

ESPECIFICAÇÕES
E NORMAS PARA
LEVANTAMENTOS
GEODÉSICOS
ASSOCIADOS
AO SISTEMA
GEODÉSICO
BRASILEIRO

Presidente da República
Michel Miguel Elias Temer Lulia

Ministro do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão
Dyogo Henrique de Oliveira

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE

Presidente
Roberto Luís Olinto Ramos

Diretor-Executivo
Fernando J. Abrantes

ÓRGÃOS ESPECÍFICOS SINGULARES

Diretoria de Pesquisas
Claudio Dutra Crespo

Diretoria de Geociências
Wadih João Scandar Neto

Diretoria de Informática
José Sant'Anna Bevilaqua

Centro de Documentação e Disseminação de Informações
David Wu Tai

Escola Nacional de Ciências Estatísticas
Maysa Sacramento de Magalhães

UNIDADE RESPONSÁVEL

Diretoria de Geociências
Coordenação de Geodésia
Sonia Maria Alves Costa

Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE
Diretoria de Geociências
Coordenação de Geodésia

Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro

Rio de Janeiro
2017

Apresentação

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, através da Coordenação de Geodésia, da Diretoria de Geociências, identificou a necessidade de atualização das Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos, publicadas em 1983 (Resolução nº 22 do Presidente do IBGE, de 21-07-1983), como consequência da evolução tecnológica e metodológica quanto aos levantamentos e tratamento das informações coletadas no estabelecimento das Redes Geodésicas que materializam, no território nacional, o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). O presente documento foi elaborado com o objetivo de revisar os procedimentos da norma anterior, bem como padronizar a aplicação das diferentes técnicas, métodos de coleta e processamento utilizados nos levantamentos realizados pelo IBGE, possibilitando assim a compatibilidade e comparabilidade da informação geodésica, visando a sua integração ao SGB. Estas normas serão revisadas periodicamente e atualizadas conforme o avanço científico e tecnológico, assim como a identificação de novas necessidades.

Wadih Joao Scandar Neto
Diretor de Geociências

Sumário

1	Introdução.....	5
1.1	Fundamentação Legal.....	6
1.2	Sistema Geodésico de Referência (SGR).....	8
1.2.1	Conceitos associados a um Sistema de Referência da Geodésia moderna.....	9
1.3	Avanços tecnológicos recentes no SGB.....	10
1.4	Sistema Referência Terrestre (SRT).....	11
1.4.1	SIRGAS2000.....	13
1.5	Sistema Geodésico de Referência Altimétrico (SGRA).....	13
1.5.1	Número Geopotencial (C).....	14
2	Especificações e Normas para Posicionamento Geodésico com GNSS.....	16
2.1	Sistemas Globais de Navegação por Satélites (GNSS).....	16
2.1.1	Tipos de receptores GNSS.....	17
2.1.2	Sistemas de tempo e órbitas GNSS.....	17
2.2	Erros que incidem sobre as observações GNSS.....	18
2.3	Métodos de posicionamento com GNSS.....	21
2.3.1	Posicionamento por Ponto.....	21
2.3.2	Posicionamento Relativo.....	21
2.3.3	Orientações para o posicionamento geodésico com GNSS.....	22
2.4	Especificações dos levantamentos GNSS.....	24
2.5	Serviços GNSS disponibilizados pelo IBGE.....	26
2.5.1	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC).....	26
2.5.2	Serviço de Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE-PPP).....	27
2.5.3	Homologação de Marcos Geodésicos ao SGB.....	27
3	Especificações e Normas para Levantamentos Altimétricos.....	28
3.1	Tipos de altitudes.....	28
3.2	Geometria da RAAP.....	31
3.3	Equipamentos.....	33
3.4	Verificação de abalo.....	33
3.5	Verificação do erro de colimação.....	34
3.6	Especificações para o nivelamento geométrico.....	35
4	Especificações e Normas para Levantamentos Gravimétricos.....	39
4.1	Referencial Gravimétrico.....	40
4.2	Tipos de estações gravimétricas (EEGG).....	40

4.3 Desenvolvimento dos levantamentos gravimétricos.....	41
4.3.1 Determinação de estação gravimétrica básica.....	41
4.3.2 Determinação de estação gravimétrica de densificação.....	42
4.4. Operacionalização de gravímetros.....	44
4.5. Correções aplicadas às observações gravimétricas.....	46
4.6 Verificações instrumentais.....	50
4.7 Calibração.....	51
4.8 Especificações para o levantamento gravimétrico.....	52
Referências.....	55

1 Introdução

A presente norma técnica tem por objetivo estabelecer os requisitos mínimos de precisão, através de orientações e procedimentos a serem adotados em levantamentos geodésicos visando o estabelecimento, manutenção e densificação das Redes Geodésicas de Referência que materializam o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) nas vertentes planialtimétrica, altimétrica e gravimétrica.

A atualização das Especificações e Normas Gerais para levantamentos geodésicos foi motivada pela modernização das técnicas e métodos de posicionamento, principalmente devido à evolução no estado da arte dos equipamentos de aquisição de dados, tais como os gravímetros, os níveis digitais e os associados aos GNSS¹. Outro fator importante na revisão destas especificações foi a experiência adquirida por vários anos de trabalho na implantação e evolução dos referenciais geodésicos, aliada ao dinamismo inerente à ciência geodésica.

Atualmente, o IBGE realiza levantamentos de campo no âmbito do posicionamento geodésico tridimensional mediante o uso de receptores GPS²/GNSS – *Global Positioning System / Global Navigation Satellite Systems*; e no âmbito do posicionamento geodésico altimétrico, mediante o uso de níveis digitais e ótico-mecânicos, através do nivelamento geométrico de alta precisão. Da mesma forma, são realizados os levantamentos relativos para densificação gravimétrica com o uso de gravímetros digitais e ótico-mecânicos, a partir das redes gravimétricas fundamentais integradas à IGSN71 – *International Gravity Standardization Network, 1971*.

Em decorrência da diversidade de informações obtidas nos levantamentos geodésicos, as redes geodésicas que caracterizam a materialização do SGB são classificadas da seguinte forma:

Redes GNSS/GPS e clássicas horizontais, constituídas por:

a) estações GNSS que compõem a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC, rede ativa);

¹ Sistemas globais de navegação por satélites, formados por: GPS-americano, GLONASS-russo, Galileo-europeu e Beidou-chinês, seção 2.1.3 do documento.

² Sistema global de navegação por satélites dos EUA.

b) estações SAT-Doppler e SAT-GPS (passivas) que compõem a Rede SAT, incluindo as Redes Estaduais GPS e estações homologadas; e

c) Vértices de Triangulação (VT) e Estações de Poligonal (EP) que compõem a Rede Horizontal Clássica.

Redes de referência vertical, constituídas por:

a) estações altimétricas passivas, as Referências de Nível (RRNN) que compõem a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP); e

b) estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG, rede ativa).

Rede de densificação gravimétrica do IBGE, constituída por:

a) estações gravimétricas básicas para complementação das redes fundamentais; e

b) estações gravimétricas de densificação para o contínuo aprimoramento do Modelo de Ondulação Geoidal do Brasil (MAPGEO).

Este documento está estruturado em quatro (4) capítulos principais: a introdução que apresenta os objetivos gerais, os fundamentos legais, os avanços tecnológicos recentes no SGB e os capítulos afetos às três vertentes de levantamentos, planialtimetria, altimetria e gravimetria, que constituem o núcleo destas especificações.

1.1 Fundamentação Legal

O marco legal que estabelece a competência do IBGE na área, tem origem no Decreto-Lei nº 243, de 28/02/1967, estabelecidos de forma explícita no Art. 12, § 2º, e no Art. 15, § 1º, item 1, reproduzidos na íntegra:

*“Art. 12. Os levantamentos cartográficos sistemáticos apoiam-se obrigatoriamente em sistema plano-altimétrico único, de pontos geodésicos de controle, materializados no terreno por meio de marcos, pilares e sinais, assim constituído:
(...)”*

§ 2º *Compete, precipuamente, ao Conselho Nacional de Geografia promover o estabelecimento da rede geodésica fundamental, do sistema plano-altimétrico único.*”

“Art. 15. *Os trabalhos de natureza cartográfica realizados no território brasileiro obedecem às Normas Técnicas estabelecidas pelos órgãos federais competentes, na forma do presente artigo.*”

§ 1º *O estabelecimento de Normas Técnicas para a cartografia brasileira compete:*

1. ao Conselho Nacional de Geografia, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, no que concerne à rede geodésica fundamental e às séries de cartas gerais, das escalas menores de 1:250.000; (...)”

Os documentos oficiais que materializam e registram as mudanças ocorridas nas últimas décadas nas técnicas associadas à Geodésia no território nacional, em sequência cronológica, são:

- Resolução do Presidente do IBGE nº 22 (21/07/1983) - R.PR – 22/1983: **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos**, cuja atualização é feita no presente documento;
- Resolução do Presidente do IBGE Nº 23 (21/02/1989) - R. PR 23/1989: Parâmetros para Transformação de Sistemas Geodésicos;
- Resolução do Presidente do IBGE Nº 5 (31/03/1993) – R. PR-5/1993: Especificações e Normas Gerais para Levantamentos GPS (versão preliminar);
- Decreto Nº 5334/2005: Nova redação ao art. 21 e revoga o art. 22 do Decreto no 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional;
- Decreto Nº 89.817: Redação com as alterações efetuadas pelo Decreto 5334/2005;
- Resolução do Presidente do IBGE Nº 1/2005 - R.PR – 1/2005: **Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro;**

- Norma de Serviço Nº 001/2008 de 01/09/2008 – Padronização de Marcos Geodésicos;
- Instruções Técnicas para Controle Geodésico de Estações Maregráficas – CGEM e sua vinculação ao Sistema Geodésico Brasileiro – SGB;
- Resolução do Presidente do IBGE Nº 4/2012 - R.PR – 4/2012 – Retifica a R.PR Nº 001/2005, referente à caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro;
- Resolução do Presidente do IBGE Nº 1/2015 – R.PR – 1/2015: ***Define a data de término do período de transição definido na R.PR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil; e***
- Nota Técnica – ***Término do Período de Transição para Adoção no Brasil do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua Realização de 2000,4 (SIRGAS2000).***

Como consequência dessa missão institucional, estas normas acarretam observância obrigatória por todas as entidades e órgãos públicos e privados que realizem levantamentos geodésicos vinculados ao SGB. Os levantamentos não incluídos no presente documento continuam regidos pelas Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos, publicadas em 1983 (Resolução nº 22 do Presidente do IBGE, de 21-07-1983).

1.2 Sistema Geodésico de Referência (SGR)

Atualmente, um sistema geodésico de referência (SGR) é definido pelo conjunto de constantes, convenções, modelos e parâmetros necessários à representação matemática de grandezas geométricas e físicas associadas ao posicionamento espacial de feições e eventos (IHDE et al., 2017). Um sistema desse tipo deve ser materializado por meio de uma estrutura de referência que estabeleça tanto a materialização física do sistema quanto a sua representação matemática; em outras palavras, a materialização de um SGR envolve a implantação de pontos de referência e a determinação das respectivas coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude).

Os métodos e procedimentos da Geodésia clássica aplicados no estabelecimento das redes de referência que materializavam o SGB, tais como: triangulação, poligonação, trilateração, nivelamento trigonométrico ou geométrico; não possibilitavam a obtenção das três coordenadas de forma simultânea, resultando no estabelecimento das redes verticais e horizontais separadamente. Adotava-se também, diferentes pontos origem, uma vez que as componentes horizontais e verticais estavam referidas a diferentes superfícies. Um exemplo de referenciais clássicos com estas características são o *South American Datum SAD 69*, como referencial horizontal local e Imbituba como referencial altimétrico local. Entretanto, os avanços tecnológicos ocorridos no final do século passado conduziram a ciência geodésica para a dimensão global, através do conhecimento das mudanças físicas e geométricas que ocorrem na superfície do planeta e suas variações ao longo do tempo. Pela caracterização global do SGR, sua origem está localizada no centro de massas da Terra, e a representação deste através de uma rede de referência, que passa ser no espaço tridimensional.

1.2.1 Conceitos associados a um Sistema de Referência da Geodésia moderna

De maneira similar aos sistemas de referência clássicos, a era da geodésia espacial também passa por duas etapas, sendo elas: a definição e a materialização. Na definição adota-se um SGR, através do qual foram estabelecidas constantes físicas e geométricas derivadas de extensas observações do campo da gravidade terrestre a partir de observações a satélites, sendo, portanto geocêntrico. Atualmente o SGR adotado pela União Internacional de Geodésia e Geofísica é o *Geodetic Reference System 1980 (GRS80)*.

