

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

Manuais Técnicos em Geociências
número 11

**Instruções técnicas
para Controle Geodésico
de Estações Maregráficas – CGEM
e sua vinculação vertical ao Sistema
Geodésico Brasileiro – SGB**

Rio de Janeiro
2010

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE

Av. Franklin Roosevelt, 166 - Centro - 20021-120 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

ISSN 0103-9598 Manuais técnicos em geociências

Divulga os procedimentos metodológicos utilizados nos estudos e pesquisas de geociências.

ISBN 978-85-240-4165-5

© IBGE. 2010

Capa

Ubiratã O. dos Santos/Eduardo Sidney - Coordenação de *Marketing*/Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI

Instruções técnicas para para controle geodésico de estações maregráficas (CGEM) e sua vinculação vertical ao sistema geodésico brasileiro (SGB) / IBGE, Coordenação de Geodésia. - Rio de Janeiro : IBGE, 2010. 38 p. - (Manuais técnicos em geociências; ISSN 0103-9598 n. 11)

Acompanha um CD-ROM, em bolso.
Inclui bibliografia.
ISBN 978-85-240-4165-5

1. Geodésia marinha – Brasil. 2. Nível do mar – Brasil. 3. Geodésia – Brasil. I. IBGE. Coordenação de Geodésia. II. Série.

Gerência de Biblioteca e Acervos Especiais
RJ/IBGE/2010-32

CDU 528.2:551.46
CART

Impresso no Brasil / *Printed in Brazil*

Sumário

Apresentação	5
Introdução	7
Objetivos do controle Geodésico de Estações Maregráficas – CGEM	11
Principais métodos de CGEM	13
Estações GNSS permanentes	13
Estações GNSS não contínuas	14
Nivelamento geométrico de alta precisão.....	14
Gravimetria absoluta.....	14
Gravimetria relativa.....	15
Componentes de uma estação da RMPG e seus pontos de referência para nivelamento	17
Réguas de marés	17
Poço de tranquilização	18
Sensores maregráficos mecânicos	19
Sensores maregráficos eletrônicos.....	21
Sensores pneumáticos.....	22
Sensores meteorológicos e oceanográficos	22
Materialização	23
RRNN do IBGE	23
RRNN da (antiga) Portobrás.....	24
RRNN da DHN	25
RRNN do SACS	25

DCF do IBGE.....	26
DCF da UFPR.....	27
Outros tipos de DCF	27
Procedimentos para nivelamento de CGEM	29
Considerações finais	33
Referências.....	35
Lista de figuras	
Figura 1 – Vínculos entre os níveis de referência geodésicos implícitos na integração de observações e modelos geodésicos.....	8
Figura 2 – Exemplos de régua de marés no padrão RMPG, com os respectivos pinos de nivelamento, suportes laterais e cabos de içamento.	18
Figura 3 – Tipos de passagem da água nos poços de tranquilização de estações maregráficas.....	19
Figura 4 – Marégrafo convencional: [a] representação esquemática; e [b] modelo utilizado na RMPG	20
Figura 5 – Exemplos de sensores eletrônicos: [a] radar, Salvador; e [b] conversor angular (“encoder”), Fortaleza. Observa-se também, em [b], o pino de nivelamento do poço de tranquilização onde se encontra o “encoder”	21
Figura 6 – Exemplo de RN da (extinta) Portobrás – RMPG Fortaleza	24
Figura 7 – Exemplo de RN da DHN – RMPG Fortaleza.....	25
Figura 8 – Exemplo de RN SACS – RMPG Fortaleza	25
Figura 9 – DCF do IBGE: [a] representação esquemática, com indicação dos pontos de referência primário (1) e secundários (2 e 3); e [b] exemplo instalado em viga.....	26
Figura 10 – Exemplo de DCF da UFPR	27
Figura 11 – Exemplo de outro modelo de DCF.....	27
Figura 12 – Precisão do nivelamento geométrico, ao longo de distâncias entre 50 m e 1 km	30

Apresentação

Este documento apresenta as instruções técnicas para o controle geodésico de estações maregráficas, descrevendo, assim, as especificações e procedimentos para verificação periódica da estabilidade da referência vertical dos sensores de nível do mar.

Com sua publicação, o IBGE espera contribuir para que a comunidade usuária e produtora dessas informações possa detectar e quantificar movimentos verticais de origem não oceânica que eventualmente afetem as observações maregráficas, corrigindo-as e, portanto, aprimorando a contribuição do Brasil para o monitoramento do nível do mar.

Luiz Paulo Souto Fortes
Diretor de Geociências

Introdução

O IBGE utiliza informações sobre o nível do mar, obtidas a partir de observações de estações meteo-maregráficas (EMM), para aprimorar as possibilidades de utilização das ALTITUDES do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB na zona costeira. Tal aprimoramento vincula-se ao fato de que as atividades desenvolvidas nas regiões litorâneas (engenharia, mapeamento, estudos científicos, gestão portuária, etc.) buscam, muitas vezes, um referencial vertical vinculado ao valor local do nível médio do mar (NMM), em vez do *Datum* de Imbituba – ou o *Datum* de Santana, para a porção do SGB no Estado do Amapá. Considerando que o NMM apresenta variações ao longo do litoral, a utilização das altitudes do SGB nessas áreas submete-se a dificuldades específicas, que podem ser parcialmente contornadas com a ligação de EMM à Rede Altimétrica de Alta Precisão – RAAP do SGB.

A princípio, o IBGE não se envolveu na operação de EMM, optando por concentrar sua capacidade operacional no estabelecimento da RAAP, conectando-a às EMM de outras instituições quando isso era possível. Tal situação foi alterada no início da década de 1990, quando o IBGE iniciou um processo de discussão e capacitação que culminou com a concepção da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – RMPG em 1997. As primeiras estações da RMPG foram estabelecidas pelo IBGE em 2001. A capacidade operacional plena foi alcançada em 2008, quando todas as cinco estações da configuração básica (Santana, Fortaleza, Salvador, Macaé e Imbituba) passaram a contar com conjuntos completos de sensores maregráficos (digitais e convencionais) – restando, no entanto, a instalação de outros componentes secundários em algumas estações, além da estação em Belém, para atingir a configuração ideal.

Qualquer que seja a instituição operadora da EMM, a estabilidade de sua posição vertical deve ser verificada periódica e frequentemente, para que o aprimoramento das altitudes da RAAP seja possível. Um

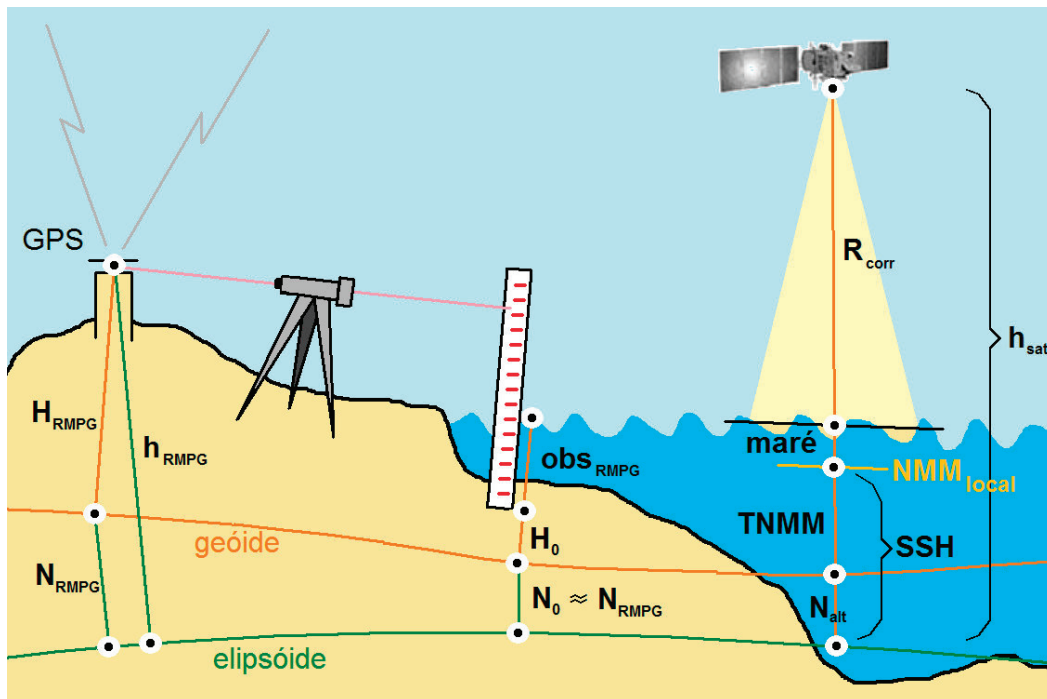
dos objetivos do Controle Geodésico de Estações Maregráficas – CGEM é a detecção e quantificação dos movimentos verticais de origem não oceânica (crosta terrestre; estruturas de suporte dos sensores etc), para posterior correção das observações maregráficas.

