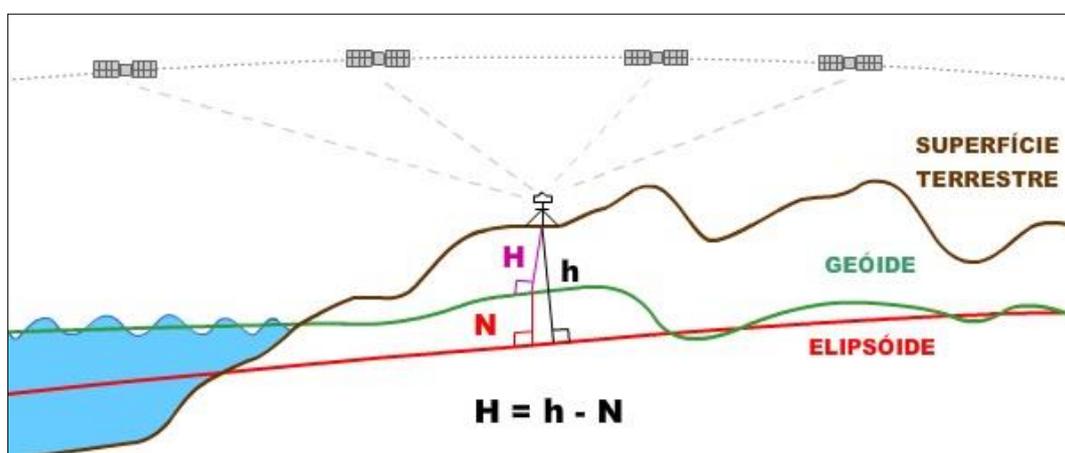


Figura 17 – Ondulação Geoidal.

Fonte: IBGE



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Foram utilizados 12 vértices buscando a configuração adequada para geração das isolinhas do Modelo Geoidal Local (MGL). A Tabela 3 apresenta os valores das ondulações geoidais obtidas para cada vértice.

Tabela 3 - Vértices utilizados no MGL-MRS.

Vértices	Este	Norte	Altitude Geométrica	Altitude Ortométrica	Ondulação Geoidal
MRS-PS-00001	358380,639	7372792,095	748,948	752,301	-3,353
MRS-4-0003	354736,219	7377588,460	768,424	771,693	-3,269
MRS-4-0001	343433,542	7384945,781	738,997	742,192	-3,195
MRS-PS-00072A	335302,178	7394642,694	728,692	731,802	-3,110
MRS-PS-00122	320806,764	7407974,824	813,463	816,506	-3,043
MRS-4-0004	321265,741	7415670,784	721,321	724,284	-2,963
MRS-2-0037	313360,198	7432471,087	719,842	723,123	-3,281
MRS-4-0002	316317,363	7432594,198	741,853	745,083	-3,230
RN2862M	317470,575	7432670,117	734,376	737,551	-3,175
MRS-2-0035	317126,380	7432656,342	738,858	742,080	-3,222
MRS-2-0036	315682,216	7432652,705	728,501	731,749	-3,248
MRS-2-0039	308369,338	7433823,936	703,744	707,117	-3,373
MRS-PS-00001	358380,639	7372792,095	748,948	752,301	-3,353

O conjunto de vértices com ondulação geoidal determinada foi utilizado para composição de uma Superfície Geoidal Local através do método de Interpolação de Polinômios. Com as Ondulações Geoidais e coordenadas planimétricas posicionais foi possível confeccionar o Modelo de Ondulação Geoidal Local (MGL), utilizando-se os resultados obtidos da Interpolação Polinomial com posterior geração das isolinhas de ondulação.

Na geração das isolinhas de ondulação do Modelo de Ondulação Geoidal Local foi utilizado o software AutoCAD Civil 3D. O software representa as isolinhas por aproximação de valores segundo as distâncias entre os vértices e as variações de ondulação dos mesmos.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A Figura 18 a seguir mostra o Modelo Geoidal Local gerado para toda a extensão do projeto.

