



32^a

**SEMANA DE
TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA**

**GRAVIMETRIA NA
GEOMÁTICA METROVIÁRIA:
FUNDAMENTO FÍSICO
INDISPENSÁVEL A
PROJETOS EXTENSOS**

SILVIA REGINA BORGES,
CELSO COSTA DIAS,
JOSÉ ALEXANDRINO, KAUÃ MOREIRA SILVA

A Ilusão da Precisão



GNSS



Drones



Escaneamento 3D



BIM

**A precisão geométrica
não garante a coerência
física.**

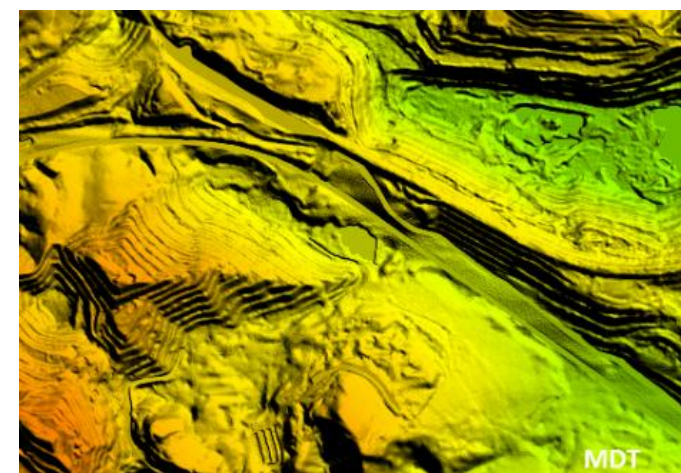
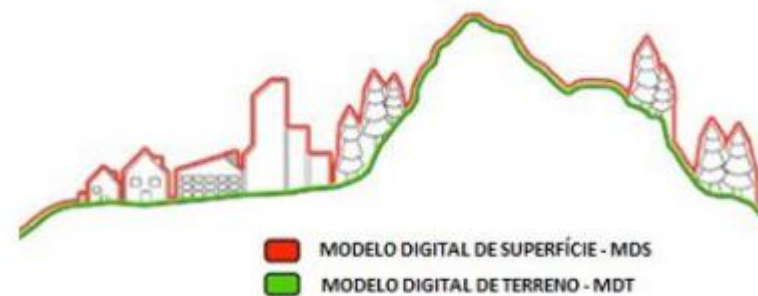
O Vazio Metodológico



MDS/ MDT



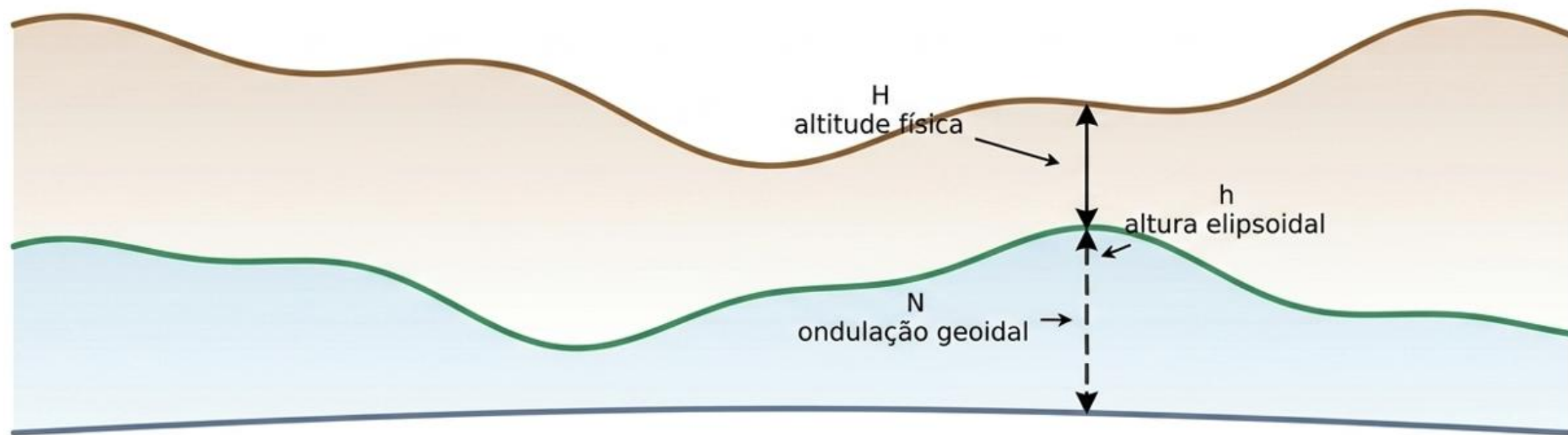
Fonte: <https://tecterra.com.br/altimetria-curvas-de-nivel>