O outro objetivo do CGEM é o posicionamento geocêntrico, isto é, a determinação das coordenadas elipsoidais (longitude, latitude e altitude) de pelo menos um dos marcos geodésicos da EMM. Com o valor da altitude elipsoidal, as observações maregráficas podem ser transformadas para o mesmo sistema de referência das observações de Altimetria por Satélites (ALTSAT). Por sua vez, a integração das informações de ALTSAT à RMPG e, portanto, à RAAP, também contribui para o aprimoramento das altitudes do SGB.

Preferencialmente, os dois objetivos do CGEM devem ser alcançados por meio do monitoramento GNSS contínuo (CGNSS) da posição tridimensional dos sensores maregráficos. Para tanto, a situação ideal é o acoplamento direto da antena de recepção dos sinais GNSS aos sensores maregráficos. No entanto, a observação GNSS é tradicionalmente realizada sobre pilares específicos, levando à necessidade da vinculação adicional entre sensores e pilar GNSS via nivelamento geométrico.

A Figura 1 sintetiza esquematicamente estas discussões. Nesta figura, a régua de marés (ver seção "Componentes", página 17) representa os sensores maregráficos das estações da RMPG, e as diversas grandezas geodésicas são: as altitudes físicas H (normais-ortométricas, no caso do SGB); as altitudes geométricas ou elipsoidais h ; as alturas geoidais N ; a medida altimétrica R ; a altura da superfície do mar (SSH); e a topografia do nível médio do mar (TNMM).

Figura 1 – Vínculos entre os níveis de referência geodésicos implícitos na integração de observações e modelos geodésicos



Nota: adaptada de Bosch et al. (2008)

Em função de seu direcionamento às necessidades do SGB, a RMPG incorpora o controle geodésico como parte fundamental de sua operação. Assim, além dos sensores maregráficos e auxiliares, as estações geodésicas (marcos) de alta precisão também são parte essencial da configuração padrão das estações meteo-maregráficas da RMPG, levando ao estabelecimento de procedimentos específicos para seu controle geodésico, cuja descrição é o objetivo central deste documento. No caso de EMM de outras instituições, alguns dos procedimentos aqui descritos não se aplicam, mas a maioria deles continua sendo fundamental para o pretendido aprimoramento das altitudes do SGB.

Frequentemente, a vinculação vertical de EMM ao SGB é indevidamente tomada como sinônimo de CGEM. Apesar de similares, os objetivos, procedimentos e resultados não são equivalentes. Mesmo que uma estação maregráfica não disponha de equipamentos CGNSS, ela pode ser vinculada à RAAP, a fim de se determinar a diferença entre o *Datum* Vertical do SGB (Imbituba ou Santana) e os níveis de referência derivados das observações maregráficas. Para tanto, a vinculação de EMM ao SGB obedecerá às especificações do nivelamento usual da RAAP (IBGE, 1983).

De modo recíproco, mesmo que uma EMM não esteja vinculada verticalmente ao SGB, ela deve ser objeto de controle geodésico, de modo a detectar e corrigir eventuais influências verticais não oceânicas em suas observações.

Objetivos do Controle Geodésico de Estações Maregráficas – CGEM

- a) Determinar a posição geocêntrica, e a respectiva variação temporal, de pelo menos uma estação geodésica (RN) no entorno imediato da estação maregráfica, com precisão científica;
- b) Determinar as diferenças de nível e de geopotencial, e as respectivas variações temporais, entre os sensores/equipamentos maregráficos e as estações geodésicas (RRNN) no seu entorno imediato, com precisão científica;
- c) Estabelecer redes de estações geodésicas que sirvam de referência para a vinculação de novas observações de nível do mar à série temporal anterior, em caso de eventual substituição ou reposicionamento dos equipamentos; e
- d) Se possível, determinar os desníveis entre as RRNN da estação maregráfica e as RRNN do SGB existentes em suas imediações, com precisão equivalente à das linhas de nivelamento da RAAP.

Principais métodos de CGEM

Estações GNSS permanentes

No Brasil, o principal conjunto de estações GNSS permanentes (ou contínuas, por isso também chamadas CGNSS) é a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), dotada de antenas e receptores de alta precisão e materializada por pilares estáveis. Além disso, suas observações são processadas de acordo com procedimentos científicos, adequados ao monitoramento da posição tridimensional na ordem do milímetro. A composição de sucessivos resultados com esse nível de precisão ao longo de vários anos leva à obtenção de valores de variação anual da posição com precisão submilimétrica.

Para o CGEM, os equipamentos CGNSS devem ser instalados, idealmente, na mesma estrutura de suporte dos sensores maregráficos. Com isso, a correção dos movimentos verticais nas observações maregráficas seria obtida diretamente dos resultados do processamento das observações GNSS. No entanto, aquela situação ideal raramente é encontrada ou conseguida. Além disso, as estações da RBMC têm seus próprios requisitos de instalação, fazendo com que o controle geodésico dos sensores maregráficos deva ser complementado com nivelamento geométrico de alta precisão.

A fim de compatibilizar a dificuldade de nivelamento dos dispositivos de centragem forçada (DCF) nos pilares que materializam as estações da RBMC e a necessidade do seu nivelamento frequente, devem ser implantadas Referências de Nível (RRNN) convencionais (chapas cravadas) na base/sapata dos pilares. Para que o nivelamento entre DCF e RN seja menos frequente, ele deve ser executado com cuidados adicionais, discutidos na seção "Procedimentos", página 29. Sob o pressuposto de que o desnível DCF-RN permanecerá constante, os resultados verticais da estação CGNSS podem ser diretamente aplicados à RN em sua base,

cujo nivelamento periódico os propagará às demais RRNN de CGEM e aos sensores maregráficos.

Estações GNSS não contínuas

São essenciais nas EMM que não dispõem de estações CGNSS. Preferencialmente, devem ser materializadas por meio de pilares dotados de DCF niveláveis, e determinadas de acordo com as especificações técnicas vigentes para levantamentos GNSS de alta precisão. A ocupação GNSS de estações geodésicas não dotadas de DCF (como as RRNN tradicionais) deve ser realizada com cuidados adicionais para a observação da altura e a centragem da antena. No caso de EMM que já dispõem de estações CGNSS, as estações não contínuas devem ser estabelecidas para complementar a distribuição espacial de estações CGNSS niveladas, com o objetivo de determinar os desníveis geoidais no entorno das EMM.