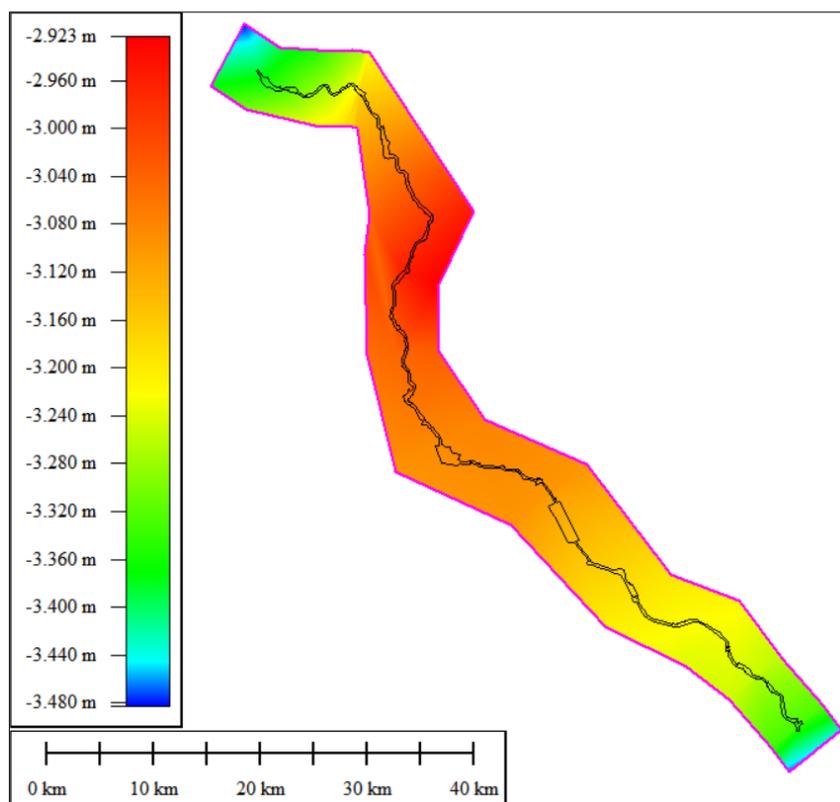


Figura 18 – Modelo de Ondulação Geoidal IBGE hgeoHNOR2020, recortado para o limite do projeto.

Em seguida, realizou-se a análise do MGL a partir de comparações entre as superfícies do Modelo Geoidal Local e o hgeoHNOR para toda a área de estudo. A Tabela 4 apresenta a diferenças encontradas nos vértices utilizados para a composição do MGL, onde é possível constatar que a diferença obtida pode variar em até 0,20 m.

O transporte das altitudes ortométricas foi realizado utilizando a ondulação geoidal obtida a partir do Modelo Geoidal Local para todos os vértices e pontos do apoio de campo.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Tabela 4 - Diferenças de Ondulação Geoidal (Δ) para o N (Nivelamento Geométrico) x N (MGL).

Ponto	Alt. Geom. (m)	N (hgeoHNOR)	N (Niv. Geom)	Dif. Ondulação (m)	Alt. Ortométrica (m)
MRS-PS-00001	748,948	-3,610	-3,353	0,257	752,301
MRS-4-0003	768,424	-3,450	-3,269	0,181	771,693
MRS-4-0001	738,997	-3,220	-3,195	0,025	742,192
MRS-PS-00072A	728,692	-3,160	-3,110	0,050	731,802
MRS-PS-00122	813,463	-3,080	-3,043	0,037	816,506
MRS-4-0004	721,321	-3,080	-2,963	0,117	724,284
MRS-2-0037	719,842	-3,360	-3,281	0,079	723,123
MRS-4-0002	741,853	-3,310	-3,230	0,080	745,083
RN2862M	734,376	-3,290	-3,175	0,115	737,551
MRS-2-0035	738,858	-3,300	-3,222	0,078	742,080
MRS-2-0036	728,501	-3,320	-3,248	0,072	731,749
MRS-2-0039	703,744	-3,470	-3,373	0,097	707,117

Para validação do MGL foram utilizados os Vértices Implantados pertencentes a RGT-MRS, que tiveram as grandezas (h e H) conhecidas e que não compuseram a confecção do MGL.