Fonte: <https://tecterra.com.br/altimetria-curvas-de-nivel>

Elipsoide, Geoide e Altitude Física

A gravimetria qualifica o geoide e melhora a consistência da altitude física.



- Elipsoide
- Geoide
- Terreno / infraestrutura

A ORIGEM DO REFERENCIAL DE ALTITUDE NO BRASIL

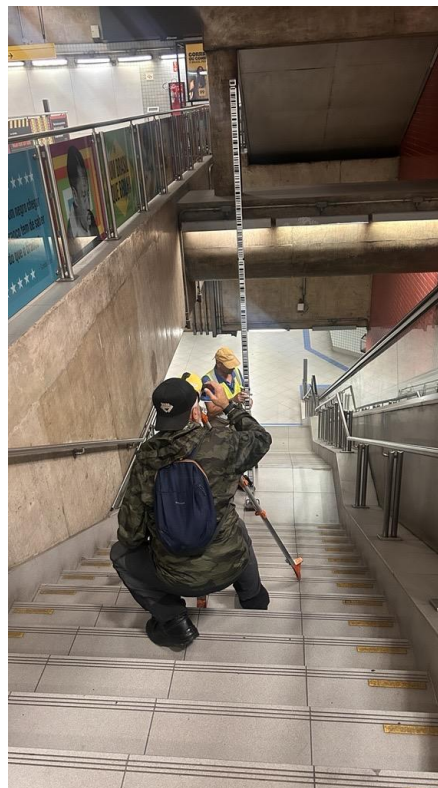
Fonte: Leandro França