Nivelamento geométrico de alta precisão

É o método tradicional de vinculação vertical dos níveis de referência maregráficos às RRNN da estação. Nas EMM com posição controlada por CGNSS de alta precisão, o nivelamento geométrico deve ser conduzido de modo a obter precisão compatível. Assim, nesses casos, não podem ser utilizadas as prescrições do nivelamento realizado comumente pelo IBGE (“alta precisão, fundamental”, AP_{fund} , de acordo com IBGE, 1983), devendo ser estabelecidos controles de qualidade específicos (“alta precisão, científico”, AP_{cient} , idem), discutidos na seção “Procedimentos”, página 29. Cabe acrescentar que as normas preveem que o nivelamento geométrico AP_{cient} deve necessariamente ser acompanhado de observações gravimétricas relativas.

Ao fornecer os desníveis entre os diversos sensores maregráficos e a estação RBMC, o nivelamento geométrico de precisão científica ($NG-AP_{cient}$) também serve para monitorar eventuais movimentos verticais da própria estação RBMC, separando esses “efeitos de sítio” (*site effects*) dos movimentos regionais que afetam igualmente todos os sensores e RRNN da EMM.

Gravimetria absoluta

Método independente de detecção de variações verticais da crosta terrestre nas imediações de uma estação maregráfica, recomendado para confirmação dos resultados da utilização de estações CGNSS. Devido à sua extrema sensibilidade, os gravímetros absolutos não podem ser utilizados diretamente na estação maregráfica, em função dos “ruídos” ambientais (tráfego, ondas, vento, umidade do solo, etc.) que inviabilizam a determinação absoluta da gravidade com precisão adequada. Assim, uma estação gravimétrica absoluta (EG_{abs}) para CGEM deve ser estabelecida em ambiente estável e livre de perturbações – de preferência, diretamente sobre afloramentos do substrato rochoso.

Além dessas dificuldades, inerentes ao método, o estabelecimento de EG_{abs} nas estações da RMPG ressurte-se da inexistência de gravímetros absolutos no IBGE. Assim, ainda não é possível uma discussão objetiva das necessidades e especificações para esse tipo de observação geodésica.

Gravimetria relativa

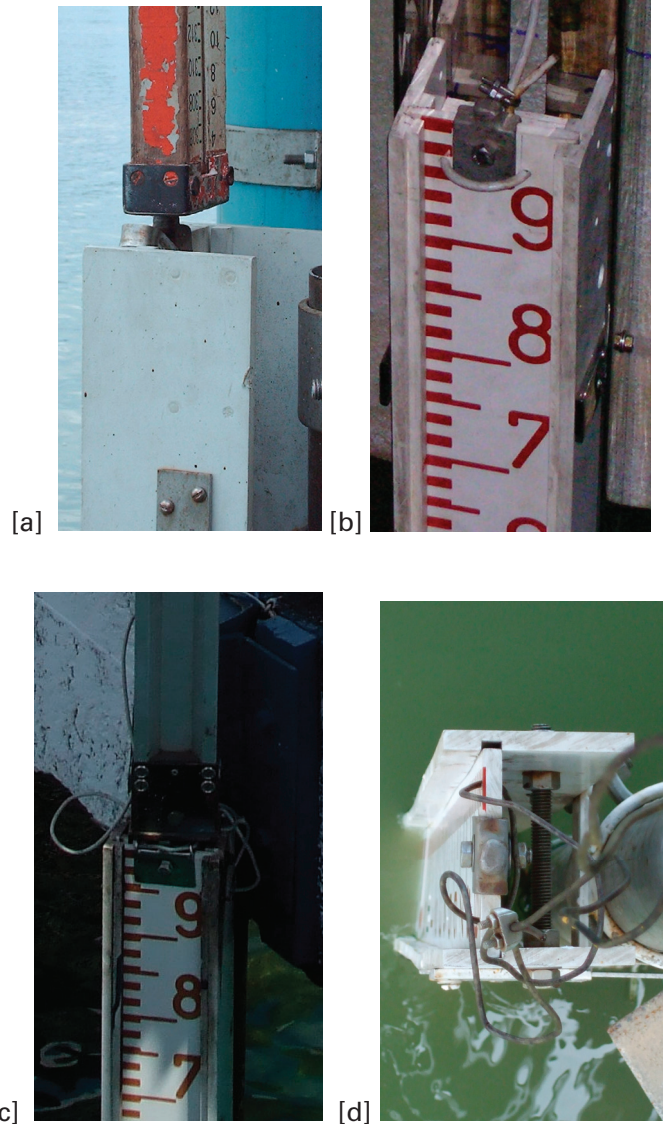
Considerando que a variação da gravidade em função de deformações crustais é da ordem de $0,002 \text{ mGal/cm} = 2 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2/\text{cm}$ (TORGE, 2001, p. 360; IOC, 2006, p. 33), e que a precisão dos levantamentos gravimétricos relativos realizados pelo IBGE é da ordem de $0,01 \text{ mGal} = 10^{-7} \text{ m/s}^2$, conclui-se que, isoladamente, esse tipo de observação não é adequada à detecção de movimentos verticais da ordem de 1 mm. No entanto, todas as RRNN de CGEM devem ter valores de gravidade, determinados por gravimetria, a fim de que os respectivos desníveis sejam convertidos em diferenças de geopotencial. A frequente repetição de levantamentos gravimétricos em circuitos de nivelamento para CGEM não é necessária, podendo ser feita apenas quando existirem novas RRNN nos mesmos.

Componentes de uma estação da RMPG e seus pontos de referência para nivelamento

Régua de marés

Permite a observação do nível d'água (NA) instantâneo de forma independente de quaisquer fontes de energia, sistemas de registro e mecanismos de filtragem, constituindo, assim, o principal elemento de aferição das observações dos sensores maregráficos. De fato, o chamado *teste de Van de Castele* utiliza repetições exaustivas das leituras do NA na régua como referência para a verificação de possíveis erros sistemáticos nas observações dos sensores maregráficos. Por definição e construção, o nivelamento entre o topo da régua e as RRNN da estação maregráfica permite referir a estas últimas as leituras da régua e, conseqüentemente, também as dos sensores maregráficos – a instalação da régua deve ser feita de forma que não existam interferências nesse nivelamento. No caso das régua utilizadas nas estações da RMPG, existem pinos (Figura 2) para tornar mais preciso esse controle -- nessa figura, também são visíveis, em [a] e [c], as miras *invar* utilizadas no nivelamento de alta precisão. Contudo, em função da necessidade de determinar o desnível entre o pino e a graduação equivalente ao topo da régua, o nivelamento das régua da RMPG deve ser feito tanto no pino como no topo das mesmas.

Figura 2 – Exemplos de régua de marés no padrão RMPG, com os respectivos pinos de nivelamento, suportes laterais e cabos de içamento.



Fotografias: Acervo RMPG.

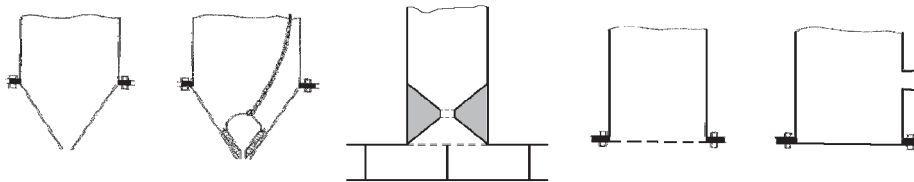
Poço de tranquilização

Tubo vertical cuja finalidade é proteger o(s) sensor(es) contra eventuais impactos de objetos flutuantes e das ondas associadas a tempestades e outros eventos extremos. No caso de sensores mecânicos (boia e contrapeso), o poço também se destina a minimizar as variações bruscas do NA – ondas, marolas de embarcações, etc. –, a fim de evitar o deslocamento do cabo ou fita da boia para fora da respectiva polia (próximo item).