Devido a extensão do projeto da linha férrea foram definidos 3 (três) planos topográficos locais, formando um Sistema Topográfico Local (STL) que abrange toda a área do empreendimento, com possibilidade de utilização para projetos futuros de expansão da empresa,

SISTEMA TOPOGRÁFICO LOCAL - MRS

A utilização de equipamentos GNSS (*Global Navigation Satellite System* – Sistema Global de Navegação por Satélite) facilitou a obtenção de coordenadas geodésicas dos pontos, estas que são possíveis transformar em planas, as projeções Transversa de Mercator (TMs)



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

com predominância da UTM, que no caso se torna incompatível com a precisão esperada devido a distorção que ela apresenta comparando com o levantando in loco (DAL'FORNO; AGUIRRE; HILLEBRAND; et al, 2010),

O uso da projeção UTM na locação de obras, por exemplo, requer a transformação da distância plana na sua equivalente na superfície topográfica, através da aplicação do coeficiente de deformação linear e do fator de ampliação devido à altitude da superfície topográfica, onde se desenvolverá o trabalho ou se analisará as informações (GIOVANINI, [s,d,]),

Uma linha férrea é uma estrutura linear com vários milhares de quilômetros de extensão. Sob tais condições, a precisão do resultado pode ser significativamente afetada pela projeção cartográfica adotada para criar o sistema de coordenadas (KANASHIN, 2023),

Os levantamentos geodésicos para fins topográficos, de características locais, dirigem-se ao atendimento dos levantamentos no horizonte topográfico; correspondem aos critérios em que a exatidão prevalece sobre simplificações impostas para a figura da Terra, (IBGE, 1983)

A NBR 14166 apresenta a definição de sistema topográfico local como uma representação em planta das posições relativas de pontos de um levantamento topográfico com origem em um ponto de coordenadas geodésicas conhecidas, onde todos os ângulos e distâncias de sua determinação são representados, em verdadeira grandeza, sobre o plano tangente à superfície de referência (elipsoide de referência) do sistema geodésico adotado, na



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

origem do sistema, no pressuposto de que haja, na área de abrangência do sistema, a coincidência da superfície de referência com a do plano tangente, sem que os erros, decorrentes da abstração da curvatura terrestre ultrapassem os erros inerentes às operações topográficas de determinação dos pontos do levantamento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

O Sistema Topográfico Local (STL), normatizado pela NBR 14166 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998), desconsidera a curvatura da Terra e é perpendicular à vertical do lugar no ponto da superfície terrestre considerado como origem do levantamento. Sendo assim, é um sistema plano-retangular X, Y que representa as posições de pontos de um levantamento topográfico (Figura 19). Uma terceira grandeza, a altura (cota ou altitude) junta-se às coordenadas planas X e Y, determinando a posição tridimensional dos pontos. A origem deste sistema de coordenadas planas é um vértice geodésico com coordenadas geodésicas conhecidas e o plano de referência é tangente, neste ponto, ao geóide, ou matematicamente, à superfície de referência (elipsóide de referência) do sistema geodésico adotado (BORGES, 2016).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