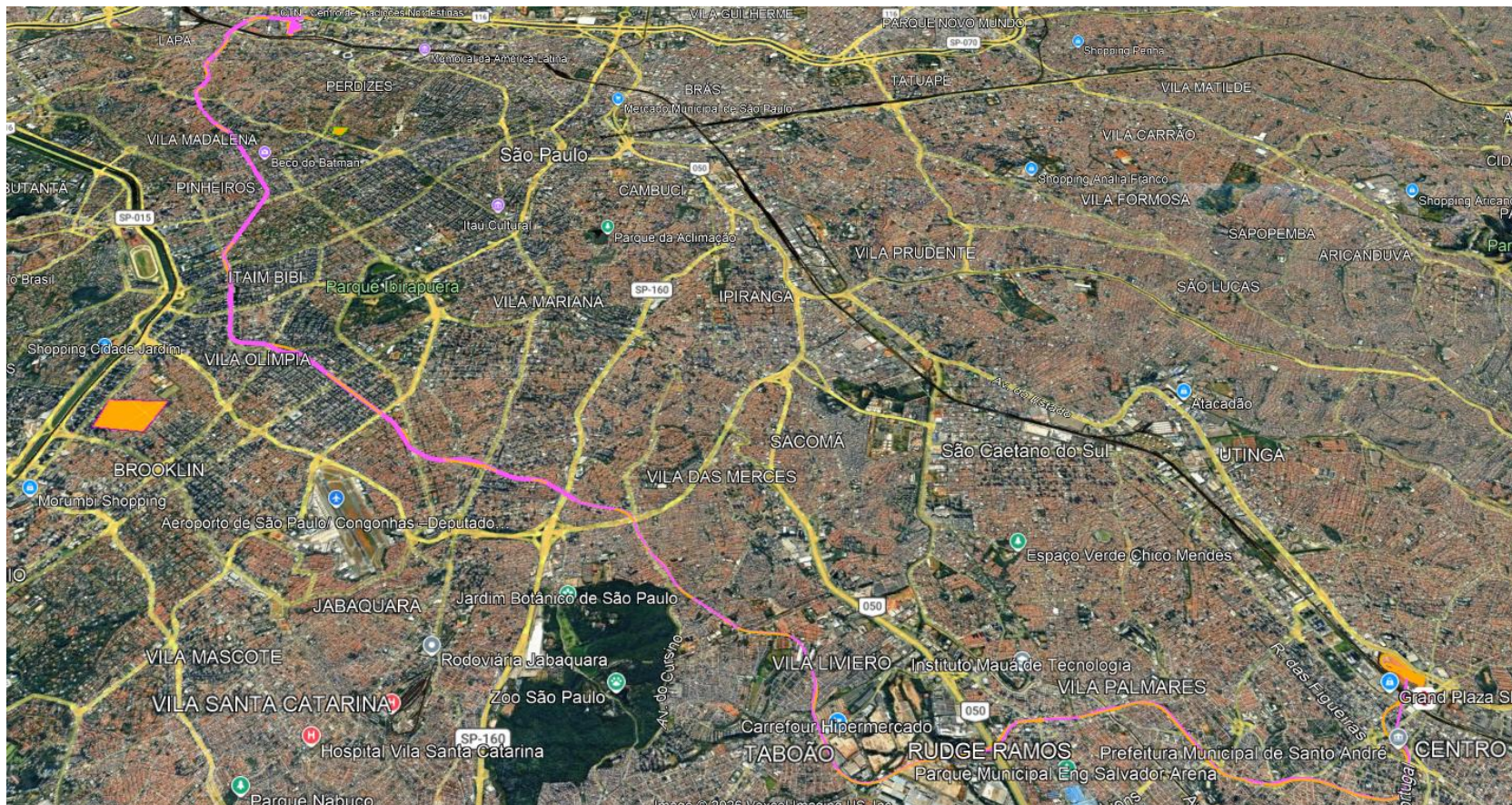
Fonte: Arquivo pessoal

Altitude transportada com nivelamento geométrico



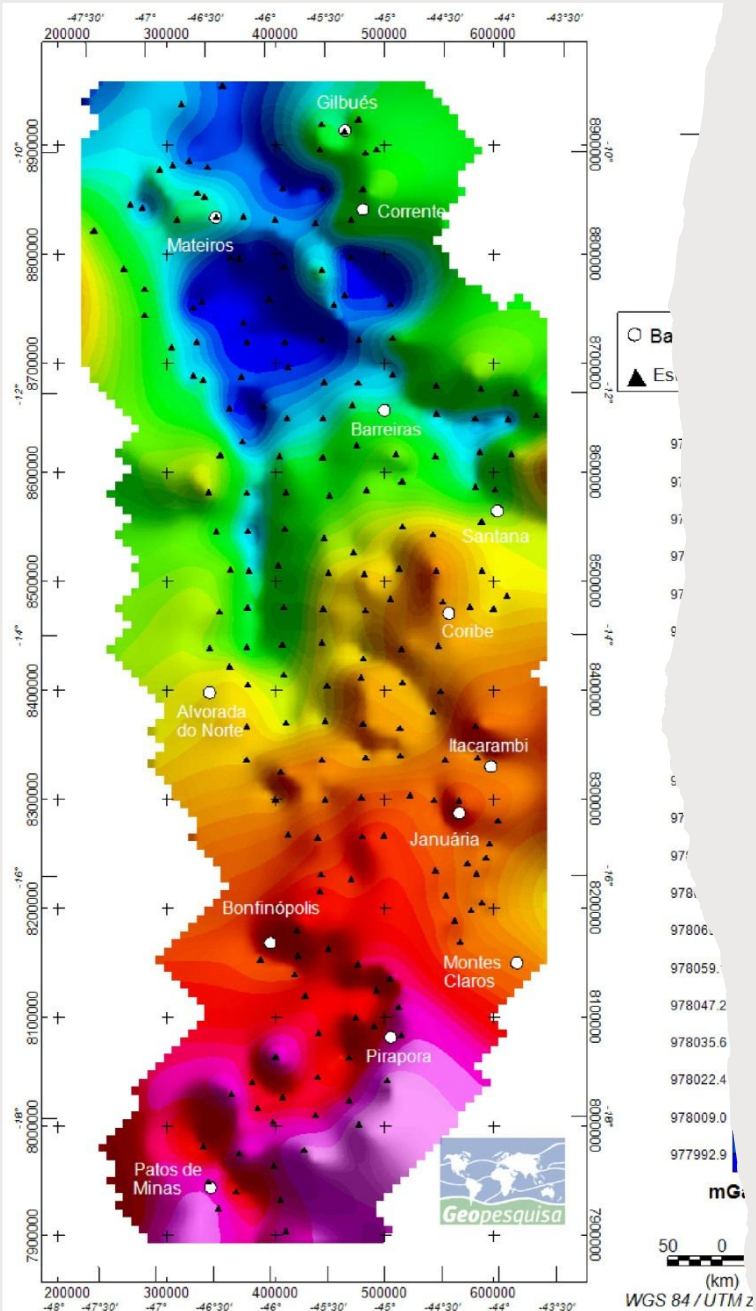
Fonte: Arquivo pessoal

Nivelamento geométrico a partir de referenciais do Metrô



Fonte: Google Earth

Linha 20- Rosa: Cerca de 32 km de extensão, 24 estações, conectando São Paulo, São Bernardo do Campo e Santo André