A materialização de um Sistema de Referência Terrestre (SRT) é através do estabelecimento de redes geodésicas utilizando diferentes técnicas de posicionamento, como por exemplo, o VLBI – Very Long Baseline Interferometry, SLR – Satellite Laser Range e o GNSS. Devido à precisão proporcionada por estas técnicas, as coordenadas de uma determinada materialização devem estar associadas a uma época origem, como, por exemplo, no Brasil, o SIRGAS2000, época 2000,4.

1.3 Avanços tecnológicos recentes no SGB

Os sistemas globais de navegação por satélites, conhecidos por GNSS, revolucionaram a geodésia na década de 1980, quando o GPS passou a ser utilizado no estabelecimento das redes geodésicas de forma mais ágil e precisa.

A tecnologia GPS foi incorporada pelo IBGE no processo de expansão do SGB após a aquisição de receptores geodésicos no início de 1991, marcando, desta forma, uma transformação na metodologia de determinação das coordenadas tridimensionais das estações geodésicas. A partir deste momento, o posicionamento através dos sistemas globais de navegação por satélites passou a ser a única técnica utilizada no estabelecimento da rede geodésica planimétrica, que, pelas características de tridimensionalidade do posicionamento por satélites, recebeu a denominação de rede planialtimétrica do SGB. Desde então, foram estabelecidas as estações denominadas SAT-GPS, através das redes estaduais GPS, suas densificações/expansões e a homologação de marcos geodésicos.

A necessidade e proposta do IBGE de se adotar um novo sistema de referência geodésico vêm do benefício do uso direto da tecnologia GNSS, sendo atualmente a principal tecnologia utilizada na determinação de coordenadas planialtimétricas em geodésia. Por este motivo, o estabelecimento da rede de operação contínua GNSS, a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) ao longo das últimas duas décadas, merece um destaque especial neste contexto, pois ela representa a estrutura geodésica mais precisa do Sistema de Referência SIRGAS2000 adotado oficialmente no Brasil em 2005.

Outra contribuição significativa neste período se relaciona à evolução dos referenciais altimétricos clássicos, baseados na adoção do nível médio do mar (NMM) como superfície de referência, cujas altitudes são determinadas com utilização intensiva de nivelamento geométrico de alta precisão para sua propagação. Em sua materialização mais moderna, as altitudes possuirão maior significado físico, em função dos progressos tecnológicos e metodológicos decorrentes das recentes missões espaciais gravimétricas, altimétricas e topográficas, que abrirão caminho para a gradual substituição dos sistemas locais por outros de âmbito global (HECK, 2004).

Também podem ser destacados os avanços e modernizações metodológicas relacionadas às atividades de Controle Geodésico de Estações Maregráficas (CGEM) e sua vinculação ao SGB, desenvolvidas pelo IBGE a partir de 2009, que são relevantes para o controle temporal e de precisão da correlação entre diversas superfícies físicas e geométricas de referência altimétrica.

Paralelamente a esses avanços, com a expansão do uso dos sistemas globais de posicionamento, aumentou a necessidade de obtenção de um modelo de ondulação geoidal compatível com as atuais necessidades da comunidade usuária. Como consequência, ocorreu uma densificação sistemática das redes gravimétricas, por meio de ocupação das RRNN existentes e sobre “vazios gravimétricos” a partir da década de 1990 até a atualidade, culminando na divulgação dos modelos de ondulação geoidal da série MAPGEO, específicos para o território brasileiro.

1.4 Sistema Referência Terrestre (SRT)

Quando é necessário identificar com precisão uma posição na superfície da Terra no conceito da geodésia espacial, são utilizados os Sistemas Terrestres de referência (SRT). Um SRT está associado a um sistema coordenado cartesiano no espaço tridimensional, representado por três eixos perpendiculares que se interceptam na origem deste sistema. Sendo assim, as coordenadas de um ponto qualquer a ser representado no espaço, são os comprimentos sobre cada eixo coordenado que vai da origem a um ponto P qualquer, projetado perpendicularmente no respectivo eixo (GSD, 1995).

Em termos práticos, é necessário também representar as coordenadas em uma superfície elipsoidal ou plana. Portanto, quando as coordenadas estão associadas a uma superfície elipsoidal, utiliza-se um elipsóide de revolução, sendo a superfície matemática que mais se aproxima da forma da Terra. Deste modo, as coordenadas representadas na superfície do elipsóide são denominadas geodésicas. Quando uma superfície plana é escolhida para representação das coordenadas, escolhe-se um sistema de projeção, como por exemplo, as coordenadas planas UTM ou plano topográfico.

Os primeiros sistemas geodésicos adotados oficialmente no Brasil foram o Córrego Alegre (CA) e o SAD 69, conhecidos por “datum³ astro-geodésico horizontal” que foram estabelecidos antes da era da geodésia espacial e materializados através de métodos clássicos de observação com instrumentos óticos mecânicos e recursos computacionais escassos. Os aspectos definidores destes sistemas estão associados somente às constantes geométricas referidas a um ponto na superfície da Terra. Maiores informações sobre estes sistemas são encontradas na Resolução do Presidente do IBGE n° 22, de 21/07/1983.

Através de uma cooperação entre os países da América do Sul, representados por suas agências nacionais, e instituições internacionais, sob o patrocínio da Associação Internacional da Geodésia (*International Association of Geodesy - IAG*), Instituto Pan-americano de Geografia e História (IPGH) e *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), criou-se em outubro de 1993 o projeto Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), com o principal objetivo de estabelecer um sistema de referência geocêntrico para todo o continente, fundamentado nas atuais tecnologias de posicionamento e nas materializações dos sistemas de referência terrestre, denominadas de *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF), estabelecidas pelo *International Earth Rotation Service* (IERS). A partir deste ponto, iniciou-se a cooperação e o esforço de vários países do continente para adotar um único sistema de referência compatível com o GNSS.

Deste modo, após adquirir experiência com o estabelecimento de uma rede GNSS de operação contínua, o IBGE propôs a adoção do referencial SIRGAS2000, na época 2000,4, sendo adotado oficialmente no país através da Resolução do Presidente do IBGE n° 1, de 25/02/2005. Nesta mesma resolução, foi estabelecido um período de transição de 10 anos, em que o SIRGAS2000 poderia ser utilizado em concomitância com o sistema SAD 69 para o SGB. Para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN), o SIRGAS2000 também poderia ser utilizado em concomitância com os sistemas SAD 69 e Córrego Alegre.

Em 24/02/2015 foi publicada a Resolução n° 1 do Presidente do IBGE, orientando que “*todos os usuários no Brasil devem adotar exclusivamente o SIRGAS2000 em*

³ A denominação datum foi muito utilizada aos Sistemas geodésicos de concepção clássica, que pode ser confundida também com o termo utilizado para se referir ao ponto origem da materialização do SGR. Portanto, nestas normas adota-se o termo utilizado pela geodésia moderna.

suas atividades, encerrando-se o uso concomitante do SAD 69 no Sistema Geodésico Brasileiro e do SAD 69 e Córrego Alegre no Sistema Cartográfico Nacional”.

1.4.1 SIRGAS2000

A realização SIRGAS2000, época 2000,4 vem de observações GPS⁴ realizadas em marcos geodésicos durante 10 dias do mês de maio de 2000. Esta rede contou com a participação de 184 estações das três Américas, incluindo o Caribe. Esta solução foi integrada a realização mais recente do ITRF na época, o ITRF2000.

As 21 estações brasileiras que participaram desta realização, foram incorporadas como estações de referência no ajustamento da rede geodésica brasileira consolidando assim a materialização SIRGAS2000 no Brasil, oficialmente adotada em fevereiro de 2005. Mais informações sobre os resultados deste ajustamento podem ser encontradas no relatório do ajustamento da rede planimétrica em SIRGAS2000, disponível em ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio/rel_sirgas2000.pdf.

O processo de adoção do SIRGAS2000 no Brasil contou com o apoio do Projeto Mudança do Referencial Geodésico (PMRG), promovendo uma integração entre a sociedade e o IBGE sobre as novas mudanças relacionadas ao novo sistema geodésico. Orientações e recomendações sobre a adoção do SIRGAS2000 no Brasil são encontradas no portal do IBGE.

1.5 Sistema Geodésico de Referência Altimétrico (SGRA)

Seguindo a abordagem da seção 1.2, os elementos principais de um SGR altimétrico (SGRA) são as coordenadas verticais, isto é, as altitudes físicas ou números geopotenciais das estações da rede de referência, e a superfície de referência ou nível de referência, a partir do qual são estabelecidas aquelas coordenadas verticais (IHDE et al., 2017). Tradicionalmente, a definição e materialização dos SGRAs locais baseava-se na adoção do nível médio do mar (NMM) como superfície de referência, considerado uma aproximação adequada do geoide, e na utilização exclusiva do nivelamento geométrico de alta precisão para propagação desse referencial em toda a região de interesse. Os problemas conceituais dessa estratégia já eram conhecidos (e.g., o acúmulo de efeitos sistemáticos do nivelamento em longas distâncias, e os

⁴ Único sistema GNSS em operação naquela época.

efeitos dinâmicos diferenciados em cada realização do NMM), mas não havia alternativa tecnológica disponível. Esta situação sofreu significativas mudanças em função dos progressos decorrentes das recentes missões espaciais gravimétricas (GRACE, GOCE), que abrirão caminho para a substituição daqueles SGRAs nacionais e continentais por sistemas definidos e realizados em âmbito global (HECK, 2004). Os primeiros estudos para a definição e materialização global do chamado Sistema Internacional de Referência para Altitudes (IHRs – *International Height Reference System*) encontram-se em desenvolvimento, envolvendo, entre outras providências, a seleção de 163 estações de rastreamento contínuo GNSS vinculadas às respectivas redes verticais fundamentais em cada país e com adequada densificação gravimétrica em um raio de até 210 km (SANCHEZ et al., 2017).

No Brasil, existem atualmente dois referenciais altimétricos, Imbituba e Santana, sendo ambos definidos e materializados através do modo clássico, isto é, a partir de um valor de NMM calculado com dados coletados em uma estação maregráfica e propagado por toda a região ou território de interesse por meio do nivelamento geométrico de alta precisão, com todas as correções aplicáveis. Um referencial altimétrico assim definido (a partir do NMM) é específico para o período considerado no cálculo do NMM e para o local do mareógrafo, sendo afetado pela chamada topografia do NMM (TNMM), também denominada topografia da superfície do mar (TSM) ou topografia dinâmica do oceano (TDO). Assim, diferentes estações maregráficas podem contribuir como referência para uma rede altimétrica somente depois da necessária correção das respectivas TNMM.

1.5.1 Número Geopotencial (C)

É a grandeza que serve de base para o cálculo das chamadas altitudes físicas (H^{fis}), também chamadas altitudes científicas (LUZ, 2008, p.45):

$$H^{\text{fis}} = C / G \quad (1)$$

sendo G o valor específico de gravidade associado a cada tipo de altitude física, conforme discutido na seção seguinte.

Formalmente, o número geopotencial de um ponto qualquer, na superfície terrestre ou nas proximidades da mesma, é a diferença entre os valores de geopotencial no geoide e no ponto de interesse ($C=W_0-W_P$), envolvendo, portanto,

conceitos avançados de Geodésia Física para sua determinação. Na prática, o número geopotencial é resultado do processo de ajustamento das diferenças de geopotencial (ΔC), que, por sua vez, são calculadas a partir dos desníveis resultantes do nivelamento geométrico (ΔH) e dos valores médios da gravidade observada (g) na seção de nivelamento:

$$\Delta C = \Delta H_{12} \cdot (g_1 + g_2) / 2 \quad (2)$$

Assim, as especificações para levantamentos altimétricos discutidas neste documento dizem respeito à obtenção do desnível ΔH via nivelamento geométrico de alta precisão.

2 Especificações e Normas para Posicionamento Geodésico com GNSS

Esta seção do documento visa orientar a execução de levantamentos geodésicos baseados no posicionamento GNSS de alta precisão realizados no Brasil no estabelecimento das estações SAT-GPS disponíveis no Banco de Dados Geodésicos (BDG), fornecendo os elementos básicos norteadores destas atividades.

2.1 Sistemas Globais de Navegação por Satélites (GNSS)

O posicionamento através da tecnologia GNSS consiste na determinação de coordenadas tridimensionais (3D) a partir de uma ou mais constelações de sistemas globais de navegação por satélites, os quais enviam continuamente sinais para os usuários/receptores. O princípio básico do posicionamento está na resolução de um sistema linear que envolve a medida de distância entre o usuário/receptor e ao menos quatro satélites GNSS com coordenadas conhecidas. Tais informações são obtidas a partir dos dados de observação e navegação transmitidos pelos satélites. Este método de posicionamento, denominado de absoluto, através das observações de código ou pseudo-distâncias, permite determinar coordenadas 3D com precisão de alguns metros. No caso de posicionamento com precisão centimétrica ou melhor, torna-se necessário aplicar métodos mais sofisticados através das fases das portadoras.

