

Orientações para a realização de medições gravimétricas ao redor de estações IHRF

Versão 1.1 Agosto de 2021.

Este documento está estruturado a partir das referências bibliográficas citadas na seção “Referências”. As orientações foram preparadas pelo Grupo de Trabalho III do SIRGAS: Datum Vertical. O SIRGAS agradece a colaboração de seus membros com decorrentes comentários e sugestões.

Com o propósito de manter o documento atualizado, convidamos a todos para enviarem observações, perguntas ou sugestões ao presidente do GT-III.

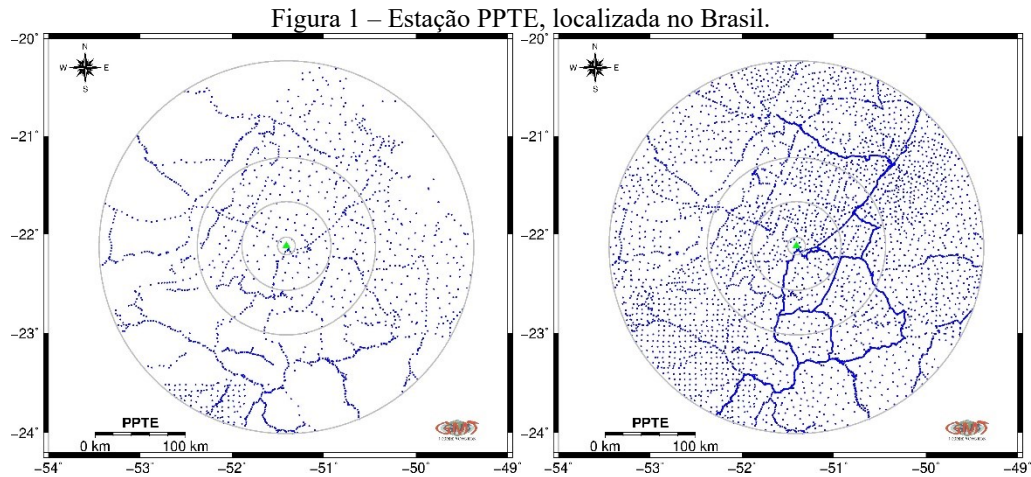
Este documento descreve os requisitos e as recomendações pertinentes para a realização de medições gravimétricas terrestres ao redor das estações IHRF (*International Height Reference Frame*). As orientações a seguir são direcionadas tanto para as instituições que já possuem uma estação prevista no cálculo da primeira realização IHRS, quanto para aquelas que desejam fazer a implantação. Para detalhes sobre implantação de estação IHRF, deve-se consultar o guia técnico “*Orientações para seleção de estações IHRF*” disponível em <https://sirgas.ipgh.org/pt/recursos-pt/guias/>.

1. Aspectos Gerais

Para se alcançar a precisão desejada para os valores de potencial (W(P)) nas estações IHRF, a distribuição e a qualidade das medições gravimétricas são essenciais. De acordo com as orientações e recomendações da *Focus Area “Unified Height System”* do *Global Geodetic Observing System* (GGOS) e do Grupo de Trabalho 0.1.2: “*Strategy for the realisation of the IHRS*” (Sánchez 2019; Sánchez; Barzaghi 2020, Sánchez et al., 2021), os principais requisitos e pontos a destacar são:

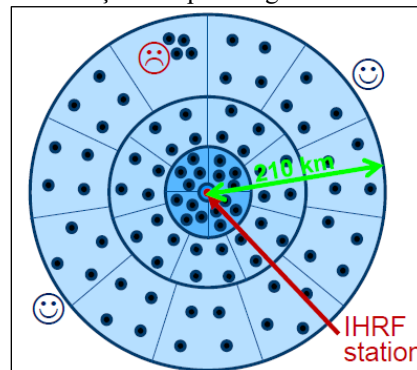
- a) O preenchimento dos vazios gravimétricos ao redor da estação IHRF de referência é o primeiro ponto fundamental a ser evidenciado. A Figura 1 ilustra uma situação

exemplar, mostrando os vazios gravimétricos que existiam ao redor da estação PPTE, no Brasil (figura da esquerda) e o preenchimento de quase todas essas lacunas (figura da direita). Os vazios são referentes à área de difícil acesso e corpos d'água.



- b) A distribuição dos pontos gravimétricos deve ser o mais homogênea possível, com medições em um raio de 210 km ($\sim 2^\circ$) da estação IHRF. A Figura 2 mostra aspectos positivos e negativos dessa distribuição aproximada, sem considerar a quantidade ideal de estações.