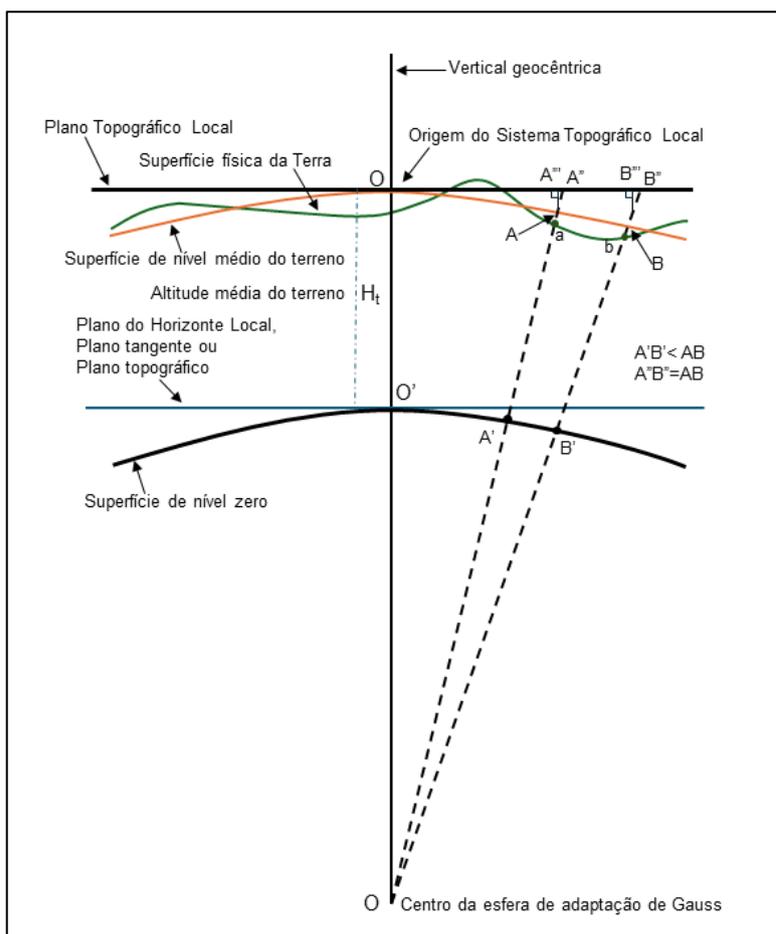


Figura 19 – Sistema Topográfico Local.

Devido à extensão do empreendimento e recomendações da NBR 14166, foi necessário a composição de mais de um sistema topográfico local que abrangesse todo o empreendimento, bem como possibilitasse a utilização em projetos futuros de expansão (por exemplo, projetos da Baixada Santista).

Sendo assim, o Sistema Topográfico Local (STL-MRS) adotado pela MRS Logística foi composto por três sistemas topográficos (Figura 20), denominados: STL-Noroeste, STL Central e STL-Leste.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