Os principais sistemas de navegação que compõem o GNSS são:

- GPS: sistema norte-americano operacional desde 1995;
- GLONASS: sistema russo operacional desde dezembro de 2011;
- BeiDou: sistema chinês ainda em desenvolvimento mas já com um serviço operando na Ásia desde dezembro de 2011; e
- Galileo: sistema europeu em desenvolvimento, com alguns serviços operacionais desde maio de 2017.

Existem ainda sistemas de posicionamento regionais como o indiano, *Indian Regional Navigation Satellite System* (IRNSS) e o japonês *Quasi-Zenith Satellite*

System (QZSS), e os sistemas destinados a aumentar a capacidade dos sistemas GNSS conhecidos como *Satellite Based Augmentation System* (SBAS) e *Ground Based Augmentation System* (GBAS).

A tabela 1 apresenta algumas informações dos principais sistemas GNSS.

Tabela 1: Principais Sistemas GNSS

Sistemas GNSS	Declarado Operacional	Nº de satélites operacionais ⁵	Sistema Geodésico de Referência – SRG	Parâmetros do Elipsoide	Pais
GPS	27 de abril de 1995	31 satélites	WGS 84	a = 6.378.137,0 m f = 1/298,257223563	EUA
GLONASS	Dezembro de 2011	23 satélites	PZ-90	a = 6.378.136,0 m f = 1/298,25784	Rússia
Galileo	A partir de 2020	14 satélites	GTRF	a = 6.378.137,0 m f = 1/298,257222101	UE
BeiDou	Na China desde 27/12/11 Previsão de cobertura global em 2020.	14 satélites	BDC (CGCS 2000)	a = 6.378.137,0 m f = 1/298,257222101	China

2.1.1 Tipos de receptores GNSS

Os receptores GNSS normalmente são caracterizados pelo tipo de observáveis que rastreiam, sendo elas: os códigos e as fases das ondas portadoras. Os receptores denominados de geodésicos ou de dupla frequência são aqueles que rastreiam códigos e fase em, pelo menos, dois sinais da banda L. Os receptores geodésicos comercializados atualmente possuem a terceira frequência, L5 proporcionando um posicionamento de qualidade superior das demais frequências.

Os receptores topográficos ou de uma frequência, são aqueles que rastreiam o código e a fase em somente um sinal e os receptores de navegação são aqueles que rastreiam somente o código em um sinal.

2.1.2 Sistemas de tempo e órbitas GNSS

Os sinais GNSS são transmitidos pelos satélites em um determinado instante, medido na escala de tempo do satélite e são submetidos a um processo de correlação quando recebidos pelo receptor, na escala de tempo do receptor. Este processo permite a determinação do tempo de propagação do sinal para cada satélite rastreado, o qual fornece as medidas de pseudo-distância, quando multiplicado pela velocidade

⁵ data de referência das informações: 03 de agosto de 2017.

da luz no vácuo. Deste modo, as coordenadas da antena do receptor são calculadas a partir do tempo de propagação do sinal, posição e erro de relógio de cada satélite no instante da transmissão do sinal. O erro do relógio do receptor é estimado conjuntamente com as demais incógnitas. Os elementos necessários para calcular as coordenadas e erro de relógio dos satélites são informados na mensagem de navegação. Portanto, o sistema de tempo GNSS tem a função principal de sincronizar os segmentos que compõem o GNSS, sendo materializado a partir de osciladores atômicos, e, portanto, mais precisos e uniformes do que o tempo associado à rotação terrestre (Tempo Universal Coordenado – TUC), havendo a necessidade de eventuais correções (*leap seconds*) para a sincronização entre eles.

As efemérides indicam a posição dos satélites em um determinado instante de tempo e sistema de referência. Os satélites GNSS enviam as efemérides transmitidas em tempo real para os usuários, as quais são fruto de um processo de predição, o que resulta em coordenadas com precisão métrica. As efemérides também podem ser estimadas através de um pós-processamento sendo denominadas de efemérides precisas, classificadas pelo Serviço Internacional GNSS (*International GNSS Service - IGS*) como ultra-rápida, rápida ou final. Estas efemérides e os erros dos relógios dos satélites são a consolidação de cálculos realizados por diferentes centros internacionais, resultando nos denominados produtos IGS. Oficialmente, o IGS calcula as efemérides e os erros dos relógios dos satélites nos sistemas GPS e GLONASS, os quais são referidos ao sistema de referência global IGS na sua última materialização, atualmente o IGS14. Informações adicionais sobre os produtos IGS estão disponíveis no portal www.igs.org.

2.2 Erros que incidem sobre as observações GNSS

O posicionamento GNSS está sujeito a degradações provocadas por diversas fontes que envolvem os satélites, a propagação do sinal e os receptores. Além disso, existem outros casos que não são exatamente erros e sim efeitos que precisam ser corrigidos e que devem ser considerados no processamento através de modelagem adequada, como por exemplo, efeitos locais decorrentes da deformação da Terra, tais como, a carga oceânica, as marés terrestres e a carga atmosférica, ou aqueles decorrentes da correção do centro de fase da antena, que são corrigidos através de

modelos estimados pelo IGS. Reduzir a influência desses erros é fundamental para obter coordenadas precisas e condizentes com a estrutura geodésica de referência.

A combinação adequada entre o equipamento, o método de posicionamento e o programa de processamento de dados GNSS, possibilitam que a grande maioria dos erros seja reduzida ou eliminada de forma satisfatória, conduzindo à obtenção de coordenadas com precisão centimétrica. Entretanto, há dois erros que ocorrem exclusivamente por falha humana, sendo eles: a centragem da antena na referência do marco e a medição de sua altura. Com o propósito de reduzir estas fontes de erro, sugere-se o uso de base nivelante para ajudar na centragem. A medição da altura da antena deverá ser realizada entre a referência do marco e o Ponto de Referência da Antena (*Antenna Reference Point - ARP*), de forma vertical ou inclinada, dependendo da configuração do marco e do tipo de equipamento utilizado. Pode-se reduzir também o erro de centragem utilizando um marco com dispositivo de centragem forçada instalado no seu topo.

A tabela 2 apresenta as fontes de erros e efeitos que incidem no posicionamento GNSS e as recomendações de como reduzi-los na determinação de coordenadas, seja no momento do levantamento ou no processamento e ajustamento dos dados.

Tabela 2: Fontes de erros no Posicionamento GNSS

Fontes	Erros/efeitos	Correção/Redução de sua Influência nas Coordenadas
Satélites	Órbita	Usar no processamento efemérides precisas ao invés das transmitidas.
	Relógio	Usar no processamento correções precisas dos relógios dos satélites, estimados juntamente com as efemérides precisas. Esta informação é importante no processamento das observações pelo método de Posicionamento Preciso por Ponto. No posicionamento relativo este erro é eliminado no processo de diferenciação.
	Centro de fase	O ponto de onde os sinais são emitidos pelos satélites difere do seu centro de massa, onde as coordenadas são referidas. Portanto, para que esta correção seja contabilizada durante o processamento recomenda-se o uso de modelos de correção de centro de fase das antenas estimados pelo IGS, identificados pelos arquivos ATX.
	Atraso instrumental de interferência do satélite	Aplicar processamento no modo relativo, eliminando este efeito ou utilizar as correções de interferência dos satélites (<i>Differential Code Bias - DCB</i>) dos mapas do Conteúdo Total de Elétrons Vertical (<i>Vertical Total Elétrons Content - VTEC</i>).

Propagação do Sinal	Refração troposférica	Como a troposfera se comporta como um meio não dispersivo no intervalo de frequência dos sinais GNSS, não é possível reduzir seus efeitos através da combinação entre observações de diferentes frequências. Recomenda-se o uso de modelos empíricos no processamento das observações e/ou estima-los através do emprego das funções de mapeamento.
	Refração ionosférica	A refração ionosférica depende de vários fatores, como por exemplo: a posição geográfica, a época do ano e a hora do dia em que são realizadas as observações. Para reduzir os seus efeitos, recomenda-se: <ul style="list-style-type: none"> • evitar observações depois das 14 h (local) e nas proximidades dos equinócios em épocas de alta atividade solar; • evitar linhas de base longas; • usar, durante o levantamento, receptores de dupla frequência; • usar, no processamento, a combinação linear entre observáveis de duas frequências diferentes, denominada de “livre da ionosfera” (<i>ionofree</i>) ou • usar mapas da ionosfera, também denominados de mapas VTEC. O uso destes mapas é altamente recomendado no caso de receptores de uma frequência, como por exemplo, o mapa global da ionosfera (<i>Global Ionospheric Map – GIM, calculados pelo IGS</i>).
	Perdas de ciclos	Evitar obstrução nas proximidades da antena; Usar no processamento modelos eficazes de detecção e correção de perdas de ciclos.
	Multicaminho	Usar antena com recurso para reduzir o efeito do multicaminho; Evitar locais que tenham superfícies refletoras próximas, como por exemplo, vidros, metais, espelho d’água e telhados.
Receptor / Antena	Relógio	Estimado no processamento no modo absoluto. No processamento relativo este erro é eliminado durante a diferenciação das observações de fase.
	Centro de fase da antena	O ponto onde os sinais dos satélites são recebidos nas antenas não é acessível e deve ser projetado ao ponto de referência da antena. Recomenda-se o uso de modelos de antenas que possuem a correção do centro de fase, estimados pelo IGS, arquivos ATX; Estes modelos devem ser aplicados no processamento ⁶ .
	Atraso instrumental interfrequência do receptor	Aplicar processamento no modo relativo, eliminando este efeito ou utilizar DCB dos mapas do VTEC.
Local	Coordenadas	Usar o mesmo referencial geodésico das órbitas precisas na etapa do processamento.
	Influência magnética	Evitar levantamentos sob redes de alta-tensão.
	Marés terrestres	Usar no processamento modelos indicados pelo IERS.
	Carga oceânica	
	Carga atmosférica	
	Parâmetros de orientação da Terra (movimento do polo)	Usar no processamento as correções do pólo estimadas juntamente com as efemérides precisas.
Humana	Centragem da antena	Usar base nivelante no levantamento; Ocupar um marco com dispositivo de centragem forçada;

⁶ Se estas correções não forem consideradas no processamento, dependendo do modelo de antena utilizado, o erro poderá ser de decímetros, o que inviabiliza o posicionamento geodésico.

Medição da altura da antena	Realizar a medida em relação ao ponto de referência da antena; Realizar pelo menos duas medições em cada sessão observada, uma no início e outra no final da sessão;
-----------------------------	---

2.3 Métodos de posicionamento com GNSS

2.3.1 Posicionamento por Ponto

Também denominado de Posicionamento absoluto, considera apenas as observações coletadas individualmente por um equipamento para o qual se quer determinar sua posição, além das informações dos satélites (efemérides) em um determinado instante ou época. Pode ser realizado apenas com observações do código C/A, sendo neste caso utilizado pela maioria dos receptores de navegação para posicionamento em tempo real, obtendo-se soluções de precisão métrica, ou utilizando as observações de código e fase das portadoras, associadas a produtos de órbita precisa e modelos atmosféricos, permitindo a realização de um Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), obtendo-se soluções de precisão centimétrica.

Tabela 3: Estimativa da Precisão⁷ para Posicionamento por Ponto Preciso– PPP

Tempo de observação	Precisão L1			Precisão L3 (L1&L2)		
	Latitude	Longitude	Altitude	Latitude	Longitude	Altitude
1 h	10 cm	20 cm	20 cm	2 cm	4 cm	4 cm
2 h	5 cm	12 cm	12 cm	1 cm	2 cm	2 cm
4 h	3 cm	7 cm	8 cm	5 mm	1 cm	2 cm
6 h	3 cm	6 cm	7 cm	5 mm	1 cm	1 cm

2.3.2 Posicionamento Relativo

Este método leva em consideração ao menos dois receptores coletando dados simultaneamente dos mesmos satélites. Um dos receptores fica posicionado sobre uma estação com coordenadas conhecidas, denominada de estação de referência ou base, sendo as coordenadas das demais estações calculadas a partir desta. O processo de diferenciação entre as observações simultâneas permite reduzir os erros inerentes às observações, uma vez que quanto menor for a distância entre os receptores (linha de base), mais similares serão os erros, permitindo determinação de coordenadas com precisão centimétrica. Os erros e efeitos apresentados na tabela 2 (item 2.2) e que não são eliminados no processo de diferenciação, devem ser reduzidos através de modelos matemáticos e/ou atmosféricos ou ainda pela combinação entre as observáveis.

⁷ A precisão informada na tabela é apenas uma estimativa uma vez depender da qualidade do equipamento, das condições e informações do rastreamento, entre outras.