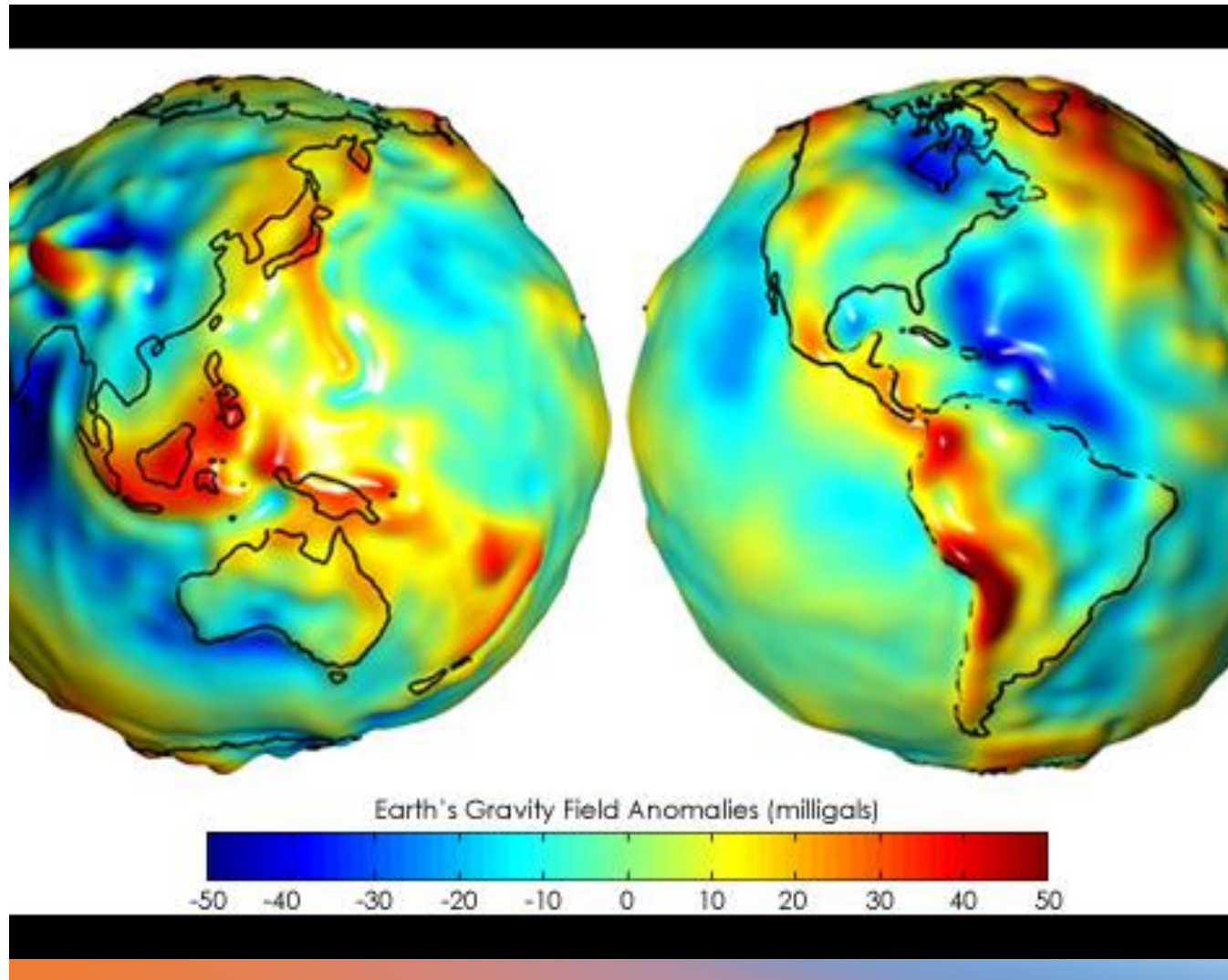
Mapa de Gravidade

O método gravimétrico baseia-se na determinação das variações do campo gravitacional resultante das diferenças de densidade entre os diversos tipos de rochas.

As medidas são efetuadas utilizando-se gravímetros, e requer alta precisão, pois as variações nos valores da aceleração da gravidade ocasionadas pela mudança de densidade das rochas são muito pequenas.

A interpretação da anomalia gravimétrica consiste em determinar a diferença de densidade entre os diferentes tipos de rochas ou de uma estrutura geológica. Os resultados de um levantamento gravimétrico geralmente são apresentados na forma de mapas e perfis.





- Representação gráfica das anomalias de gravidade

Por que Gravimetria?

**A aceleração
da gravidade
terrestre não
é constante.**

Ao medir a variação gravitacional,
refinamos o modelo geoidal. Apenas assim
garantimos a sustentação do projeto em um
referencial físico verdadeiro.