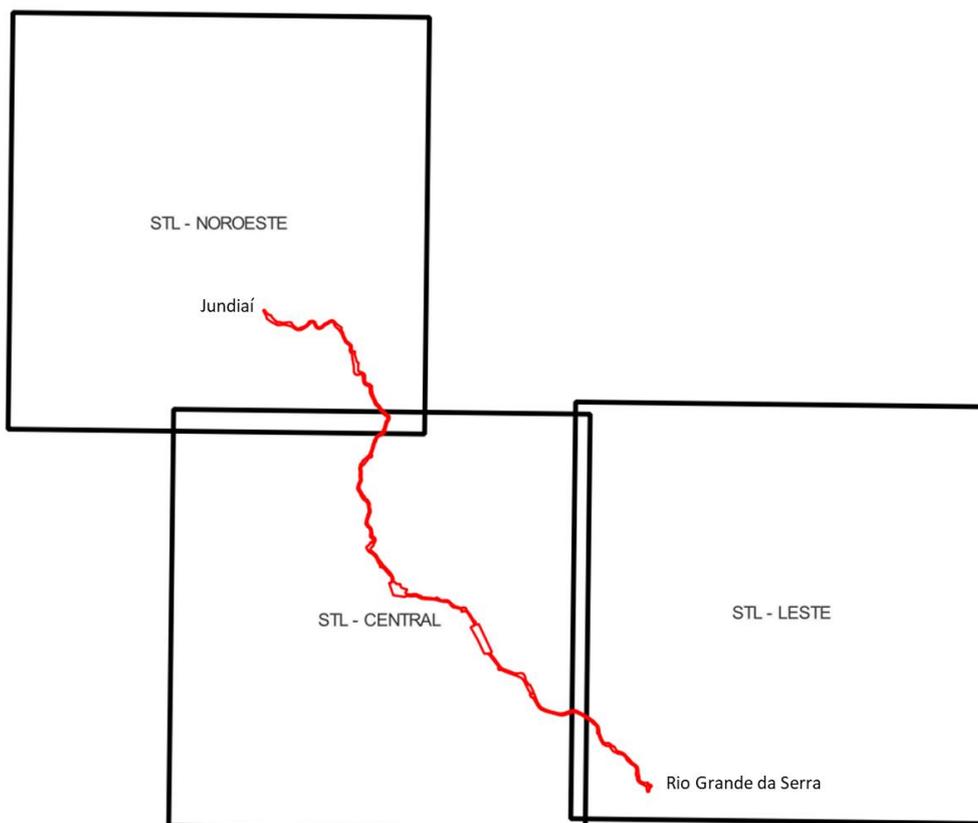


Figura 20 - Representação dos STL criados para o limite do projeto.

Todos os sistemas topográficos possuem seus parâmetros de conversão independentes e devem ser utilizados para conversão entre as projeções e sistemas. A Tabela 5 apresenta os parâmetros dos STL's criados para o projeto.

Tabela 5 – Parâmetros dos STL's

STL - NOROESTE	STL - CENTRAL	STL - LESTE
Descrição: NOROESTE	Descrição: CENTRAL	Descrição: LESTE
Ponto Central: ORI_NOROESTE	Ponto Central: SAT91618	Ponto Central: ORI_LESTE
ϕ (lat)= S23°05'00,00"	ϕ (lat)= S23°33'02,75032"	ϕ (lat)= S23°32'00,00"
λ (long)= O46°56'00,00"	λ (long)= O46°43'54,29090"	λ (long)= O46°13'00,00"
H= 786 m	H= 760 m	H= 773 m



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

X= 229338,307 m	X= 250000,000 m	X= 302505,581 m
Y= 401754,710 m	Y= 350000,000 m	Y= 352031,911 m
Z= 760 m	Z= 760 m	Z= 780 m
Ângulo Rotação: 0°05'25,25"	Ângulo Rotação: 0°00'00,00"	Ângulo Rotação: 0°12'22,34"

CONCLUSÕES

A implantação de redes geodésicas traz uma série de benefícios para a engenharia, sendo imprescindível para elaboração de projetos mais precisos, seguros e eficientes. A criação de uma referência espacial consistente, garante que todos os pontos da rede estejam relacionados entre si de forma precisa e confiável. Essa consistência é fundamental para a integração de dados geospaciais, permitindo o cruzamento e complementação de informações provenientes de diferentes fontes.

Erros não detectados podem influenciar nos resultados, comprometendo todas as demais soluções apoiadas na rede geodésica. Portanto, é fundamental que a rede geodésica seja projetada e planejada por profissionais experientes e capacitados com expertise em âmbito acadêmico e profissional.

A rede geodésica tridimensional do projeto Segregações (RGT-MRS) foi concluída constituindo-se por 90 (noventa) vértices superiores (1ª ordem), principais (2ª ordem) e apoio (3ª ordem), conforme orienta a resolução NR 22 - Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em território brasileiro.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O nivelamento geométrico foi realizado em dois tipos de circuitos, sendo principais e os Secundários. Os circuitos principais foram executados em grandes caminhamentos adjacentes às áreas de interesse, transportando as altitudes ortométricas aos vértices e aos pontos de segurança estratégicos. Os circuitos secundários foram utilizados para o transporte das altitudes ortométricas para os vértices de RGT-MRS.

Em virtude da extensão do empreendimento foi necessário a composição de mais de um sistema topográfico local que abrangesse todo a área de interesse. Sendo assim, o Sistema Topográfico Local (STL-MRS) adotado pela MRS Logística foi composto por três sistemas topográficos, denominados: STL-Noroeste, STL Central e STL-Leste.