Como nos levantamentos realizados com receptores de uma frequência não é possível eliminar o efeito ionosférico, recomenda-se que a distância entre estação base e as demais não deve ser maior que 10 km, para que os efeitos da ionosfera possam ser considerados os mesmos entre elas. Outra possibilidade é reduzir o efeito ionosférico utilizando no processamento os mapas VTEC, como por exemplo do IGS (arquivos IONEX).

Tabela 4: Estimativa de Precisão⁸ para Posicionamento GNSS Relativo

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

2.3.3 Orientações para o posicionamento geodésico com GNSS

I) Seleção das antenas GNSS:

Recomenda-se o uso de antenas que possuem parâmetros de correção estimados e publicados pelo IGS, disponível em: <https://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/>, arquivos de extensão ATX. Na ausência destes, sugere-se o uso das informações de correção centros de fase disponíveis pelos fabricantes ou pelo serviço geodésico americano (*National Geodetic Survey – NGS*) em <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>.

II) Escolha das estações de referência (posicionamento relativo):

Usar preferencialmente as estações da RBMC como referência. Caso não seja possível, recomenda-se utilizar um marco geodésico SAT-GPS pertencente ao SGB que esteja em condições de rastreamento, sem obstruções e preferivelmente com dispositivo de centragem forçada. A utilização de um marco geodésico materializado por uma chapa, só deverá ser considerada na ausência de um dos marcos citados anteriormente. Independente do tipo de marco selecionado como referência, é importante verificar as suas condições físicas. Caso sejam identificados indícios de

⁸ A precisão informada na tabela é apenas uma estimativa uma vez depender da qualidade do equipamento, das condições e informações do rastreamento, entre outras.

abalo ou deslocamento, este marco não deve ser utilizado. Recomenda-se a verificação das coordenadas antes do uso da estação geodésica.

III) Centragem, orientação e medição da altura da antena no marco:

A centragem da antena consiste em tornar-se alinhado verticalmente seu centro geométrico com o ponto de referência do marco. A maneira de identificar este tipo de erro é realizar múltiplas sessões de rastreamento com centragem independentes em marcos que possuem chapas de metal no seu topo. A medida da altura da antena, vertical ou inclinada, deve ser realizada em relação ao ponto de referência da antena, o qual é identificado pelo fabricante. Para que as correções do centro de fase da antena possam ser adequadamente aplicadas é necessário orientá-la para a direção norte.

IV) Duração da sessão de observação:

Para o posicionamento GNSS estático, a duração da sessão de observação influenciará diretamente na precisão das coordenadas estimadas. As tabelas 3 e 4 apresentam estimativas de precisão para posicionamento absoluto e relativo em função do tempo de observação e tipo de equipamento utilizado.

V) Processamento das observações e integração ao SGB:

Trata-se de uma etapa em que o conhecimento teórico sobre as características das observáveis GNSS e suas combinações são muito importantes, uma vez que durante o processamento, os erros devem ser eliminados ou reduzidos significativamente para se obter coordenadas de precisão de poucos centímetros.

VI) Altitudes ortométricas através do GNSS:

A componente altimétrica obtida em levantamentos GNSS é representada pela altitude elipsoidal ou geométrica. Entretanto, a superfície de referência altimétrica adotada no SGB é o nível médio do mar, como adequada aproximação do geoide, conforme a estratégia clássica de estabelecimento de um referencial altimétrico (ver seção 3.1). A altitude referida ao geoide é denominada altitude ortométrica. As altitudes geométrica e ortométrica estão relacionadas através da ondulação geoidal ou altura geoidal, sendo necessário o desenvolvimento de um modelo de ondulação geoidal para a integração dessas informações altimétricas. Na transformação da altitude geométrica

em ortométrica, recomenda-se a utilização da última versão do MAPGEO, com as restrições discutidas na seção 3.1.2.

2.4 Especificações dos levantamentos GNSS

A implantação e determinação pelo IBGE de marcos geodésicos planialtimétricos, segue padrões que variam conforme atividade a que se destinam, influenciando nas características fundamentais dos levantamentos GNSS e na materialização do marco. Essas atividades geodésicas são classificadas como: GPS sobre RRNN, homologação de marco geodésico, estação SAT, Redes GPS, controle geodésico nas estações maregráficas, estação da RBMC e processamento contínuo de estações ativas. As tabelas 5 e 6 apresentam a classificação dos resultados obtidos através de levantamentos GNSS, segundo vários parâmetros adotados na medição, processamento e ajustamento.

Tabela 5: Especificações para Posicionamento Geodésico com GNSS (parte 1)

Item	Levantamentos Planialtimétricos de Alta Precisão			
	GPS em RRNN	Homologação de Marcos	Estação SAT	Redes GPS
1.Objetivo	Avaliação do modelo de ondulação geoidal	Integração de estações determinadas por terceiros ao SGB, conforme. (Item 2.5.)	Demais densificações da componente planialtimétrica do SGB	Implantação de estações de alta precisão (processamento em rede).
2.Tipo de Equipamento	Geodésico			
3.Tempo mínimo de observação (horas/sessão)	3	6	4	4
4.Número mínimo de sessões	3	4	3	3
5.Número mínimo de estações de referência	3	3	3	3
6.Solução do processamento	Fixa, dupla diferença de fase.			
7.Solução final	Ajustamento injuncionado			
8.Injunção	Desvio padrão das coordenadas das estações de referência.			
9.Tipo de Marco	Chapa, Marco e Pilar.			Pilar.
10.Tipo de Levantamento	Estático.			
11.Correção do Centro de Fase da Antena	IGS	IGS, NGS ou Fabricante.	IGS	IGS

12. Altura da Antena	Vertical ou Inclinada.			Vertical
13. Orientação da Antena	Norte	-	Norte	Norte
14. Montagem da Antena	Tripé ou pino de centragem forçada.			Pino de centragem forçada
15. Fixação da Antena	Base nivelante, pino ou extensor.			
16. Precisão das Coordenadas	Plan: < 2 cm Alt: < 5 cm	Plan: < 2 cm Alt: < 3 cm	Plan: < 2 cm Alt: < 3 cm	Plan: < 1 cm Alt: < 2 cm

Tabela 6: Especificações para Posicionamento Geodésico com GNSS (parte 2)

Item	Atividade Geodésica Planialtimétrica para determinação de um SAT		
	Controle Geodésico	Estação RBMC	Processamento Contínuo
1. Objetivo	Vincular as RRNN dos circuitos de nivelamento de CGEM à estação RBMC.	Determinação das coordenadas de referência de novas estações da RBMC.	Determinação contínua das coordenadas de estações ativas (RBMC / SIRGAS-CON) e monitoramento diário.
2. Tipo de Equipamento	Geodésico		
3. Tempo mínimo de observação (horas/sessão)	6	24	24
4. Número mínimo de sessões	4	10	Diárias
5. Número mínimo de estações de referência	3	3	> 7
6. Solução do processamento	Fixa, dupla diferença de fase.		
7. Solução final	Ajustamento injuncionado.		Depende do tipo de solução (livre, injuncionada ou injunção mínima).
8. Injunção	Desvio padrão das coordenadas das estações de referência.		Depende do tipo de solução (livre, injuncionada ou injunção mínima).
9. Tipo de Marco	Marco	Pilar	
10. Tipo de Levantamento	Estático		
11. Correção do Centro de Fase da Antena	IGS		
12. Altura da Antena	Vertical		
13. Orientação da Antena	Norte		
14. Montagem da Antena	Pino de centragem forçada		
15. Fixação da Antena	Pino de centragem forçada		
16. Precisão das Coordenadas	Plan: < 1 cm Alt: < 1 cm		

2.5 Serviços GNSS disponibilizados pelo IBGE

O IBGE como responsável pelo SGB disponibiliza uma estrutura geodésica que permite integrar posicionamentos realizados no Brasil ao SGB, seja através da utilização dos marcos geodésicos materializados na superfície terrestre, ou através da utilização de serviços de posicionamento GNSS oferecidos.

2.5.1 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC)

Consiste em um conjunto de estações geodésicas distribuídas nacionalmente e equipadas com receptores GNSS geodésicos e, em alguns casos, também com sensores meteorológicos, coletando observações continuamente. No uso da RBMC está implícito o método de posicionamento relativo, onde a estação desta rede desempenha a função de estação base, cabendo ao usuário ocupar apenas os pontos de seu interesse.

Existem dois serviços associados a RBMC: um para o fornecimento de observações para pós-processamento e outro para levantamentos em tempo real, denominado RBMC-IP.

O serviço RBMC-IP fornece fluxo de dados, efemérides e correções GNSS das estações da RBMC em tempo real através do protocolo NTRIP – *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*. As órbitas e erros dos relógios dos satélites disponibilizados através do RBMC-IP, são calculados pelo Serviço IGS em Tempo Real (IGS – Real Time Service, IGS-RTS) e disponibilizados pelo serviço RBMC-IP. O fluxo identificado como RTCM3EPH se refere às órbitas transmitidas em tempo real. Para obter coordenadas no referencial SIRGAS2000, existem dois fluxos de correções (efemérides e relógios), sendo eles: o fluxo SIRGAS200001 para receptores GPS e o fluxo SIRGAS200002 para receptores GNSS (GPS + GLONASS). O fluxo IGS03 fornece soluções na última realização do sistema de referência global IGS. Antes de iniciar o levantamento, o usuário deverá realizar um cadastro no portal do IBGE para receber login e senha de acesso ao serviço. Os dados da RBMC para pós-processamento são disponibilizados no portal do IBGE em arquivos diários no formato RINEX 2, juntamente com as efemérides transmitidas. Os arquivos diários e relatórios das estações da RBMC são encontrados em ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rbmc/.

2.5.2 Serviço de Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE-PPP)

Possibilita a determinação de coordenadas de levantamentos GNSS no modo absoluto. A integração desse posicionamento ao SGB é dada através da aplicação de parâmetros de transformação e atualização das coordenadas para época de referência do SIRGAS2000. Este serviço utiliza o programa de processamento CSRS-PPP – *Canadian Spatial Reference System* desenvolvido pelo NRCan – *Natural Resources Canada*. Mais detalhes sobre o serviço IBGE-PPP podem ser encontrados em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.

2.5.3. Homologação de Marcos Geodésicos ao SGB

Procedimento de integração de um marco geodésico implantado por terceiros (instituições públicas ou privadas, ou pessoas físicas) ao SGB. Neste caso, o solicitante encaminhará as observações GNSS ao IBGE, bem como informações do levantamento e toda descrição da construção do marco geodésico implantado, conforme padrão preestabelecido no documento “Instruções para homologação de estações estabelecidas por outras instituições” disponível em ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/outros_documentos_tecnicos/homologacao_marcos/.

3 Especificações e Normas para Levantamentos Altimétricos

Esta seção do documento visa orientar a execução de levantamentos geodésicos baseados no nivelamento geométrico de alta precisão realizados para o estabelecimento e densificação do SGB, fornecendo os elementos básicos norteadores destas atividades.

No SGB, o conjunto homogêneo de marcos ou estações geodésicas dotadas de altitudes de alta precisão é formalmente denominado Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP). O cálculo dessas altitudes é realizado a partir de medições de nivelamento geométrico duplo, com instrumentos e procedimentos específicos para a obtenção da alta precisão. As estações da RAAP constituem a estrutura fundamental a partir da qual a comunidade técnico-científica usuária do SGB estabelece suas próprias redes de altitudes para os mais variados objetivos, tais como: obras de saneamento, irrigação, estradas, telecomunicações, usinas hidrelétricas, mapeamento e estudos científicos.

As estações da RAAP são denominadas Referências de Nível (RRNN), e suas altitudes têm precisão na ordem de poucos milímetros em relação às estações adjacentes. Para alcançar esse objetivo, devem ser atendidas as condições apresentadas nesta norma técnica.

A versão anterior das “Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos” (R.PR nº 22, 21/07/1983) estabeleceu os critérios necessários ao estabelecimento da RAAP e também para os levantamentos complementares (“de precisão” e “para fins topográficos”). Por outro lado, no presente documento são apresentadas e discutidas apenas as especificações para a execução dos levantamentos de alta precisão realizados pelo IBGE, no contexto da densificação ou recomposição da RAAP.

3.1 Tipos de altitudes

I) Altitude elipsoidal ou geométrica (h)

Altitude puramente matemática, desvinculada do campo da gravidade, medida ao longo da normal entre o elipsoide de referência e o ponto de interesse (Figura 1). Essa altitude é obtida a partir do emprego da técnica GNSS e, na maioria das aplicações,

deve ser transformada para o tipo de altitude física utilizado no sistema altimétrico vigente.