A Prova em Dados

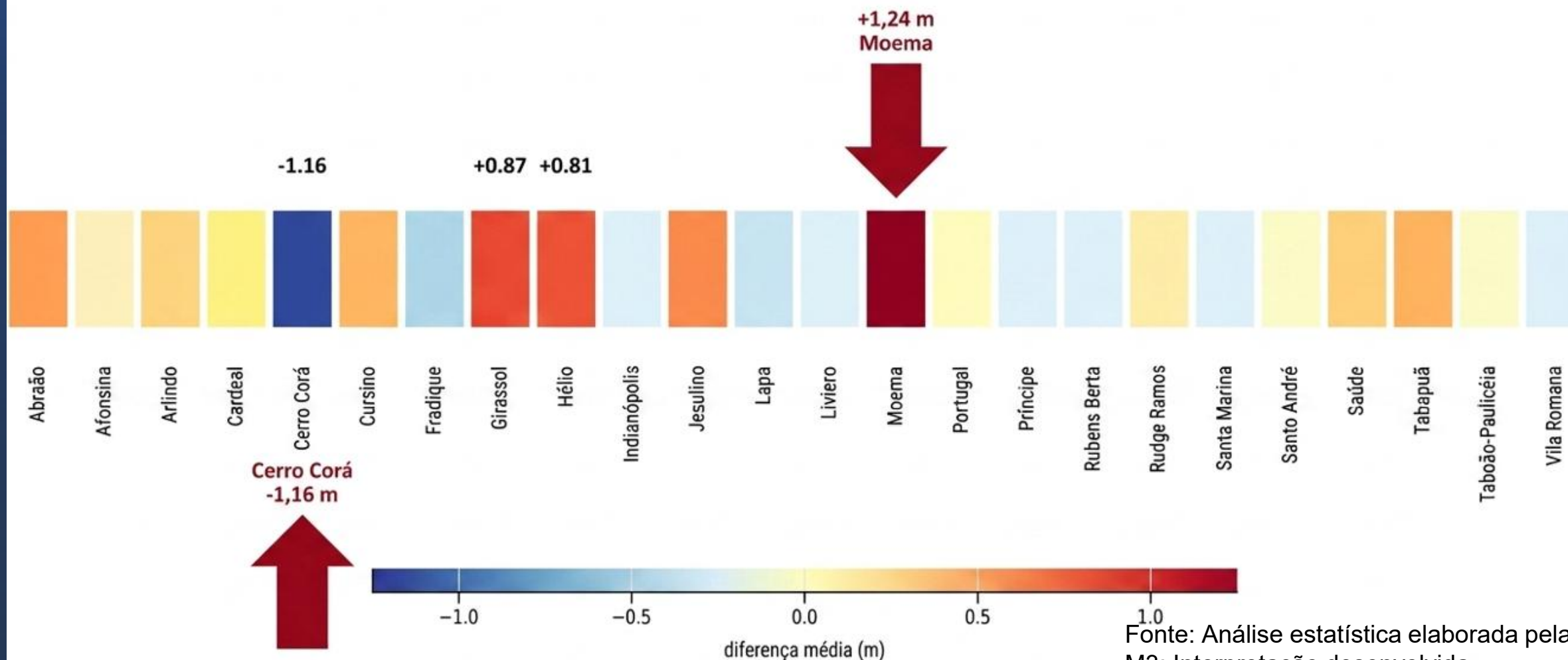
107.746

**Pontos validados em análise de
discrepância altimétrica no
Metrô de São Paulo.**

Comparação: MDT nivelado/ Modelado vs. Cota elipsoidal/ Cartográfica. (Teste de Wilcoxon Signed- Rank).

Fonte: Análise estatística elaborada pela M3: Interpretação desenvolvida