Quando o poço visa somente à proteção do(s) sensor(es) em seu interior, sua extremidade inferior é totalmente aberta à passagem da água do mar, reduzindo a

possibilidade de um eventual entupimento. Nos casos em que também seja necessária a filtragem das oscilações de alta frequência do NA, a extremidade inferior deve ser fechada. Nesta configuração, a passagem da água do mar para o interior do poço é garantida por um ou mais orifícios (Figura 3), cuja área total é determinada de acordo com a área da seção do poço e as características das oscilações (LUZ, 1996). Além disso, deve-se evitar o posicionamento lateral do(s) orifício(s), em função da possibilidade de desvio do NA interno. A configuração ideal é constituída por cone duplo e placas paralelas. Na maioria das estações da RMPG, foi utilizada ponta cônica simples, como etapa intermediária em direção à instalação daquela configuração ideal. A estação de Imituba ainda aguarda modernização de seus poços.

Figura 3 – Tipos de passagem da água nos poços de tranquilização de estações maregráficas



Nota: adaptado de IOC (1985, p. 17; 1992, p. 63)

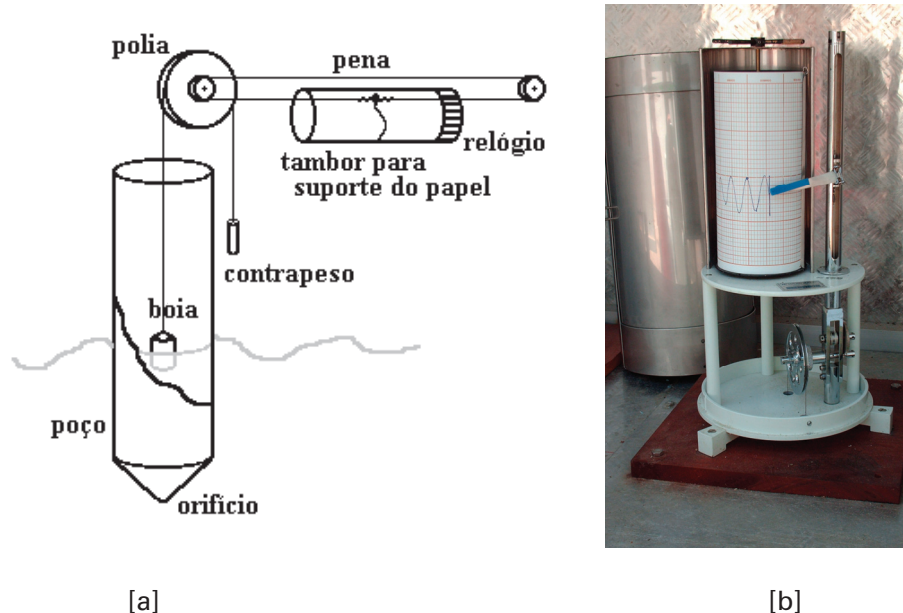
Dependendo do sensor instalado em seu interior, o poço de tranquilização deve ser incluído nos nivelamentos periódicos, a fim de monitorar, indiretamente, a eventual alteração da posição vertical do sensor. Nas estações da RMPG que se enquadram nessa categoria, o respectivo poço é dotado de pino similar ao da régua de marés, como exemplificado na Figura 5b.

Cada poço de tranquilização deve ser instalado com braçadeiras reguláveis, tanto paralela quanto transversalmente à parede, a fim de se garantir sua verticalidade.

Sensores maregráficos mecânicos

São constituídos por um flutuador (boia) que, por meio de um cabo (*nylon* ou aço, liso ou denteado) ou fita perfurada (aço), transmite a variação do NA a uma polia. O cabo/fita é mantido tensionado com o auxílio de um contrapeso adequado. Convém ressaltar que os sensores deste tipo podem ser convencionais ou eletrônicos. Estes últimos (eletrônicos) são discutidos no próximo item.

Figura 4 – Marégrafo convencional: [a] representação esquemática; [b] modelo utilizado na RMPG



Notas: [a] adaptado de IOC (1985, p. 13); e [b] fotografia: Acervo RMPG.

Nos sensores convencionais (tradicionalmente denominados “analógicos”), a polia que recebe o movimento vertical da boia é acoplada a um conjunto de engrenagens responsável pela redução e transmissão desse movimento a um sistema de registro gráfico (pena e maregrama). Neste sistema, um relógio submete o maregrama a um movimento transversal ao deslocamento da pena, resultando no traçado do gráfico referente à variação temporal do NA (Figura 4). As estações da RMPG são dotadas deste tipo de sensor mecânico, com maregramas avulsos correspondentes a uma semana de observações, e relógio movido a corda. Outros tipos de sensor mecânico com registro gráfico têm pena deslocando-se horizontalmente sobre maregramas contínuos (rolo) movimentados por relógio a pilha. Quaisquer que sejam as características do sistema de registro, é possível deslocar a pena de modo independente da boia, levando à descontinuidade do referencial das observações. De forma análoga, este tipo de descontinuidade pode surgir do reposicionamento do cabo/fita. Assim, devem ser evitadas a todo custo tanto a retirada do cabo/fita da polia como a movimentação independente da pena. Em função desses “graus de liberdade”, a maioria dos sensores convencionais, incluindo os da RMPG, não tem ponto de nivelamento – seu nivelamento é feito indiretamente, mediante o nivelamento do topo da régua de marés.

A questão da adequação dos termos “analógico” e “digital” diz respeito à diferença entre o princípio de aquisição de dados do sensor e o meio de armazenamento (registro) desses dados. Assim, os sensores eletrônicos são comumente denominados “digitais” devido ao fato de disponibilizarem diretamente dados em meio digital. No entanto, alguns dos sensores eletrônicos são analógicos, isto é, adquirem informações sobre um parâmetro físico qualquer cuja variação é contínua – essas informações são posteriormente discretizadas por conversores AD (analógico-digitais). Outros sensores eletrônicos são realmente digitais – coletam informações discretas diretamente.

Sensores maregráficos eletrônicos

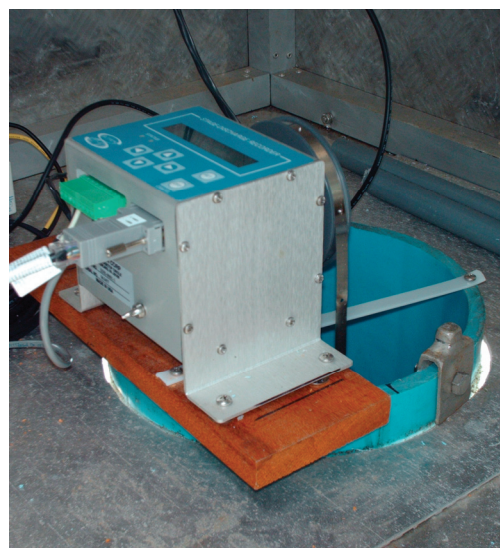
São os componentes que fornecem as principais observações das estações da RMPG, em função da precisão e da disponibilidade imediata (desde que haja canais de acesso remoto). Contrariamente à régua de marés, a maioria dos sensores eletrônicos não observa diretamente o NA, mas sim outro parâmetro físico – por exemplo, a intensidade de corrente proporcional à pressão da coluna d’água acima do sensor, ou o tempo de percurso de um sinal acústico ou eletromagnético entre o sensor e o NA. As unidades de controle (*dataloggers*) desses sensores realizam a conversão dessas observações em informações referentes ao NA. Alguns tipos de sensores eletrônicos são instalados acima do NA, fazendo com que seu nivelamento seja relativamente simples – na verdade, a maioria dos modelos desse tipo de sensor já dispõe de um ponto de nivelamento específico, cuja posição vertical em relação ao “zero da escala” do sensor é conhecida previamente. Por outro lado, outros tipos de sensores eletrônicos são instalados ou têm referência abaixo do NA. Nestes casos, a distância vertical do sensor ao ponto de nivelamento deve ser determinada no ato de sua instalação.