Devido ao planejamento bem estruturado e a execução precisa das fases, a RGT-MRS se consolidou como uma base sólida para a gestão eficiente de informações espaciais em todos os âmbitos do projeto, desde os serviços preliminares a serem utilizados nas fases de projeto básico e executivo, como também na utilização na locação do projeto na fase de obra, gestão fundiária e quaisquer outros serviços que necessitem de referencial topográfico de precisão.

Na fase do projeto básico a RGT-MRS deu suporte à execução de todos os produtos de dados geoespaciais, como o apoio ao levantamento aerofotogramétrico, levantamento por laser scan 3D das estações CPTM existentes, mapeamento de interferências subterrâneas, levantamentos complementares por topografia tradicional e locação de sondagens e



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

batimetria, bem como proveu toda a base de informações para o projeto básico que atualmente está em desenvolvimento.

Como resultado da alta precisão proporcionada pela RGT-MRS, somado ao cuidadoso planejamento da execução e elevada qualidade e confiabilidade dos dados espaciais gerados através dos diversos tipos de levantamentos realizados, a MRS Logística já tem usufruído de ganhos significativos na etapa de projeto básico do Projeto Segregações, provenientes da maior precisão da locação do traçado em planta e perfil da ferrovia a ser implantada, com destaque para as otimizações generalizadas nas soluções de engenharia (principalmente quanto à redução dos volumes de corte e aterro), redução em interferências com as estruturas de rede aérea das vias CPTM e diminuição da necessidade de ocupação de áreas fora da faixa de domínio ferroviária.

Por fim, cabe destacar que a rede RGT-MRS foi concebida de forma a possibilitar a sua expansão futura, como por exemplo, para aplicação em projetos da Baixada Santista e Vale do Paraíba, além de viabilizar a sua utilização por outros projetos colocalizados (como o Trem Intercidades São Paulo-Campinas) e por demais iniciativas de interesse público, podendo citar projetos futuros da CPTM e Metrô-SP. A rede ainda viabiliza a possibilidade de utilização em futuros projetos de geoprocessamento por meio de tecnologias avançadas, como sistemas de informações espaciais, Building Information Modeling (BIM) e gêmeos digitais (digital twins).



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR-13133: Execução de Levantamento Topográfico.** Agosto, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR- 14166: Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento.** Agosto, 1998.

GIOVANINI, A. **Plano topográfico: o que é e para que serve?**. Disponível em <https://adenilsongiovanini.com.br/blog/plano-topografico/>. Acesso em 01/07/2024.

BLITZKOW, D.; MATOS, A. C. C. A Evolução dos referenciais usados em Geodésia: a Era Moderna. **Boletim de Ciências Geodésicas**, 8. v. 8, n. 1, p. 3–16, 2002.

DAL'FORNO, G. L. et al. **Transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas no plano topográfico local pelos métodos da Norma NBR 14.166:1998 e o de rotações e translações.** Recife: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resolução PR Nr 22 - Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos.** Julho, 1993.

KANASHIN, N. Geodetic network for the construction of the high-speed railway line. **E3S Web of Conferences**, v. 383, p. 02007, 24 abr. 2023.

KOC, W.; SPECHT, C. **Application of the Polish active GNSS geodetic network for surveying and design of the railroad.** CETRA 2010 - First International Conference on Road and Rail Infrastructure, 17 maio 2010.

KOC, W.; SPECHT, C. Selected Problems of Determining the Course of Railway Routes by Use of GPS Network Solution. **Archives of Transport**, v. 23, n. 3, p. 303–320, 1 jan. 2011.

LAROCCA, A. P. C. **Análise de Estratégias para Processamento de Redes Geodésicas com o Sistema de Posicionamento Global - GPS.** Dissertação—São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

VARGAS, R. R. et al. Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento e acesso a informações de redes geodésicas eficiente. **Página | 26 R. Bras. Geom**, v. 8, n. 1, p. 26–039, 2020.