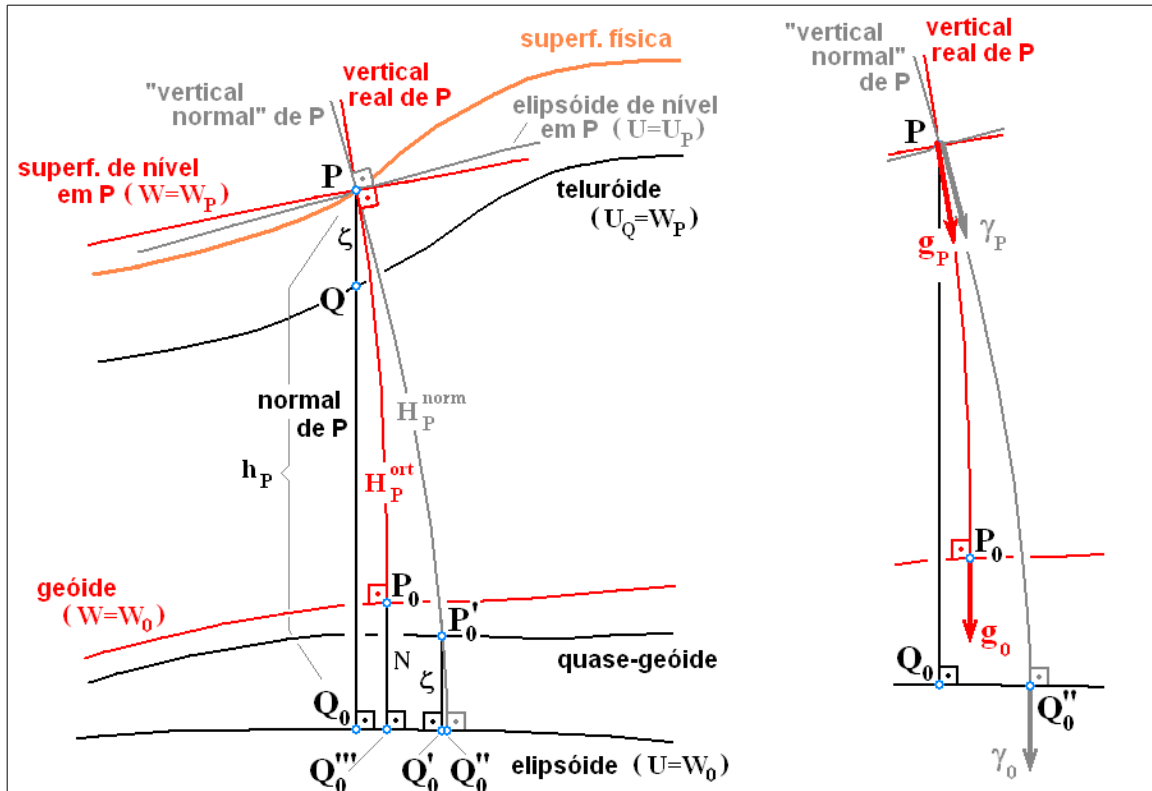


Figura 1 – Definição dos diferentes tipos de altitudes (adaptado de LUZ, 2008, p.37)

II) Altitude ortométrica (H)

Altitude com significado físico, medida entre o geóide e o ponto de interesse ao longo da linha vertical, ortogonal a todas as superfícies equipotenciais do campo da gravidade terrestre e, portanto, uma curva reversa que reflete as irregularidades da distribuição de massas no corpo planetário. Para seu cálculo a partir do número geopotencial ajustado, o denominador da equação (1) deve ser o valor médio da gravidade observada ao longo do mesmo percurso, isto é, entre o geóide e o ponto de interesse (g^{vert}):

$$H = C / g^{\text{vert}} \quad (3)$$

A observação da gravidade no interior da crosta é viável apenas em casos muito específicos e, portanto, para a maioria das estações altimétricas, deve-se considerar que é impossível o conhecimento da gravidade média na vertical e, conseqüentemente, da respectiva altitude ortométrica “formal”. A fim de contornar esta dificuldade, a ciência

geodésica propõe algumas variações e simplificações da definição formal de altitude ortométrica, baseadas em aproximações daquele valor médio da gravidade. As variações utilizadas no Brasil são apresentadas nas próximas seções. Até 2017, foram utilizadas as altitudes ortométricas-normais⁹ (ou normais-ortométricas) e, a partir do próximo reajustamento altimétrico, a ser concluído em 2017, as RRNN do SGB passarão a ter valores de altitude normal, seguindo as recomendações do SIRGAS (2008, p.13).

Por outro lado, as altitudes ortométricas “formais” podem ser obtidas a partir das altitudes geométricas mediante a aplicação de correções extraídas de modelos de ondulação geoidal, as chamadas alturas geoidais (N):

$$H = h - N \quad (4)$$

É importante ressaltar que, no caso do Brasil, a aplicação desta estratégia deve ser complementada com a compatibilização entre as altitudes ortométricas assim obtidas e as altitudes ortométricas-normais do SGB ou as futuras altitudes normais resultantes do próximo reajustamento altimétrico.

III) Altitude normal (H^N)

Também dotado de significado físico pleno, este tipo de altitude resolve a já mencionada dificuldade da altitude ortométrica “formal” relacionada ao valor médio, na vertical, da gravidade observada, substituindo-o pelo correspondente valor médio da gravidade normal (γ^{vert}), isto é, a gravidade teórica dada pelo chamado modelo Terra normal:

$$H^N = C / \gamma^{\text{vert}} \quad (5)$$

A altitude normal é medida ao longo da linha vertical normal, isto é, a ortogonal às superfícies equipotenciais do campo normal. Por não considerar o campo real, a altitude normal não se refere rigorosamente ao geoide, mas sim a uma superfície próxima a ele, denominada quase-geoide.

⁹ Altitudes publicadas no Banco de Dados Geodésicos

De forma análoga ao caso da altitude ortométrica “formal”, a altitude normal pode ser obtida a partir das altitudes geométricas com a devida aplicação de correções extraídas de um modelo quase-geoidal, denominadas anomalias de altura (ζ):

$$H^N = h - \zeta \quad (6)$$

IV) Altitude normal-ortométrica (H^{N0})

Estas altitudes ampliam a utilização dos valores de gravidade normal (teórica), considerando-os também no cálculo das diferenças de “número geopotencial normal” (ΔC^N), nos casos em que não foi possível a observação direta da gravidade nas estações altimétricas:

$$\Delta C^N = \Delta H_{12} \cdot (\gamma_1 + \gamma_2)/2 \quad (7)$$

Na prática, não são utilizadas as diferenças ΔC^N , preferindo-se a aplicação direta da correção normal-ortométrica – tradicionalmente denominada “correção ortométrica” ou, ainda, correção do não paralelismo das equipotenciais – aos desníveis resultantes do nivelamento geométrico. A substituição da gravidade real pela normal leva à desconsideração dos efeitos da distribuição irregular de massas no corpo planetário, tratando apenas do não paralelismo característico do campo normal, isto é, o modelo elipsóidico com distribuição regular de massas.

Como consequência de tais simplificações, o significado físico das altitudes normais-ortométricas é apenas parcial, e sua superfície de referência tem afastamento significativo em relação ao geóide. No caso de sua comparação com as altitudes físicas resultantes da correção das altitudes geométricas com modelos quase-geoidais, as diferenças médias são usualmente denominadas “geóide local” ou “componente sistemática do geóide”, mas refletem, na verdade, a incompatibilidade entre as duas superfícies.

3.2 Geometria da RAAP

Considerando a utilização exclusiva do nivelamento geométrico de alta precisão, os levantamentos altimétricos envolvem a medição do desnível entre RRNN sucessivas, cujo espaçamento – muito superior aos limites máximos para as visadas –

leva necessariamente à utilização do método de nivelamento linear composto, isto é, desenvolvido sob a forma de lances, que compõem seções e, por sua vez, linhas. Além disso, tendo em vista o controle da propagação de erros, a sequência de medições deve formar circuitos fechados. Assim, as observações de nivelamento da RAAP organizam-se de acordo com os seguintes elementos:

- visada: intervalo entre o instrumento nivelador instalado no respectivo tripé e a mira vertical posicionada sobre uma RRNN ou um ponto temporário (sapata, pino, ou piquete);

- lance: conjunto básico formado pelas visadas a ré e a vante, cuja repetição sucessiva desde a RN de partida até a RN de chegada permite a determinação do desnível total entre elas, como a soma dos desníveis parciais de cada lance;

- seção: trecho de nivelamento duplo formado por lances observados sucessivamente, em um único intervalo de tempo, entre duas RRNN contíguas, nos dois sentidos (nivelamento e contra-nivelamento);

- linha: trecho de nivelamento formado por seções sucessivas entre pontos notáveis (localidades, RRNN etc);

- circuito: sequência fechada de seções, partindo de uma RN qualquer e chegando na mesma RN;

- ramal: conjunto de seções sucessivas que não forma circuito;

- RN nodal: RN pertencente a três ou mais seções formadoras de circuitos; e

- linha internodal: sequência de seções entre duas RRNN nodais.

O espaçamento entre as RRNN e a extensão dos circuitos dependerá da finalidade do nivelamento e da região de trabalho. Ramais devem ser evitados; nos casos em que haja necessidade de levar a RAAP a localidades servidas por apenas um acesso viário, o nivelamento deverá desenvolver-se em linha com seções formadas por RRNN alternadas. Neste caso, o espaçamento entre RRNN deverá ser diminuído de modo que o comprimento das seções atenda às especificações.

3.3 Equipamentos

Deverão ser usados níveis e miras adequados ao objetivo de alta precisão. Assim, qualquer que seja o tipo de nível utilizado, a precisão de horizontalização do eixo de colimação deverá ser melhor que 0.35", e a precisão do desnível observado em 1 km de nivelamento duplo, melhor que 0.4 mm.

No caso de níveis ótico-mecânicos, deverão ser dotados de sistema para auxílio na calagem da bolha ("bolha bipartida"), e leitura das miras por meio de micrômetro de placa plano-paralela. O tripé deverá ter peso mínimo de 6 kg, com pernas não-extensíveis ("rígidas"). As miras deverão possuir nível de bolha circular para verticalização e ter a escala convencional, ou o código de barras para nível digital, gravados em fita de invar.

Antes do início dos trabalhos diários, todo o instrumental deverá ser deixado sob as condições comuns de trabalho, para estabilização térmica – porém nunca sob insolação direta (usar guarda-sol). O tempo total será estimado pela relação de 2 min para cada grau de diferença entre a temperatura do local de armazenagem e a do local de operação. Em adição, no início de cada dia de trabalho, deverá ser verificado o fator de colimação, segundo as especificações mencionadas adiante.

3.4 Verificação de abalo

Com a finalidade de confirmar a permanência, na posição original, das RRNN da RAAP que serão utilizadas como partida e chegada de um novo levantamento, faz-se necessária a chamada verificação de abalo das mesmas.

O procedimento consiste na medição do nivelamento e contranivelamento de um trecho compreendido por três (3) RRNN adjacentes, cujos valores de diferença de nível dessa nova medição sejam comparados com os valores da(s) medição(ões) anterior(es). Caso a diferença entre esses valores seja maior que a tolerância de 3 mm vezes a raiz quadrada da distância em km ($3\text{mm}\sqrt{\text{km}}$), deverá ser feita uma análise para determinar qual RN possivelmente encontra-se abalada, sendo necessária a medição de outras seções existentes até que se encontre uma sequência de 3 RRNN, cujas seções encontram-se dentro da tolerância e assim garanta a utilização da RN do meio desta sequência como partida ou chegada da atividade.

No caso de pausa das atividades de nivelamento por até 15 dias, deve-se realizar o nivelamento em apenas um sentido, nivelamento ou contra, da última seção medida. Se o período for superior ao especificado, deve-se realizar o procedimento completo de verificação de abalo com 3 RRNN sequenciais adjacentes e duas seções nos dois sentidos.

3.5 Verificação do erro de colimação

Ao se iniciar a sequência diária contínua de observações no nivelamento de alta precisão, o primeiro procedimento adotado deve ser a determinação do fator de colimação do nível utilizado.

A metodologia empregada para os níveis ótico-mecânicos consiste em:

- as miras devem ser estacionadas com 60 m entre elas, em terreno plano;
- o nível deve ser estacionado entre as miras, a 6 m de cada uma delas;
- devem ser efetuadas leituras nas graduações de ambas as miras, em cada estação do nível; e
- em terrenos acidentados a distância entre miras poderá ser reduzida para trinta metros (30 m) e, entre nível e mira, a 3 m.

Para determinação do fator de colimação no nível digital deverá ser adotado o método disponível no instrumento que apresente as seguintes relações:

- as distâncias entre o nível e as miras devem ter uma relação de proporção 1:2; e
- as miras devem ser posicionadas nas extremidades e o nível entre estas, localizando a $1/3$ da mais próxima e a $2/3$ da mais afastada.

Deverão ser observadas nas especificações do fabricante, as distâncias críticas de leitura do instrumento, bem como a distância mínima e máxima de leitura.