As estações da RMPG dispõem de diversos tipos de sensores digitais de NA: régua de eletrodos (*Digilevel*, não mais utilizado); acústico (*Aquatrak*, idem); pressão diferencial (*Druck*); radar (*Sutron*); e conversor angular, comumente denominado “*encoder*” (*Sutron*) (Figura 5). Excetuando-se o sensor de pressão, todos os demais possuem (ou possuíam) pontos de nivelamento específicos. No caso dos sensores de pressão, seu nivelamento é feito indiretamente, mediante o nivelamento do poço de tranquilização, no qual é fixada a vara de suporte do sensor.

Figura 5 – Exemplos de sensores eletrônicos: [a] radar, Salvador; e [b] conversor angular (“encoder”), Fortaleza. Observa-se também, em [b], o pino de nivelamento do poço de tranquilização onde se encontra o “encoder”



[a]



[b]

Sensores pneumáticos

Baseados na observação da pressão hidrostática associada a escoamento contínuo de gás através de tubo submerso. Raramente foram utilizados no Brasil; assim, não são discutidos neste documento.

Sensores meteorológicos e oceanográficos

São essenciais para a coleta dos dados necessários à correção de alguns erros sistemáticos que afetam a observação do nível do mar (ventos, temperatura e salinidade da água etc). No entanto, apenas os sensores de pressão atmosférica devem ter sua posição vertical determinada – ainda assim, somente com precisão centimétrica.

Materialização

RRNN do IBGE

Nas estações da RMPG, será priorizado o estabelecimento de RRNN do tipo chapa cravada em estruturas estáveis (colunas de grandes estruturas de engenharia, capeamento dos cais de portos, afloramentos rochosos “saudáveis”, etc.), evitando-se, sempre que possível, a construção de marcos de concreto apoiados apenas no solo, em função da possibilidade de subsidência associada a aterros, comuns em áreas portuárias. As especificações para tal materialização encontram-se em IBGE (2008).

No entanto, a eventual inexistência de locais “estáveis” não deve impedir a instalação do número adequado de RRNN em torno da EMM: duas em um raio aproximado de 30 m, no mínimo duas outras em um raio aproximado de 100 m, no mínimo duas outras em um raio aproximado de 500 m, e no mínimo três outras em um raio de aproximadamente 1 km – destas nove RRNN, uma deverá constituir-se da já citada conexão com CGNSS (chapa cravada na base do pilar), e pelo menos uma outra será materializada por DCF do tipo IBGE (página 26). Esta alta densidade se justifica pela necessidade de manter uma estrutura de referência espacial que preserve os resultados dos monitoramentos maregráfico e GNSS. O grande número de RRNN destruídas na estação de Imbituba, desde sua instalação original (1948), exemplifica a vulnerabilidade das RRNN em instalações portuárias (DALAZOANA, 2005).

Tanto quanto possível, deve-se distribuir essas RRNN em área, evitando a concentração exclusiva nos alinhamentos oferecidos naturalmente pelos cais dos portos e ruas de acesso e, conseqüentemente, permitindo uma melhor determinação dos desníveis geoidais na região da EMM.

Como discutido anteriormente, as estações CGNSS associadas a EMM deverão possuir chapas cravadas em suas bases, de modo a evitar a necessidade da frequente retirada da antena para nivelamento do DCF.

É bastante comum existirem, no entorno de EMM, estações geodésicas (RRNN, DCF, etc.) de várias instituições além da responsável pelas mesmas, nem sempre materializadas de acordo com os modelos mais comuns em cada caso (RN, DCF, etc.). Alguns modelos apresentam tampas de proteção facilmente confundíveis com a própria estação. Os mais comuns são descritos a seguir.

RRNN da (antiga) Portobrás

Materializadas com o modelo comum de chapa, com diâmetro maior que o usual. Geralmente a matrícula não é estampada na chapa, o que pode levar a problemas de identificação. Assim, a descrição desses tipos de RN deve ser feita com maior cuidado e detalhamento, de modo a permitir sua identificação inequívoca. Nas estações maregráficas da (extinta) Portobrás, a RN primária é materializada mediante marco de concreto geralmente implantado na praça principal do respectivo Porto, com a matrícula estampada na chapa (Figura 6).

Figura 6 – Exemplo de RN da (extinta) Portobrás – RMPG Fortaleza



Fotografia: Acervo RMPG.

RRNN da DHN

São materializadas por meio de “pinos” constituídos por uma esfera encaixada em uma caixa cilíndrica com tampa (Figura 7). Essa tampa é rosqueada no corpo principal do pino e travada com um parafuso. A matrícula é geralmente gravada na tampa.

O nivelamento de RRNN como as da DHN deve ser feito sempre nas duas posições possíveis – sobre a tampa (posição “errada”) e sobre o próprio “pino” (posição “correta”) –, de modo a evitar quaisquer dúvidas.

Figura 7 – Exemplo de RN da DHN – RMPG Fortaleza



Fotografia: Acervo RMPG.

RRNN do SACS

São chapas similares às convencionais, estabelecidas pelo antigo Serviço Aerofotogramétrico Cruzeiro do Sul, mas dotadas de pequeno pino adicional (Figura 8). É comum existirem RRNN SACS sem tal pino. Assim, a descrição dessas RRNN deve ser tão detalhada quanto possível.

Figura 8 – Exemplo de RN SACS – RMPG Fortaleza

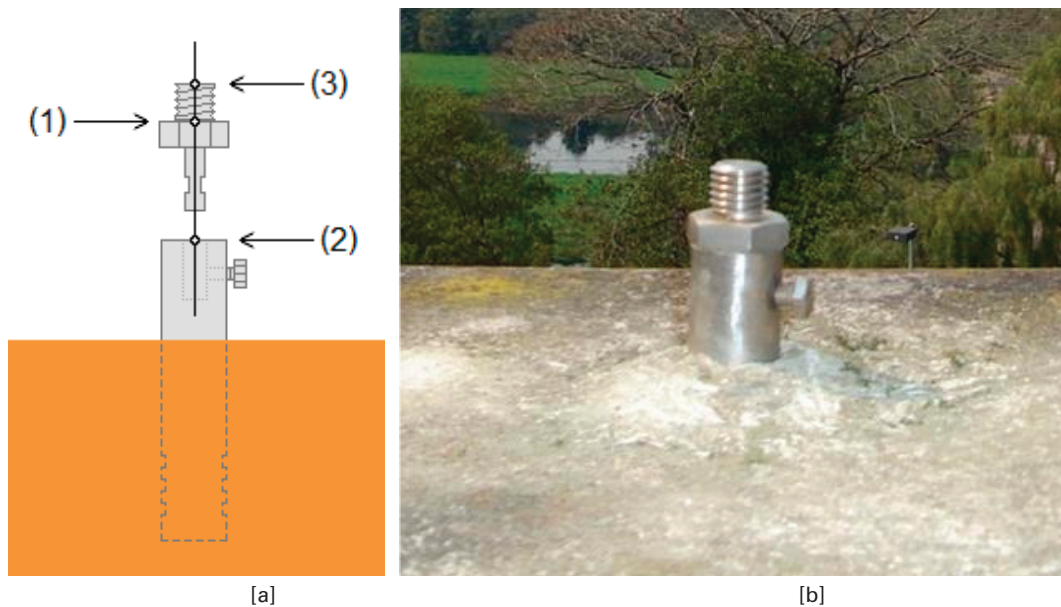


Fotografia: Acervo RMPG.