Figura 2 – Desejável distribuição dos pontos gravimétricos (Sánchez et al., 2017).

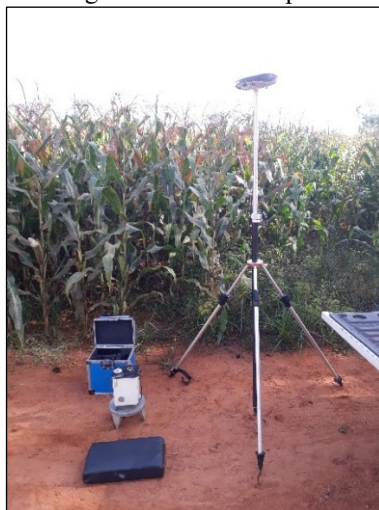


- c) A resolução espacial recomendada pelo Grupo de Trabalho da IAG 0.1.2, para as medições gravimétricas é de 1' a 3' (~ 2 a 4 km), a depender do relevo (em áreas montanhosas as observações gravimétricas devem ter uma resolução melhor do que em áreas planas). Sabe-se que medições gravimétricas relativas terrestres são

atividades onerosas e morosas. Logo, caso não seja possível atender à recomendação do quantitativo ideal, procurar estabelecer medições com uma resolução espacial de no máximo 5' (~9 km) (na qual deverá ser melhor em regiões montanhosas ou com maior variação de topografia). É claro que, quanto melhor a resolução espacial dos pontos, melhor tende a ser a precisão dos valores de potencial obtidos para a estação IHRF. Por outro lado, em áreas remotas, com ausências de estradas e caminhos, como florestas e desertos, bem como no topo de montanhas, sugere-se o levantamento aero gravimétrico destinado para fins geodésicos.

- d) No caso da existência de dados gravimétricos anteriores, é importante verificar a origem das informações disponibilizadas, especialmente quanto à qualidade da altitude e possíveis erros sistemáticos. Para minimizar erros sistemáticos de baixo grau nos conjuntos de dados gravimétricos pré-existentes, é preciso verificar a vinculação dos dados de densificação à referência gravimétrica utilizada.
- e) No caso de novas medidas gravimétricas, estas devem estar conectadas em redes de referência gravimétrica modernas e confiáveis, preferencialmente ao novo *International Gravity Reference Frame* (IGRF) (Wziontek et al. 2021). Acompanhada da medição gravimétrica deve-se determinar as coordenadas (φ , λ , h) com receptores GNSS. Enfatiza-se que os equipamentos (receptor GNSS e gravímetro) estejam bem próximos um do outro e no mesmo plano conforme ilustrado pela Figura 3.

Figura 3 – Levantamento gravimétrico acompanhado de medição GNSS.



- f) A precisão recomendada para o valor da aceleração de gravidade é de $\pm 0,15$ mGal (sendo aceitável o valor até $\pm 0,5$ mGal); e para as coordenadas, algo melhor do que $\pm 0,3$ m para altitude e $\pm 1,0$ m para a componente horizontal (Denker, 2013).

2. Medições gravimétricas

Neste manual técnico se adotará as seguintes definições:

- Referência de gravidade absoluta: são compostas de estações materializadas e estabelecidas com gravímetros absolutos e que estejam vinculadas, preferencialmente, ao novo IGRF. Se utilizará o termo “**referência**” e não “**rede**” por se tratar de medições com gravímetros absolutos.

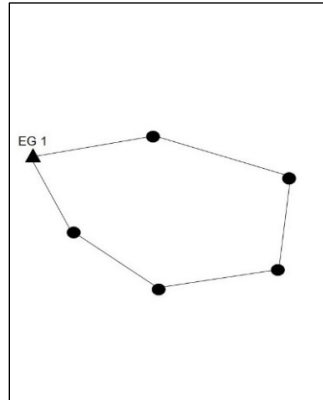
- Rede de primeira ordem: são estabelecidas por estações materializadas e medidas com gravímetros relativos. Devem estar ligadas à referência de gravidade absoluta e atender a critérios específicos de precisão no seu estabelecimento.