3.6 Especificações para o nivelamento geométrico

No IBGE, são executados dois tipos de nivelamento: o de alta precisão, com a finalidade de densificação da RAAP; e o científico, para controle geodésico e vinculação entre as Estações Maregráficas que o IBGE estabelece e opera.

Para evitar a ocorrência e propagação dos erros sistemáticos, tão comuns nas operações de nivelamento, alguns cuidados usuais devem ser empregados na sua execução, tais como a adoção do comprimento das visadas de ré e vante serem aproximadamente iguais, de modo a se compensar o efeito da curvatura terrestre e da refração atmosférica.

No nivelamento geométrico duplo recomenda-se a utilização de visadas de até 60 m de comprimento. Para evitar os efeitos da reverberação, as leituras das miras deverão situar-se acima da marca de 50 cm. No entanto, em caso de terrenos acidentados, com comprimento das visadas inferiores a 10 m, são aceitáveis leituras acima de 20 cm. Nas medições das seções, atentar lance a lance, para diferença acumulada entre os comprimentos das visadas a vante e a ré, visando atingir ao final com valores inferiores ao estipulado na tabela 7.

No nivelamento geométrico científico com o nível digital, é empregado o método de leitura da mira ré, vante, vante, ré para o cálculo do desnível, sem mover as miras dos pontos. Esta metodologia é mais rigorosa, pois aumenta a fiabilidade da medição, bem como reduz os possíveis efeitos provocados pelo afundamento da mira.

Tanto no nivelamento geométrico de alta precisão como no nivelamento científico, é necessário estabelecer uma mira no par de estações, iniciando em cada lance a leitura pela mira mestra. Ao utilizar-se o nível digital deverá ser observado durante a leitura da mira, a média de 5 leituras consecutivas ininterruptas que o instrumento realizará após sua programação. Não sendo obrigatório utilizar dois operadores para nivelar e contranivelar. Quando se opta pelo nível ótico-mecânico, as operações de nivelamento e contranivelamento deverão ser efetuadas por operadores distintos, observar a discrepância tolerável neste documento entre os 3 fios, apresentada na tabela 7.

A qualidade do levantamento deverá ser controlada por meio das diferenças entre o nivelamento e o contranivelamento, seção a seção e acumuladas na linha, observando-se os valores limites estabelecidos na tabela 7. A manutenção deste controle permitirá alcançar, após o ajustamento, os valores estipulados para a exatidão de cada classe.

Cabe ressaltar, que o IBGE até o ano de 1990 utilizou o valor de $4 \text{ mm} \sqrt{\text{km}}$ para o controle da qualidade do fechamento das seções de nivelamento da RAAP e partir de tal época foi alterado para $3 \text{ mm} \sqrt{\text{km}}$.

As miras deverão ser utilizadas aos pares, tomando-se o cuidado de alterná-las a ré e a vante, de modo que a mira posicionada no ponto de partida (lida a ré) seja posicionada no ponto de chegada (lida a vante), eliminando-se, assim, o erro de índice. Convém observar, a obrigatoriedade da colocação das miras sobre chapas ou pinos e, no caminhamento, sobre sapatas, nunca diretamente sobre o solo.

Por mais estável que esteja estacionado, o equipamento sofre acomodações decorrentes do próprio peso. Por este motivo, além de escolher criteriosamente o local para as estações, o tempo de ocupação deverá ser o mais breve possível, evitando-se que tais acomodações possam comprometer os resultados das observações.

Com o objetivo de resguardar o nível dos efeitos da radiação solar, reduzindo o tempo de calagem do nível e a imprecisão dos registros, deve-se utilizar sempre o guarda-sol enquanto o instrumento estiver estacionado, seja ótico-mecânico ou digital, mesmo na ausência de incidência solar direta, como por exemplo, no caso de mormaço.

Tabela 7: Especificações para o nivelamento geométrico.

Item	Levantamentos Altimétricos de Alta Precisão		
	Científico		Fundamental
Objetivo	Controle geodésico de estações maregráficas	Vinculação entre estações maregráficas	Densificação da Rede Altimétrica
Geometria da Rede			
1. Perímetros máximo dos circuitos	1,5 km	400 km	800 km
2. Comprimento das seções	450 m	até 2 km	até 3 km

Medição de desníveis		Nivelamento Duplo (N e CN)		
1. Visadas	Manter a homogeneidade de cada par de visada ré-vante para evitar as diferenças atmosféricas entre as visadas em cada estação do nível			
2. Leituras	Iniciar cada lance pela leitura da mira mestra			
3. Estacionamento do aparelho	Instalar e nivelar o aparelho, tendo o cuidado de calçar as três pernas do tripé, principalmente em terreno arenoso ou lamacento, diminuindo a possibilidade de abaixamento do instrumento durante as observações			
4. Condições ambientais	Evitar executar o nivelamento em horários de alta incidência de Sol para evitar a reverberação			
5. Cuidados adicionais	Deve-se evitar o desenvolvimento das medições de nivelamento geométrico posicionando as miras e o aparelho diretamente sobre o pavimento asfáltico, visando evitar o efeito do afundamento da camada sobre as observações coletadas			
6. Instrumental	Nível digital com miras de ínvar de código de barras ou nível automático ou de bolha provido de micrômetro ótico de placas plano-paralelas. Miras de ínvar c/ dupla graduação			
7. Precisão nominal do nível	Melhor que 0,4 mm por quilômetro nivelado			
8. Colimação do nível ótico (C) - mm/m				
a) Não precisa ser retificado	$ C \leq 0,01$	Idem	Idem	
b) Poderá ser retificado	$0,01 < C \leq 0,03$	Idem	Idem	
c) Deverá ser retificado	$ C > 0,03$	Idem	Idem	
9. Colimação do nível digital (C) - mm/m	Sempre habilitar no equipamento a função de correção da colimação durante o nivelamento			
10. Limites e tolerâncias para leitura				
a) Visada mínima da mira	0,5 m ¹⁰	Idem	Idem	
b) Visada máxima da mira	2,80 m	Idem	Idem	
c) Comprimento máximo da visada	30 m	45 m	60 m	
d) Tolerância de leitura para nível ótico				
• divergência de leituras entre duas graduações em unidades da mira	0,0001 m	0,0002 m	0,0002 m	
• uso dos três fios – divergência entre 1º e 2º, 2º e 3º	0,001 m	0,002 m	0,002 m	
e) Tolerância de leitura para nível digital				
• diferença das medições das duas visadas a ré/vante	0,0001 m	0,0002 m	-	
• diferença do desnível entre medidas consecutivas (ré-vante ~ ré-vante)	0,0002 m	0,0004 m	-	
f) Diferença máxima tolerável entre os comprimentos das visadas de ré e vante, acumulada para a seção	1 m	3 m	3 m	
g) Diferença máxima tolerável por estação individual	1 m	1,5 m	3 m	
Controles para a qualidade				

¹⁰ Para terrenos acidentados, com visadas inferiores a 10 metros é aceitável o valor de 0,2 m para a leitura mínima da mira.

1. Diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contra-nivelamento de uma seção (k = comprimento da seção em km)	1,5 mm \sqrt{k}	2 mm \sqrt{k}	3 mm \sqrt{k}
2. Diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contra-nivelamento de uma linha (k = comprimento da linha em km)	1,5mm \sqrt{k}	3 mm \sqrt{k}	4 mm \sqrt{k}
3. Valor máximo aceitável para fechamento de circuito	1,5 mm \sqrt{k}	3 mm \sqrt{k}	5mm \sqrt{k}

4 Especificações e Normas para Levantamentos Gravimétricos

Esta seção do documento visa orientar a execução de levantamentos geodésicos baseados na determinação da gravidade realizados pelo IBGE, fornecendo os elementos básicos norteadores destas atividades.

A componente gravimétrica tem por objeto o estudo do campo da gravidade terrestre no território, e a partir do seu resultado, proporcionar uma importante contribuição na conversão e determinação de altitudes com significado físico. As observações gravimétricas serão utilizadas na correção dos desníveis através do processo de ajustamento da rede altimétrica e são essenciais na determinação de um modelo de ondulação geoidal.

Os primeiros levantamentos gravimétricos realizados pelo IBGE foram empreendidos na década de 1950, no entorno do Vértice Chuá, visando a implantação de um novo referencial planimétrico. Posteriormente, diversos levantamentos foram executados em convênio com universidades e outros institutos de pesquisa. Contudo, os trabalhos de adensamento da Rede Gravimétrica do SGB, vêm sendo realizados de forma sistemática desde o final da década de 1980 com gravímetros relativos.

A revolução provocada pelo surgimento do GPS a partir da década de 1990, na qualidade do posicionamento espacial, e atualmente consolidada nos GNSS, levou à necessidade de conhecimento cada vez mais preciso da ondulação geoidal. Apesar do referencial associado ao GNSS ser tridimensional, as altitudes fornecidas por ele são elipsoidais (geométricas), enquanto as altitudes utilizadas no SGB são aproximações das ortométricas (físicas), conforme seção 3.1.2. Isso faz com que as altitudes GNSS não possam ser diretamente comparadas com qualquer altitude referenciada ao referencial altimétrico do SGB.

Para viabilizar a conversão entre os dois sistemas de altitude, o IBGE desenvolve permanentemente o Modelo de Ondulação Geoidal do Brasil (MAPGEO), por meio do qual a altitude elipsoidal (h), determinada através de receptores GNSS, pode ser transformada em altitude ortométrica (H), utilizando-se a altura geoidal (N).

4.1 Referencial Gravimétrico

O referencial gravimétrico brasileiro é materializado através da Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira (RGFB), a qual é mantida e administrada pelo Observatório Nacional (ON) (<http://www.on.br/index.php/pt-br/laboratorios/gravimetria.html>) e é composta por estações gravimétricas absolutas e relativas. Dada a caracterização da RGFB, todos os levantamentos gravimétricos realizados pelo IBGE são apoiados sobre a mesma, respeitando-se assim a hierarquia entre as redes.

4.2 Tipos de estações gravimétricas (EEGG)

Ao longo de três décadas de levantamento gravimétrico sistemático, o IBGE tem caracterizado as EEGG em duas classes: Básica ou de Densificação.

I) Básica

As EEGG Básicas têm por objetivo transportar uma referência de valor da gravidade para apoiar os levantamentos de Densificação. Uma nova implantação é necessária quando não existe estação da RGFB ou Básica, que permita o fechamento da linha gravimétrica de densificação em, no máximo, 48 h.

Uma estação deste tipo deve ser materializada via de regra em local estável e de fácil reocupação, e preferencialmente sobre uma estação geodésica já existente, como uma RN ou SAT. Normalmente são determinadas através de linhas gravimétricas independentes das linhas gravimétricas de Densificação.

II) Densificação

As EEGG desta classificação visam a modelagem do geoide no território nacional. Os levantamentos desta categoria ocorrem na forma de duas subclasses:

1) Conexão: leitura de gravidade sobre estações geodésicas já existentes, como RN e SAT.

2) Grade: leitura de gravidade seguindo um determinado espaçamento, não necessitando de materialização.

Uma única linha gravimétrica pode conter estações de conexão ou em grade. Para campanhas de densificação em grade, sempre que for encontrada uma RN ou

SAT, deve-se estabelecer uma EG de conexão. Normalmente, campanhas exclusivas para densificação em conexão são realizadas quando novas RRNN são implantadas.

4.3 Desenvolvimento dos levantamentos gravimétricos

As especificações abordam os critérios utilizados nas medições gravimétricas vinculadas às determinações relativas, realizadas com gravímetros relativos mecânicos do tipo ótico-mecânico ou digital.

Nos gravímetros relativos, essa aceleração é obtida através da medição de uma grandeza fundamental (variação de comprimento do sensor) e uso de uma grandeza derivada (aceleração de gravidade). Tal afirmação implica que nesse tipo de equipamento é fornecida a diferença de aceleração entre os pontos medidos. Assim, para se observar aceleração de gravidade nesses pontos é necessário iniciar a medição num ponto onde se conhece essa aceleração, como uma estação gravimétrica da RGFB ou uma Básica.

As sucessivas medições gravimétricas relativas, realizadas de forma sequencial, denomina-se linha gravimétrica. Se a primeira estação de referência coincidir com a última, tem-se uma linha gravimétrica fechada ou de base simples; se a primeira for distinta da última, tem-se uma linha gravimétrica aberta ou de base dupla.

4.3.1 Determinação de estação gravimétrica básica

Visando satisfazer aos requisitos de precisão e acurácia, as linhas gravimétricas deverão ser abertas e fechadas preferencialmente em estações da RGFB, que apresentam padrões superiores em termos de precisão. Somente em casos excepcionais, na inexistência de uma estação da RGFB que permita o fechamento da linha em, no máximo, 48 h, será permitido estabelecer uma nova EG básica através do transporte do valor da gravidade de uma outra estação de básica do IBGE ou da RGFB.