DCF do IBGE

Constituído por pino cilíndrico dotado de “cava” axial na qual se encaixa a peça destacável onde é rosqueado (Figura 9) o equipamento geodésico adequado – geralmente, uma antena GNSS. A rosca destacável é utilizada somente durante o levantamento geodésico. Assim, de modo rigoroso, o ponto de referência dos DCF do IBGE encontra-se na interseção do eixo do pino com o plano ortogonal materializado pela interface entre porca e rosca da peça destacável – “(1)” na Figura 9. Na prática, em função de eventuais imperfeições na verticalização do pino durante a construção do pilar e do eventual extravio da peça destacável, o ponto de referência para o nivelamento é o ponto mais elevado da aresta circular externa do pino. O nivelamento deverá ser feito prioritariamente no ponto “(1)” e também nos pontos “(2)” e “(3)” - conforme Figura 9. Estes três pontos deverão ser nivelados em relação à chapa cravada na base do pilar.

Figura 9 – DCF do IBGE: [a] representação esquemática, com indicação do pontos de referência primário (1) e secundários (2 e 3); e [b] exemplo instalado em viga

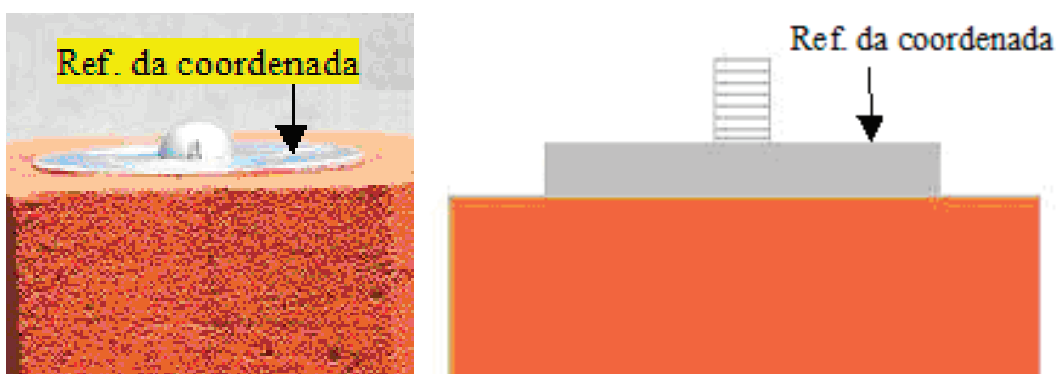


Fotografia: Acervo RBMC-SIGPS.

DCF da UFPR

Nestes, contrariamente aos DCF do IBGE, a rosca é incorporada ao pino engastado no pilar, cuja face superior é constituída por placa metálica que serve de base ao equipamento geodésico. A fim de proteger a rosca, quando não ocupada em levantamento geodésico, ela recebe uma tampa hemisférica (Figura 10). Assim, três são os pontos de referência obrigatórios para o nivelamento; a placa-base (posição “correta”, apesar de inadequada), o topo da rosca e o topo da tampa (posições “incorretas”). Para o nivelamento da placa-base e da rosca, a tampa deve ser retirada com chave específica.

Figura 10 - Exemplo de DCF da UFPR



Fotografia: Acervo RBMC-SIGPS.

Outros tipos de DCF

Além dos modelos descritos anteriormente, podem ser encontrados outros modelos de DCF, como o apresentado na Figura 11. Nesses casos, deve-se fazer uma análise específica, avaliando cada situação particular.

Figura 11 – Exemplo de outro modelo de DCF



Fotografia: Acervo RBMC-SIGPS.

Procedimentos para nivelamento de CGEM

Como discutido anteriormente, o controle geodésico de estações maregráficas deve ser feito por meio de estações CGNSS e EG_{abs} , vinculadas aos sensores maregráficos com nivelamento geométrico AP_{cient} específico para CGEM (NG-CGEM). O estabelecimento de estações GNSS, contínuas ou não, e EG_{abs} , bem como o processamento das respectivas observações, já têm especificações técnicas consolidadas. O mesmo acontece com os levantamentos gravimétricos relativos que obrigatoriamente devem acompanhar o nivelamento AP_{cient} . Assim, estas instruções técnicas tratam apenas dos procedimentos de NG-CGEM, não contemplados nas normas técnicas vigentes (IBGE, 1983).

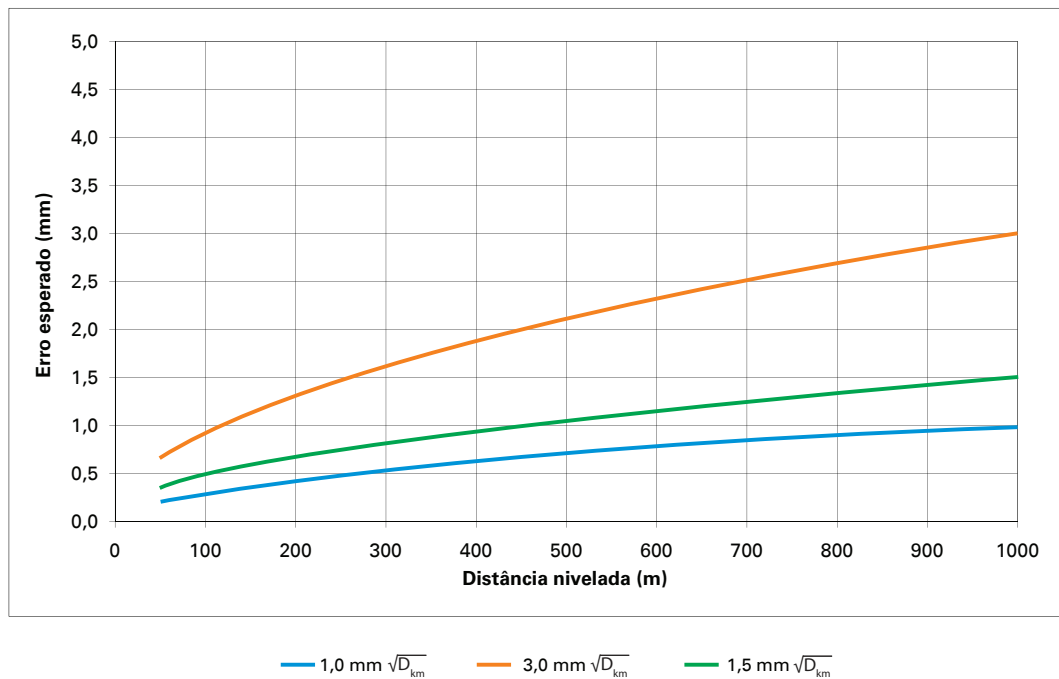
Buscou-se introduzir o menor número possível de alterações nas especificações do nivelamento usualmente praticado no estabelecimento da RAAP (AP_{fund}), considerando-se duas metas: aproveitar integralmente o instrumental atual; e respeitar, tanto quanto possível, as especificações da Comissão Oceanográfica Intergovernamental – IOC, que estabelecem o limite de 1 mm, em 1 km, para a precisão do nivelamento de estações maregráficas (IOC, 1994, p. 26; IOC, 2002, p. 37; IOC, 2006, p. 31).