Diferenças Altimétricas Médias por Estação



O Custo da Omissão

INCONSISTÊNCIA

(Modelos MDT e
Projetos incompatíveis)

RETRABALHO

(Revisão forçada
de greides)

RISCO

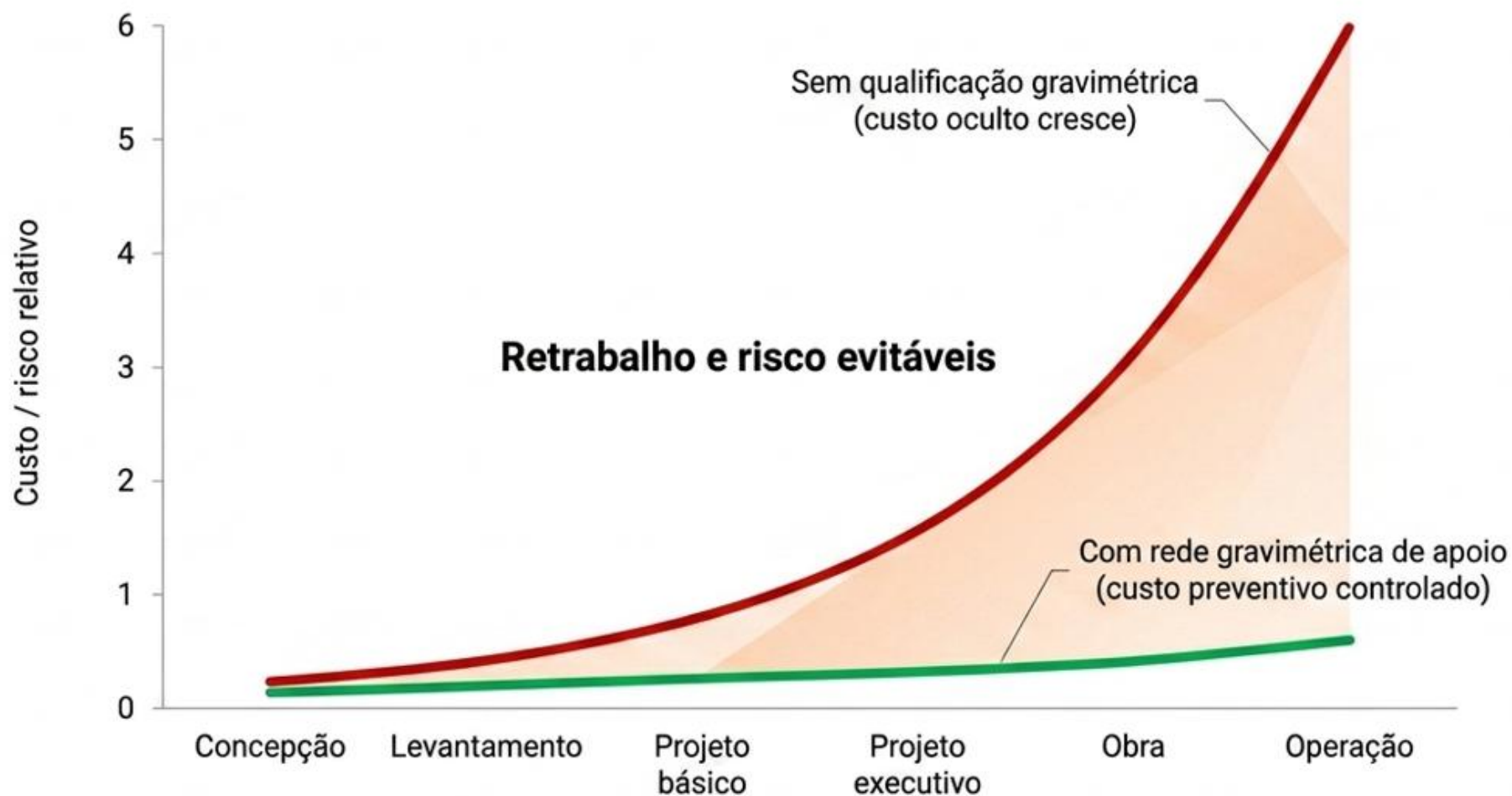
(Incompatibilidade
estrutural durante a
obra)