Uma estação básica deve ser obrigatoriamente materializada, pertencer a sítios estáveis e de fácil reocupação. Se possível, aproveitar um monumento geodésico já existente (exemplo: RN ou SAT), preferencialmente em terrenos sem obstrução para o

rastreio GNSS, sendo requerido minimamente que o local escolhido permita a obtenção de coordenadas planialtimétricas por GPS de navegação. A precisão planialtimétrica mínima exigida será equivalente aos dos receptores de navegação. Entretanto, em caso de ocorrência de fonte de coordenadas planialtimétricas diversas, a melhor precisão deve ser adotada. Quando utilizado o rastreio GNSS com receptores de duas frequências, observar os parâmetros contidos na seção pertinente ao capítulo 2.

No estabelecimento deste tipo de estação preveem-se o emprego de no mínimo dois gravímetros, sendo o ideal o uso de três. Este processo permite detectar eventuais erros de observação, ou instrumentais, como o “salto” de leitura, garantindo uma margem de confiança maior nos valores medidos.

Se forem empregados dois gravímetros concomitantemente, serão executadas duas linhas gravimétricas por equipamento, correspondendo a quatro ocupações sobre a mesma estação. No caso de três gravímetros operados em conjunto, será executada uma linha de medição por gravímetro correspondendo a três ocupações sobre um mesmo ponto.

Quando uma EG básica for conexão¹¹ com uma estação SAT ou RN, o desnível máximo entre a referência da estação (chapa ou dispositivo de centragem forçada) e a base do gravímetro é de ± 50 cm. No caso de uma estação SAT com pino de centragem forçada, a referência da estação é o topo do pino.

4.3.2 Determinação de estação gravimétrica de densificação

Obrigatoriamente as EEGG de densificação são estabelecidas através de linhas que se apoiem em estações da RGFB ou EEGG básicas do IBGE. Para medição desses pontos basta utilizar somente um gravímetro.

O controle da linha gravimétrica será regido pelo critério da diferença máxima entre as reocupações que não deverá ultrapassar o valor de 0,05 mGal. No caso de trechos nos quais não estejam disponíveis os valores prévios de gravidade nas estações para comparação, será necessário realizar uma reocupação sobre uma EG determinada na mesma linha antes de fechá-la.

¹¹ Uma estação geodésica com conexão é aquela que possui medições planialtimétricas(GNSS), altimétricas e gravimétricas referidas a um mesmo marco físico.

O espaçamento entre estações de densificação é dado conforme a sua subclasse:

- Conexão: conforme o espaçamento das estações geodésicas existentes; e
- Grade: deve seguir o espaçamento da grade de 5' do modelo de ondulação geoidal, podendo ser adotados outros tamanhos de grades para projetos específicos.

A precisão planialtimétrica também é dada conforme a sua subclasse:

- Conexão: utilizar as informações da estação ocupada. No caso de ocupação sobre RN, verificar e/ou atualizar as coordenadas planimétricas com receptor de navegação. Na hipótese de uma conexão tripla, utilizar altitude da RN e coordenadas planimétricas do SAT;
- Grade: a precisão altimétrica obtida por rastreamento GPS/GNSS deve ser melhor que 0,25 m.

Quando uma EG de densificação for conexão com uma estação SAT ou RN, o desnível máximo entre a referência da estação e a base do gravímetro é de $\pm 1,25$ m.

O desnível pode ser negativo quando o gravímetro está abaixo do ponto de referência do marco, ou positivo, quando o gravímetro está acima do ponto de referência do marco, conforme ilustrado na figura 2.

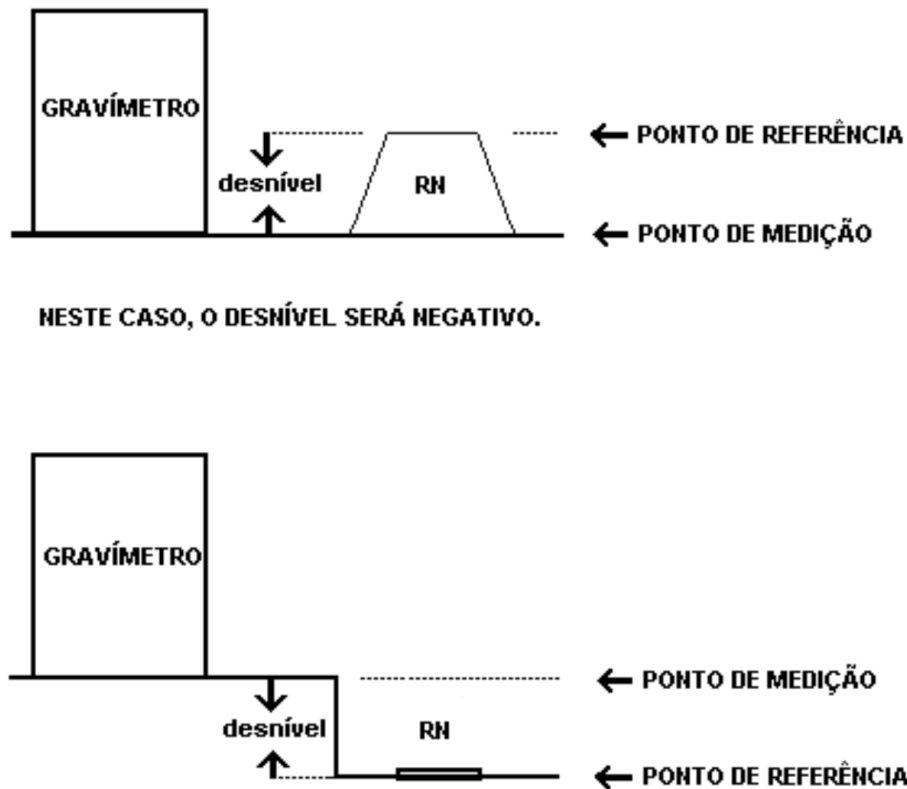


Figura 2: Posições relativas entre o gravímetro e a superfície de referência de uma estação geodésica.

I) Orientações para os levantamentos gravimétricos em Referências de Nível

Caso as estações geodésicas selecionadas para a medição estejam destruídas ou não sejam encontradas, recomenda-se implantar uma nova estação gravimétrica o mais próximo possível do sítio da estação original. O procedimento deve ser realizado com base no descritivo de localização da RN selecionada. Sugere-se também que seja estimada e registrada a distância aproximada ao local onde se encontrava a RN. Durante a ocupação de linhas de nivelamento antigas, é importante assegurar o desenvolvimento do levantamento gravimétrico compatível com o traçado da linha de nivelamento sob as condições descritas. Recomenda-se que a medição gravimétrica seja realizada, sempre que possível, de maneira contemporânea às determinações altimétricas, para um mesmo trecho e preferencialmente cobrindo a totalidade das referências de nível da nova linha de nivelamento.

4.4. Operacionalização de gravímetros

Atualmente, durante o estabelecimento de uma EG básica ou de densificação, a operação de um gravímetro ótico-mecânico ou digital se resume às seguintes etapas:

I) Gravímetro ótico-mecânico

- Instalar e nivelar (através dos parafusos calantes) o gravímetro na estação;
- Liberar a balança do gravímetro girando o botão trava, até o seu limite, no sentido anti-horário;
- Deixar o gravímetro estabilizar no mínimo 5 min;
- Após estabilizar, efetuar 3 leituras em um intervalo máximo de 3 min (1 min para cada leitura), e anotar a hora no instante da segunda leitura;
- Verificar se a discrepância entre leituras é inferior a 0,003 na graduação do equipamento. Caso ultrapasse este valor, as leituras devem ser refeitas.

II) Gravímetro digital

- Instalação do gravímetro na estação;
- Verificar e/ou configurar os parâmetros de observação e as informações do levantamento, conforme especificidades de cada modelo de gravímetro;
- Nivelar o gravímetro (através dos parafusos calantes);
- Deixar o gravímetro estabilizar no mínimo 5min;
- Iniciar o ciclo de leituras;
- Ao término, erro e desvio padrão das leituras deverão ser inferiores a 0,010 mGal e 0,100 mGal, respectivamente. Caso estes valores sejam ultrapassados as leituras devem ser refeitas.
- Gravar os dados;

Para ambos os tipos de gravímetros, sua instalação poderá ser diretamente no pavimento, caso seja possível o nivelamento do gravímetro, ou em suporte específico, como por exemplo, um prato ou tripé. Em qualquer dos casos, o desnível considerado até o ponto de referência da estação deverá ser medido a partir da base do gravímetro.

Além do desnível, deve-se considerar os valores específicos da diferença (offset) entre o sensor e a base do gravímetro.

As medições realizadas utilizando-se gravímetros do tipo **ótico-mecânico** necessitam que as leituras médias sejam convertidas em unidades de aceleração, através de tabelas específicas, fornecidas pelo fabricante. Outros tipos de gravímetro possuem a tabela integrada ao respectivo sistema, sendo seus resultados devidamente convertidos no momento do levantamento. Cada gravímetro possui uma tabela de conversão única cujos valores são obtidos através do processo de calibração.

Os gravímetros devem ser calibrados periodicamente, devido a natureza dos materiais que constituem seu sensor. Cada operação deste tipo gera um novo valor do fator de calibração para o gravímetro. Esse tópico será abordado em seção 4.8.

Um salto ou anomalia num trecho de medição gravimétrica pode ocorrer, dentre outras razões, devido ao transporte inadequado do equipamento. Para mitigar esse inconveniente deve-se acomodá-lo de forma segura e verificar o travamento do gravímetro antes de deslocá-lo de cada local de medição.

4.5. Correções aplicadas às observações gravimétricas

Devido à natureza das observações gravimétricas, os valores de gravidade não podem ser diretamente utilizados logo após serem registrados, pois alguns efeitos os fazem variar. Dessa forma, as correções necessárias a fim de possibilitar a determinação da gravidade estão relacionadas ao longo deste tópico.

I) Correção da Maré Lunissolar

A interação gravitacional da Terra com a Lua e o Sol, introduz perturbações no campo de gravidade terrestre, que devem ser removidos da aceleração de gravidade medida nos levantamentos gravimétricos (VANÍCEK, 1980; GEMAEL, 1986). Entende-se por força de maré a resultante das forças horizontal e vertical que o Sol e a Lua exercem sobre a Terra e que causam o deslocamento de partículas líquidas (maré oceânica) e sólidas (maré terrestre).

A correção de maré lunissolar calculada em uma estação é obtida a partir das coordenadas geodésicas da estação, dos elementos orbitais da Terra e da Lua, das

massas da Terra, da Lua e do Sol, e dos parâmetros da elasticidade terrestre. As fórmulas geralmente usadas para o cálculo da correção de maré lunissolar nas observações dos levantamentos gravimétricos rotineiros são as de LONGMAN (1959).

A correção de maré lunissolar pode variar, no máximo, de -0,2 a +0,2 mGal em um dia.

II) Correção da Deriva Instrumental

A medição gravimétrica relativa fornece a diferença da aceleração de gravidade entre os pontos medidos. Teoricamente, para se obter a aceleração nesses pontos seria suficiente conhecê-la em qualquer um dos pontos medidos. Na prática, entretanto, é necessário considerar a deriva instrumental decorrente de pequenas modificações do sistema elástico do gravímetro durante um intervalo de tempo na medição desses pontos.

O cálculo da deriva instrumental pressupõe o conhecimento da diferença de aceleração entre o primeiro e o último ponto medido, considerados como referência ou base na linha gravimetrada. De acordo com as condições de movimento em que o gravímetro se encontra no intervalo de tempo considerado, ela é classificada em deriva estática, se o gravímetro permaneceu em repouso, ou deriva dinâmica, se o gravímetro permaneceu em movimento. O tempo correspondente à deriva (estática ou dinâmica) é denominado tempo de deriva (estática ou dinâmica).

Deriva Estática (D_E): representa a soma das variações ocorridas nas interrupções das linhas de medição, ou seja, momento em que o equipamento permanecer parado, geralmente com duração maior que uma hora, dada por:

$$D_E = (L_{m+1} - L_m) \text{ (mGal)} \dots \dots \dots (8)$$

Onde:

L_{m+1} → Leitura média (mGal) corrigida da maré lunissolar, imediatamente ao fim da interrupção.

L_m → Leitura média (mGal) corrigida da maré lunissolar, imediatamente ao início da interrupção.

Havendo mais de uma interrupção, o mesmo processo deverá ser realizado, sendo que a correção final será o somatório das interrupções anteriores com a vigente, :

$$D_{Ei} = \sum_{k=1}^n (L_{m+1} - L_m) (\text{mGal}) \dots \dots \dots (9)$$

D_{Ei} → Deriva estática decorrente da i -ésima interrupção.

n → número de interrupções

O tempo correspondente à deriva estática é expresso por:

$$t_E = (t_{i+1} - t_i) (\text{hora}) \dots \dots \dots (10)$$

Onde:

t_{i+1} → instante da observação imediatamente ao fim da interrupção.

t_i → instante da observação imediatamente ao início da interrupção.