Não foi possível obedecer à tolerância preconizada pela IOC, sem introduzir alterações significativas nos procedimentos. Em vez disso, decidiu-se reduzir a abrangência espacial do NG-CGEM, de modo a manter o erro esperado (95%) abaixo de 1 mm. Com isso, foi possível estabelecer um conjunto de especificações viáveis, que resultam em uma precisão esperada de $1,5 \text{ mm} \sqrt{D_{km}}$. Observa-se, na Figura 12, que a adoção dessa tolerância resulta em uma distância pouco menor que 500 m para o erro de 1 mm. Nos casos de NG-CGEM em que, eventualmente, seja necessário ultrapassar essa distância, espera-se que a manutenção da tolerância implique apenas em um incremento aceitável do número de repetições.

As especificações apresentadas, a seguir, foram obtidas mediante a aplicação da lei de propagação de covariâncias aos erros mais importantes do nivelamento geométrico em áreas planas: horizontalização do nível e leitura das miras. A ocorrência dos demais (colimação do nível; graduação, verticalização e índice das miras; refração atmosférica; subsidência de nível e miras) é minimizada com a adoção dos instrumentos e procedimentos usuais (níveis ótico-mecânicos Wild N3; miras *invar* graduadas com interferômetro e dotadas de nível de bolha, balanceamento das visadas de ré e vante; sequência específica de leituras das miras A e B, etc).

Quanto ao erro de horizontalização do nível, deve-se considerar a precisão da bolha principal do nível e o comprimento da visada. Para uma visada de 30m, a precisão usual de 0,25" resulta em um erro vertical máximo de 0,036 mm.

**Figura 12 – Precisão do nivelamento geométrico,
ao longo de distâncias entre 50 m e 1 km**



No caso de miras com dupla graduação, o erro de leitura é obtido da diferença permissível entre leituras de ambas as escalas. Com a tolerância de 0,1 mm para este erro, e o erro de horizontalização obtido anteriormente, é possível chegar ao valor de 1,5 mm $\sqrt{D_{km}}$ para a tolerância a ser aplicada às diferenças entre os resultados do duplo nivelamento.

A viabilidade da aplicação da tolerância de 0,1 mm para a diferença entre leituras das graduações esquerda e direita está condicionada ao refinamento dessas leituras individuais. Assim, todos os três fios deverão ser lidos no micrômetro (graduado em décimos de milímetro), com estimativa (visual) dos centésimos de milímetro.

Frequentemente serão feitos nivelamentos de pontos muito próximos – como no caso das chapas cravadas nas bases das estações CGNSS e os respectivos DCF.

Nesses casos, uma única mira deverá ser utilizada, a fim de eliminar o erro de índice, e esta condição deverá ser adequadamente declarada na caderneta.

Em função do aumento do tempo de permanência em cada ponto, tripé e sapatas estarão sujeitas a maior subsidência. De modo a minimizar esse erro, a leitura das miras será sempre iniciada e terminada com a leitura completa da mira A (no caso dos nivelamentos com duas miras) – micrômetro para todos os três fios (superior, médio e inferior), em ambas escalas (esquerda e direita). A leitura completa da mira B será realizada entre essas duas leituras completas da mira A. Com isso, o instante de referência da média das leituras de A será aproximadamente igual ao daquele referente às leituras da mira B, minimizando os efeitos da subsidência.

Deverão ser evitadas diferenças atmosféricas entre as visadas a ré e a vante em cada estação do nível. Tais diferenças decorrem, principalmente, dos diferentes tipos de solo. Assim, o percurso do nivelamento e os locais para as estações intermediárias das miras deverão ser cuidadosamente definidos de modo a se manter a homogeneidade de cada par de visadas ré-vante.

Todos os pontos de referência dos sensores maregráficos deverão ser nivelados em linha, partindo e chegando nas RRNN primárias da EMM, localizadas a até 30 m do abrigo dos sensores (página 23). Tal arranjo define o chamado “circuito dos sensores”, cujo estabelecimento visa isolar os pinos – e outros pontos não convencionais – das demais RRNN de CGEM e, por conseguinte, da própria RAAP. As RRNN primárias também servirão de base para a determinação diária do erro de colimação, cuja média propiciará, após análise estatística adequada, o valor a ser utilizado para a correção dos efeitos das visadas não balanceadas.

A seção formada pelas RRNN primárias, e incluída no circuito dos sensores, será compartilhada com o “circuito primário”, que englobará as RRNN situadas a até 200 m dos sensores. As demais RRNN, incluindo a estação CGNSS, constituirão os “circuito(s) secundário(s)”, configurado(s) de modo a evitar a formação de circuitos em cadeia. O fechamento de todos os circuitos de CGEM também deverá se submeter à tolerância de $1,5 \text{ mm } \sqrt{D_{\text{km}}}$.

Não serão estabelecidas seções específicas para verificação de abalo (“cheque”), pois os próprios circuitos de CGEM, nivelados anualmente, desempenham este papel.

As estações geodésicas que não sejam RN do IBGE devem receber matrícula de RN do IBGE – incluindo os pinos de controle dos sensores maregráficos. Eventuais substituições desses elementos introduzirão diferenças de posição vertical que, no contexto da RAAP, deverão ser interpretadas como “abalos”. No entanto, sempre que possível, deve-se evitar a atribuição de nova matrícula, a fim de reduzir a proliferação indevida de diferentes matrículas e a consequente dificuldade de monitoramento dos elementos da EMM.

Os pontos não materializados (topo da régua, borda dos poços, etc.) não receberão matrícula de RN do IBGE.

Os circuitos primário e secundários deverão ser conectados à RAAP por meio de nivelamentos adicionais, realizados segundo as normas vigentes para AP_{fund} convencional – incluindo a verificação de abalo.

Na base das estações CGNSS, deverá ser implantada e nivelada uma RN padrão IBGE (chapa cravada), antes da instalação da antena e demais aparatos da estação CGNSS, a fim de se evitar os inconvenientes do seu nivelamento periódico (retirada da antena e consequente interrupção da coleta de dados GNSS). A instalação da RN deverá considerar os 20 cm de raio da antena, de forma que as futuras ocupações da chapa (com mira vertical ou bastão de refletores) não impliquem em contato físico com a antena.

O nivelamento da RN na base do pilar CGNSS deverá ser realizado sob diferentes condições atmosféricas e, se possível, com dois conjuntos de operador/nível/mira para cada caso. Pode-se estabelecer, como programação *a priori*, os horários de 9h, 12h e 15h. Nesta programação, serão incluídas determinações do erro de colimação dos níveis utilizados.

O tratamento das observações e o cálculo dos circuitos de CGEM poderão realizar-se de acordo com os procedimentos usuais do IBGE, desde que sejam incluídas as correções de curvatura e refração (CCR) e de colimação em cada visada. Os resultados do cálculo serão organizados de forma a orientar a próxima repetição do nivelamento de CGEM em cada EMM, assegurando a manutenção da configuração de seções e circuitos. Com isso, fica também garantida a comparabilidade dos sucessivos nivelamentos e a possibilidade de detecção de alterações da posição vertical de quaisquer elementos da EMM.