Rede Gravimétrica de Apoio ao Metrô



Cada técnica entra no momento correto;
a gravimetria qualifica o referencial.

Custo do Erro vs. Custo Preventivo



Ganhos Integrados



Técnico

Coerência altimétrica real garantida ao longo de todo o traçado.



Metodológico

Integração perfeita e validada entre GNSS, Nivelamento e modelos BIM.



Econômico

Redução drástica de custos com retrabalho e revisões de greide.



Estratégico

Liderança em maturidade técnica e segurança institucional para o Metrô.

**A gravimetria não é mais
uma opção periférica.**

**É a fundação indispensável
para a coerência física em
projetos metroviários extensos.**

CONCLUSÕES | CONSIDERAÇÕES FINAIS | DESAFIOS

A gravimetria é o elo que faltava! Sem referencial físico qualificado, a precisão digital não se transforma em precisão de engenharia :

- A topografia materializa o nível físico em campo.
- A geomática amplia a precisão e integração dos dados.
- A gravimetria qualifica o geoide e dá coerência vertical ao projeto.

Rede Gravimétrica de Apoio ao Metrô: de dado preciso para decisão confiável.

BIBLIOGRAFIA

- BLITZKOW, D. et al. MAPGEO2015: o novo modelo de ondulação geoidal do Brasil. Revista Brasileira de Cartografia, 2016.
- CASTRO JÚNIOR, C. A. C.; FERREIRA, N. C.; GUIMARÃES, G. N. A distribuição da rede gravimétrica no Brasil e o desenvolvimento da infraestrutura nacional. Revista Brasileira de Geomática, 2021.
- FABRETTI, T. R.; TRABANCO, J. L. A. Implantação de uma rede gravimétrica no município de Campinas em apoio às operações geodésicas desenvolvidas na região. Campinas: UNICAMP, 2006.
- FEATHERSTONE, W. E. The importance of local geoid determination in engineering projects. Journal of Geodesy, 2013.
- HEISKANEN, W.; MORITZ, H. Physical Geodesy. San Francisco: W. H. Freeman, 1967.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. GNSS: Global Navigation Satellite Systems. Vienna: Springer, 2008.
- IBGE. Rede Gravimétrica. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- IBGE. Modelo de Ondulação Geoidal. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- INNOCENTE, É. F. Implantação, cálculo e ajustamento de redes geodésicas visando a elaboração de carta geoidal para a cidade de Campinas. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- SCARPONI, M. et al. A gravimetric assessment of the Gotthard Base Tunnel geological model. 2022.
- TORGE, W.; MÜLLER, J. Geodesy. 4. ed. Berlin: De Gruyter, 2012.

BIBLIOGRAFIA

- VANÍČEK, P.; KRAKIWSKY, E. Geodesy: The Concepts. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 1986.
- WOLF, P. R.; GHILANI, C. D. Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics. 13. ed. Pearson, 2012.

32^a SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

OBRIGADO(A)!

Silvia Regina Borges

srborges@metrosp.com.br

Celso Dias

celsodias@metrosp.com.br

Kauã Moreira Silva

[e kaua.moreira@metrosp.com.br](mailto:kaua.moreira@metrosp.com.br)

José Alexandrino da Silva Neto

janeto@metrosp.com.br



13ª Edição
Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP **TRILHOS**
Associação Nacional dos Transportadores
de Passageiros sobre Trilhos

TIC **TRENS**

 **AEAMESP**
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