Nas novas medições gravimétricas ao redor das estações IHRF, os seguintes aspectos devem ser observados:

- a) Recomenda-se que antes de toda campanha gravimétrica, sejam efetuadas a verificação e a calibração dos equipamentos utilizados, de acordo com as especificidades de cada aparelho. Além disso, orienta-se verificar e ajustar, quando necessário, a sensibilidade do equipamento a cada início de levantamento. Não é tema desse manual técnico abordar sobre o funcionamento de equipamentos de gravimetria. Para tanto, a seção “Referências” apresenta algumas sugestões bibliográficas e manuais técnicos.
- b) Recomenda-se verificar e ajustar, quando necessário, a sensibilidade do equipamento a cada início de levantamento.
- c) Recomenda-se que as estações gravimétricas de densificação sejam vinculadas às estações da referência de primeira ordem, sempre que possível, ou à rede de segunda ordem. Não é necessário que as estações densificadas sejam materializadas

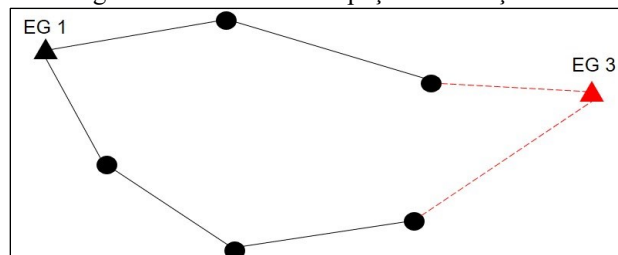
- d) Orienta-se para que os circuitos gravimétricos voltados à densificação, sejam do tipo “fechado”, quando o levantamento começa e termina na mesma estação base (Figura 4).

Figura 4 – Circuitos gravimétricos fechados.



- e) Sugere-se a realização, sempre que possível, de reocupações em estações de primeira ou segunda ordem, ou mesmo em estações densificadas apropriadas à reocupação, que estejam localizadas próximas à região de trabalho (Figura 5). Dessa forma, é possível se ter um controle das medições, além de eventual detecção de possíveis inconsistências do gravímetro.

Figura 5 – Levantamento gravimétrico com reocupação em estação conhecida (em vermelho).



- f) Orienta-se, a depender do tipo de gravímetro utilizado, os seguintes procedimentos para as leituras:

- Gravímetro ótico mecânico: 3 leituras que devem ser realizadas em um intervalo máximo de tempo de 3 a 5 minutos. A discrepância máxima entre as leituras não deve exceder 0,005 unidades de graduação.

- Gravímetro digital: 3 ciclos de leitura sendo cada ciclo com duração de 2 minutos. A discrepância máxima entre as leituras deve ser de 0,01 mGal.

Após a coleta das informações em campo, o próximo passo é o processamento dos dados. Nesse caso, não há recomendações por parte do SIRGAS quanto ao *software* a ser utilizado no processamento, estando a cargo da instituição a escolha do programa computacional.

Referências

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos Associados ao Sistema Geodésico Brasileiro**. Diretoria de Geociências. Coordenação de Geodésia. Rio de Janeiro, Brasil, 62p. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/normas/16463-especificacao-e-normas-gerais-para-levantamentos-geodesicos-em-territorio-brasileiro.html?=&t=acesso-ao-produto> Acesso em abril, 2021.

IGN. Instituto Geográfico Nacional. **Instrucciones Técnicas de Campaña y Gabinete**. Dirección de Geodesia. Buenos Aires, Argentina, 340p. Documento interno.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. **Guía Metodológica de la Red Geodésica Gravimétrica**. México 39p. 2015. Disponível em: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825078799> Acesso em abril de 2021.

Denker, H. Regional gravity field modeling: theory and practical results. In: Xu G (ed) **Sciences of geodesy—II: innovations and future developments**, p. 185–291. 2013. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28000-9_5

Sánchez, L. Report of the GGOS Focus Area “Unified Height System” and the Joint Working Group 0.1.2: Strategy for the Realization of the International Height Reference System (IHRIS), **Reports 2015–2019 of the International Association of Geodesy (IAG). Travaux de l’AIG** 41:583–592, 2019

Sánchez, L.; Barzaghi, R. Activities and plans of the GGOS Focus Area Unified Height System, **EGU General Assembly 2020**, EGU2020-8625, 2020. <https://doi.org/10.5194/egusp here-egu2020-8625>

Sánchez, L.; Ågren, J.; Huang, J. et al. Strategy for the realisation of the International Height Reference System (IHRIS). **Journal of Geodesy**, 95, 33, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00190-021-01481-0>

Wziontek, H., Bonvalot, S., Falk, R. et al. Status of the International Gravity Reference System and Frame. **Journal of Geodesy** 95, 7, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01438-9>