Do mesmo modo, havendo outras interrupções, o mesmo deverá ser realizado, ou seja:

$$t_{Ei} = \sum_{k=1}^n (t_{i+1} - t_i) (\text{hora}) \dots \dots \dots (11)$$

Onde:

t_{Ei} → tempo total da deriva estática

OBS: Como a deriva estática ocorre quando o equipamento permanece parado por mais de 1 hora, as leituras devem ser realizadas no local onde o mesmo ficará nesta condição, ou seja, as leituras L_{m+1} (fim da interrupção) e L_m (início da interrupção) são leituras extras, não fazem parte do conjunto de estações que compõem a linha de levantamento gravimétrico.

Deriva Dinâmica (D_D): corresponde à variação ocorrida no período em que o gravímetro permanece em movimento.

$$D_D = \frac{L_f - L_i}{t_D} (\text{mGal/hora}) \dots \dots \dots (12)$$

Onde:

L_f → Leitura média (mGal) corrigida da maré lunissolar, ao final do levantamento (última estação medida).

L_1 → Leitura média (mGal) corrigida da maré lunissolar, ao início do levantamento (primeira estação medida).

t_D → tempo da deriva dinâmica, expresso por:

$$t_D = t_f - t_1 - t_{Ei} \text{ (hora)} \dots \dots \dots (13)$$

t_f → instante da leitura final da operação.

t_1 → instante da primeira leitura no início da operação.

Obs: Como a deriva dinâmica ocorre quando o equipamento permanece em movimento, as leituras L_f (fim da operação) e L_1 (início da operação) são leituras que fazem parte do conjunto de estações que compõem a linha de levantamento gravimétrico.

Ao final do levantamento, temos que:

No caso de linhas sem interrupção, será aplicada somente a deriva dinâmica, ou seja, a correção da deriva (C_D) é calculada por:

$$C_D = D_D \Delta t_i \dots \dots \dots (14)$$

Onde:

Δt_i → Tempo decorrido entre a primeira e a i -ésima estação medida antes da interrupção, ou seja, para cada leitura média de uma estação da linha haverá um valor a ser corrigido proporcional ao tempo decorrido.

• **Após interrupções na linha**, serão aplicadas as derivas estática e dinâmica, cuja correção da deriva (C_D) é calculada por :

$$C_D = D_{Ei} + [D_D (\Delta t_i - t_{Ei})] \dots \dots \dots (15)$$

4.6 Verificações instrumentais

No instante da medição, o equipamento deve estar em equilíbrio, ou seja, o somatório das forças externas terá que compensar às condições internas. Contudo, algumas situações podem alterar esse estado de neutralidade causando tendências no resultado dos levantamentos. Por esta razão, todos os fatores descritos neste item devem ser observados antes do início de uma operação de campo, bem como o controle periódico de suas variações. Na tabela 8 consta uma consolidação das grandezas envolvidas.

I) Sensibilidade

É o fator que representa a capacidade de retomar a posição anterior, uma vez cessada a força que fazia seu sistema interno deformar. Quanto maior a sensibilidade, maior será a capacidade do gravímetro em identificar pequenas variações na aceleração da gravidade, entretanto, se a sensibilidade for muito alta, ele poderá se tornar instável. A frequência de verificação da sensibilidade do gravímetro é semanal.

II) Temperatura

Na construção e montagem de um gravímetro são utilizados insumos diversos que por sua vez, possuem diferentes coeficientes térmicos, como por exemplo: dilatação linear e termoelásticos. Contudo, a influência deste fator pode ser minimizada através do uso de corpos que possuam menores sensibilidades a variações térmicas sendo dotados de artifícios como termocompensação¹⁰ e recipientes termostatizados (câmara estanque), de forma a obter um sistema mais estável e passível de controle pelo usuário em campo.

É fundamental controlar a temperatura interna dos gravímetros a cada leitura, pois as perdas podem acarretar observações eivadas de erros. Para o retorno da estabilização do gravímetro em sua temperatura operacional são necessárias no mínimo, 2 h. Somente após este intervalo, o aparelho estará apto para realizar leituras novamente. Grande parte dos problemas de perda de temperatura estão relacionados à alimentação de energia do equipamento, principalmente quando o mesmo possui bateria externa.

¹⁰ Diferentes materiais capazes de gerar um momento adicional das forças elásticas.

III) Ajuste dos Níveis

Os gravímetros geralmente possuem dois níveis: um transversal e outro longitudinal, além de três parafusos calantes responsáveis pelo ajuste fino dos níveis anteriores. Sendo estimado, que para um erro residual de 2" de arco na horizontalidade do eixo de rotação do gravímetro, poderá ocorrer um erro na determinação da gravidade da ordem de – 0,17 mGal (GEMAEL,1999). A periodicidade indicada para a verificação deste efeito é semanal. Para o gravímetro ótico-mecânico, somente o nível transversal é ajustado.

IV) Linha de Leitura

Esta verificação é necessária somente para o gravímetro ótico-mecânico, embora o fabricante indique o valor nominal da linha de leitura, a exata posição do fiel deve ser verificada mensalmente.

V) Deriva

No gravímetro digital, deve-se verificar semanalmente se o índice de deriva está dentro dos parâmetros do fabricante. Tais parâmetros variam de acordo com a especificação de cada equipamento e com o tempo de uso.

4.7 Calibração

A calibração de um instrumento é a operação na qual se determina os valores numéricos que permitem converter as leituras do gravímetro usado, em unidade de aceleração. Dependendo da técnica utilizada, a calibração de gravímetros pode ser classificada em absoluta ou relativa (LR, 1990; LACOSTE, 1991; VALLIANT, 1991). O IBGE adota em seus procedimentos a modalidade absoluta.

A técnica consiste em medir diferenças conhecidas da aceleração de gravidade e determinar o fator de calibração pela relação das diferenças conhecidas e medidas.

$$\Delta_g = C(E_L - E_R) \dots\dots\dots(13)$$

Onde:

Δ_g → variação da gravidade entre as estações de partida (referência) e a estação local

E_L → estação local (medida)

E_R → estação de referência

C → fator de calibração

Para a calibração são consideradas uma série de estações gravimétricas absolutas de altíssima qualidade como referência. A calibração deve considerar a total amplitude de leitura da área trabalhada normalmente, considerando a variação da gravidade com a altitude e latitude.

No território brasileiro, para esta finalidade, destacam-se:

– Linha de Calibração Gravimétrica de Agulhas Negras: linha pertencente a RGFB do ON que possui uma amplitude aproximada de 620 mGal. Suas informações estão disponíveis em: (<http://extranet.on.br/bdgon/gravimetria/index.php>)

– Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas (RENEGA): esta rede foi concebida com o objetivo de constituir uma rede de referência gravimétrica com precisão superior às demais redes relativas brasileiras. Possui uma amplitude aproximada de 1180 mGal.

4.8 Especificações para o levantamento gravimétrico

A tabela 8 apresenta de forma resumida as especificações tratadas nas seções ao longo do capítulo 4 no que se refere ao estabelecimento de EEGG básicas e de densificação.

Tabela 8: Especificações para o levantamento gravimétrico.

Item	Levantamentos Gravimétricos de Alta Precisão	
	Básica	Densificação
		Conexão
Objetivo	Transportar uma referência de valor da gravidade para apoiar os levantamentos de Densificação.	Modelagem do geoide no território nacional.
Configuração das linhas gravimetradas		

1. Espaçamento máximo entre estações	De acordo com as áreas de que irão ser densificadas	De acordo com as estações existentes ou com o objetivo do projeto	5'
2. Localização das estações	Locais estáveis e de fácil reocupação	Sobre estações SAT ou RN	Proximidade da coordenada do centro da célula da grade
3. Tempo máximo para fechamento da linha	48 h		
4. Materialização	Sim		Não

Cuidados por estação em campo

1. Número desejável de gravímetros em operação simultânea	2 (duas linhas) ou 3 (uma linha)	1	
2. Condições operacionais por gravímetro			
a) Número de leituras ou ciclos	12 (2 equip.) ou 9 (3 equip.)	3	
b) Discrepância entre leituras			
• gravímetro ótico-mecânico	0,003 graduação		
• gravímetro digital (Err.)	0,01 mGal		
c) Intervalo de tempo para as leituras			
• gravímetro ótico-mecânico (máximo)	3 min		
• gravímetro digital (ciclo.)	2 min		
d) Intervalo de tempo mínimo para estabilização	5 min		
3. Desnível máximo entre o gravímetro e o ponto de referência	$\pm 0,50$ m	$\pm 1,25$ m	Altura do suporte auxiliar
4. Coordenadas planialtimétricas	Equivalente ao Receptor de Navegação	Coordenadas da Estação SAT ou RN ocupada	Altimetria melhor que 0,25 m
5. Anotação do horário e tipo de local (processamento)	Sim		
6. Correção de Maré Lunissolar	0,20 mGal		

Cuidados por linha gravimétrica (processamento)

1. Diferença máxima aceitável na reocupação do ponto de controle	0,05 mGal
2. Correção máxima da deriva instrumental	0,20 mGal

Verificações no equipamento (frequência)

1. Sensibilidade	Semanal
2. Temperatura	Por ponto

3. Ajuste dos níveis	Semanal
4. Linha de leitura	Mensal
5. Deriva	Semanal

Referências

GEMAEL, C. (1985). **Determinação da gravidade em Geodésia**. Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Texto de aulas, Curitiba, 87 pp.

GEMAEL, C. (1986). **Marés terrestres: aplicações geodésicas**. Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. *Texto de aulas*, Curitiba, 100 pp.

GEMAEL, C. (1999). **Introdução a Geodésia Física**. Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Texto de aulas, Curitiba, 302 pp.

GSD - Geodetic Survey Division (1995), **GPS Positioning Guide** – A user's guide to the Global Positioning System.

HECK, B. (2004). **Problems in the Definition of Vertical Reference Frames**. V Hotine-Marussi Symposium on Mathematical Geodesy. IAG Symposia, v. 127. Berlin: Springer. p. 164-173.

IBGE (1983). **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos**. Resolução PR 22/83, Boletim de Serviço – Suplemento, Rio de Janeiro, 12 pp. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/bservico1602.pdf.

IHDE, J.; Sánchez, L.; BARZAGHI, R.; DREWES, H.; FOERSTE, C.; GRUBER, T.; LIEBSCH, G.; MARTI, U.; PAIL, R.; SIDERIS, M. (2017). **Definition and Proposed Realization of the International Height Reference System (IHR)**. *Surveys in Geophysics*, v. 38, n. 3. Disponível em <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10712-017-9409-3>>.

LR (1990). **Instruction manual for LaCoste & Romberg gravity meters**. Austin. 19 pp.

LACOSTE, L. (1991). **A new calibration method for gravity meters.** *Geophysics* **56**(5):701-704.

LONGMAN, I. M. (1959). **Formulas for computing the tidal accelerations due to the moon and the sun.** *Journal of Geophysical Research*, volume 64, Issue 12, pp. 2037-2470.

LUZ, R. T. (2008). **Estratégias para Modernização da Componente Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e sua Integração ao SIRGAS**, Curitiba. 205 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – UFPR. Disponível em: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Roberto_Teixeira_Luz_Tese_de_Doutorado.pdf>.

SÁ, N. C. (2004). **Redução de observações gravimétricas: teoria e prática.** Departamento de Geofísica e Laboratório de Geodésia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 71 pp.

SANCHEZ, L.; IHDE, J.; PAIL, R.; GRUBER, T.; BARZAGHI, R.; MARTI, U.; ÅGREN, J.; SIDERIS, M.; NOVÁK, P. (2017). **Towards a first realization of the International Height Reference System (IHRIS).** Apresentação na Assembléia Geral 2017 da União Européia de Geociências. Disponível em: <https://ihrs.dgfi.tum.de/fileadmin/JWG_2015/Sanchez_et_al_Towards_a_IHRS_Realization_EGU2017.pdf>.

SIRGAS (2008). **Reporte 2007-2008 – Boletim Informativo No.13.** Disponível em: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Boletim_SIRGAS_N0._13_Reporte_2007-2008.pdf>.

VANÍCEK, P. (1980). **Tidal corrections to geodetic quantities. National Oceanic and Atmospheric Administrations.** *Technical Report* No. 83, Rockville, 30 pp.

VALLIANT, H. D. (1991). **Gravity meter calibration at LaCoste and Romberg.** *Geophysics* 56, Special Section on Magnetic Minerals, 705-711.

Se o assunto é **Brasil**,
procure o **IBGE**.



/ibgecomunica



/ibgeoficial



/ibgeoficial



/ibgeoficial

www.ibge.gov.br 0800-721-8181