Considerações finais

A implantação da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – RMPG, foi iniciada pelo IBGE em 2001, com o objetivo de vincular, temporal e espacialmente, os *data* verticais brasileiros (Imbituba e Santana) a outros referenciais verticais, aprimorando as possibilidades de utilização das altitudes do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB na zona costeira. Em cada estação da RMPG deve ser estabelecida uma rede local de controle vertical, à qual devem ser referidas as observações do nível do mar e vinculada a, ao menos, uma estação GNSS contínua – CGNSS. Nesses casos, não podem ser utilizadas as prescrições do nivelamento realizado comumente pelo IBGE, devendo ser estabelecidos controles de qualidade específicos. No caso dos nivelamentos da RMPG, foram introduzidas alterações apenas no comprimento máximo das visadas e nos procedimentos de leitura das miras (repetição das leituras da mira A e aumento da resolução da leitura do micrômetro). A viabilidade de adoção destas especificações com o instrumental clássico do IBGE (nível ótico-mecânico Wild N3 e miras correspondentes) foi analisada nas próprias estações da RMPG. As redes de nivelamento das estações de Santana (AP), Imbituba (SC), Fortaleza (CE), Salvador (BA) e Macaé (RJ) foram complementadas e reobservadas, segundo estas especificações, em março de 2009 e fevereiro, março, abril e setembro de 2010, respectivamente. Em Santana, com uma versão mais simples destas especificações, foi alcançada a média de 0,17 mm para os valores absolutos das discrepâncias do duplo nivelamento das 18 seções observadas. A análise preliminar destas observações permitiu constatar que ainda eram necessários outros refinamentos – notadamente em relação à estrita observância da homogeneidade das condições atmosféricas entre as visadas a ré e a vante e a um maior controle dos efeitos da subsidência de nível e miras. As observações realizadas em 2010 já incorporaram estes cuidados adicionais. É ainda necessário proceder a pelo menos uma reobservação, segundo as mesmas especificações,

mas com diferentes condições ambientais, de modo a analisar possíveis efeitos sazonais – isto foi recentemente realizado em Santana (julho/2010), com dados ainda em processamento. Apesar de tal necessidade, os resultados obtidos na implantação daquelas redes de nivelamento científico indicam ser possível atender às prescrições internacionais, utilizando o mesmo instrumental já em uso no IBGE.

Referências

ALENCAR, J. C. M. (1990). *Datum Altimétrico Brasileiro*. Cadernos de Geociências, Rio de Janeiro, v. 5, p. 69-73. Também disponível em: <http://www.ibge.gov.br/canal_artigos>, último acesso: 14/10/2010.

BESERRA, H. (1948). *Instruções para Nivelamentos de Precisão*. Rio de Janeiro: CNG. vii, 29 p. (Biblioteca Geográfica Brasileira, Série C, n. 4).

BEVIS, M.; SCHERER, W.; MERRIFIELD, M. (2002). *Technical issues and recommendations related to the installation of continuous GPS stations at tide gauges*. Marine Geodesy, v. 1, n. 3, p. 217-252. Também disponível, com pequenas diferenças, em: <http://imina.soest.hawaii.edu/cgps_tg/introduction/index.html>, último acesso: 14/10/2010.

BOMFORD, G. (1983). *Geodesy*. 4. ed., reprinted (with corrections). Oxford: Clarendon Press. xii, 855 p.

BOSCH, W.; FENOGLIO-MARC, L.; WÖPPELMANN, G.; MARCOS, M.; NOVOTNY, K.; SAVCENKO, R.; KARPYTCHEV M.; NICOLLE, A.; BECKER, M.; LIEBSCH, G. (2008). *Coastal Sea Surface Topography – a Synthesis of Altimetry, Gravity, and Tide Gauges*. Disponível em: <<http://www.dgfi.badw.de/dgfi/DOC/2006/OST-SciencePlan-bosch2.pdf>>, último acesso: 14/10/2010.

DALAZOANA, R. (2005). *Estudos dirigidos a análise temporal do Datum Vertical Brasileiro*. Curitiba. xiv, 188 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), CPGCG/UFPR. Também disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/3922>>, acesso em: 28/09/2006.

IBGE (1983). Resolução do Presidente (R. PR) n. 22 de 21/julho/1983. *Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos*. Boletim de Serviço, Rio de Janeiro: IBGE. n. 1602. Também disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_normas.shtm>, último acesso: 14/10/2010.

- ___ (1985). *Nivelamento Geodésico - Manual de Instruções*. 2. ed. Fortaleza: IBGE.
- ___ (2008). *Padronização de Marcos Geodésicos*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_normas.shtm>, último acesso: 14/10/2010.
- IOC (1985). *Manual on Sea Level Measurement and Interpretation*. Paris: IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission), v. I. Disponível em: <<http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals>>, acesso em: 16/02/2007.
- ___ (1994). *Manual on Sea Level Measurement and Interpretation*. Paris: IOC, v. II. Disponível em: <<http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals>>, acesso em: 16/02/2007.
- ___ (2002). *Manual on Sea Level Measurement and Interpretation*. Paris: IOC, v. III. Disponível em: <<http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals>>, acesso em: 16/02/2007.
- ___ (2006). *Manual on Sea Level Measurement and Interpretation*. Paris: IOC, v. IV. Disponível em: <<http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals>>, acesso em: 16/02/2007.
- LUZ, R. T. (1996). *A Influência das Ondas de Alta e Média Frequência na Observação do Nível do Mar para Aplicações Geodésicas*. Rio de Janeiro. xvii, 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- ___ (2008). *Estratégias para Modernização da Componente Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e sua Integração ao SIRGAS*. xxi, 179 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), CPGCG/UFPR, Curitiba. Também disponível em: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Roberto_Teixeira_Luz_Tese_de_Doutorado.pdf>, acesso: 04/03/2009.
- LUZ, R. T.; BOSCH, W.; FREITAS, S. R. C.; HECK, B. (2008). *Topografia do nível médio do mar no litoral sul-sudeste brasileiro*. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (SIMGEO), 2., 2008, Recife. Anais... Recife: UFPE. CD-ROM. Também disponível em: <http://www.ibge.gov.br/canal_artigos>, último acesso: 14/10/2010.
- PUGH, D. T. (1987). *Tides, Surges and Mean Sea-Level*. Chichester: John Wiley. xiv, 472 p. Disponível em: <<http://www.pol.ac.uk/psmsl/training/books.html>>, acesso em: 17/12/2007.
- TORGE, W (2001). *Geodesy*. 3. compl. rev. and ext. ed. Berlin: Walter de Gruyter. xv, 416 p.
- VANÍCEK, P.; KRAKIWSKY, E. J. (1986). *Geodesy: the Concepts*. 2. ed., 6. print. Amsterdam: Elsevier. xv, 697 p.

Equipe técnica

Diretoria de Geociências

Coordenação de Geodésia

Maria Cristina Barboza Lobianco

Técnicos responsáveis

Roberto Teixeira Luz

Sônia Maria Alves Costa

Valéria Guimarães Carvalho

Alberto Luís da Silva

Antonio da Cruz Castro

Luiz Antonio Moraes

Gerência de Documentação e Informação

Amauri Silva

Mônica Malaquias de Campos

Programa Editorial

Ceni Maria de Paula de Souza

Jerônimo Pedro Nogueira do Couto

Rubens de Oliveira Theophilo

Copidesque e revisão

Iaracy Prazeres Gomes

Robson Waldhelm

Projeto Editorial

Centro de Documentação e Disseminação de Informações

Coordenação de Produção

Marise Maria Ferreira

Gerência de Editoração

Estruturação textual

Katia Vaz Cavalcanti

Marisa Sigolo Mendonça

Copidesque e revisão

Anna Maria dos Santos
Cristina R. C. de Carvalho
Kátia Domingos Vieira

Diagramação textual

Augusto Cesar Santos da Costa Barros

Programação visual da publicação

Luiz Carlos Chagas Teixeira

Tratamento de arquivos e mapas

Evilmerodac Domingos da Silva

Produção de multimídia

Márcia do Rosário Brauns
Marisa Sigolo Mendonça
Mônica Pimentel Cinelli Ribeiro
Roberto Cavararo

Gerência de Documentação**Elaboração de quartas-capas**

Ana Raquel Gomes da Silva
Lioara Mandoju

Gerência de Gráfica**Impressão e acabamento**

Maria Alice da Silva Neves Nabuco

Gráfica Digital**Impressão**

Ednalva Maia do Monte