

POSSIBILIDADES DE INTEGRAÇÃO DE DADOS GRAVIMÉTRICOS À REDE ALTIMÉTRICA DO SGB PARA CÁLCULO DE ALTITUDES SIRGAS NO BRASIL

Roberto Teixeira Luz^{1,2,3}
Sílvio Rogério Correia de Freitas^{1,3}
Regiane Dalazoana¹

Francieli Abati Miranda, Alessandra Svonka Palmeiro, Karoline Paes Jamur⁴

¹ Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, robtluz / sfreitas / regiane @ ufpr.br

² Coordenação de Geodésia, IBGE

³ Grupo de Trabalho sobre Datum Vertical, Projeto SIRGAS

⁴ Departamento de Geomática, UFPR

RESUMO

Discutem-se as conseqüências da não inclusão de informações de gravidade no cálculo das altitudes brasileiras, dentre as quais destaca-se a dificuldade de integração dos resultados de levantamentos GPS ao sistema de altitudes convencional, isto é, aos *Data Verticais* de Imbituba e Santana. Apresentam-se as características principais desse sistema, justificando-se a citada não inclusão de gravidade pela histórica falta de uma densificação gravimétrica vinculada sistematicamente ao estabelecimento da Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro. São revistos os pontos mais importantes das atividades do Projeto SIRGAS referentes à conexão dos sistemas altimétricos sul-americanos, enfatizando-se algumas questões conceituais ligadas às altitudes definidas no campo da gravidade — notadamente as recomendações de cálculo dos números geopotenciais das estações altimétricas e de adoção de altitudes normais para definição do Datum Vertical SIRGAS. Relacionam-se alguns itens de pesquisa prévia importantes, tais como a determinação dos limites de aplicação da interpolação de valores de gravidade para as Referências de Nível não ocupadas pelos levantamentos gravimétricos, recomendada pelo Grupo de Trabalho sobre Datum Vertical do Projeto SIRGAS. Finalmente, são identificadas e analisadas as possibilidades de aplicação de tais conceitos ao Sistema Geodésico Brasileiro, apresentando-se uma proposta de densificação da própria rede SIRGAS, e definindo-se uma região de estudo em que são ótimas as condições de integração entre a rede de nivelamento do SGB, as estações de densificação gravimétrica e a rede SIRGAS.

Palavras-chave : Datum Vertical SIRGAS, Sistema Geodésico Brasileiro, Altitudes Geodésicas

POSSIBILITIES FOR INTEGRATION OF GRAVITY DATA TO THE VERTICAL NETWORK OF SGB FOR SIRGAS HEIGHTS COMPUTATION

ABSTRACT

The consequences of the absence of gravity information in the processing of the Brazilian heights are discussed, among which it is pointed out the difficulty of integration of the GPS surveys results to the conventional heights system, that is, to Imbituba and Santana Vertical Datums. The main characteristics of that system are presented, justifying the mentioned no gravity inclusion by the historical lack of a gravimetric densification systematically linked to the establishment of the Brazilian Geodetic System's Vertical Network. The most important points of the activities of SIRGAS Project, regarding the connection of the South American vertical systems, are reviewed, being emphasized some conceptual subjects linked to heights defined in the gravity field — specially the recommendations concerning the computation of geopotential numbers of the vertical stations and the adoption of normal heights in the definition of SIRGAS Vertical Datum. Some important items of preliminary research are listed, such as the determination of the limits of application of gravity values interpolation for the benchmarks not occupied by gravimetric surveys, recommended by the Working Group on Vertical Datum of the SIRGAS Project. Finally, the possibilities of application of such concepts to the Brazilian Geodetic System are identified and analysed, presenting a densification proposal of the own SIRGAS network, and defining a study area in which are optimal the conditions for integration between the Brazilian leveling network, the gravity densification stations and the SIRGAS network.

Keywords : SIRGAS Vertical Datum, Brazilian Geodetic System, Geodetic Heights

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as questões associadas à definição rigorosa de sistemas de altitudes vêm ganhando corpo, graças à urgente necessidade de aproveitar, para o posicionamento vertical, as imensas potencialidades introduzidas pelas modernas técnicas da Geodésia Espacial. Trata-se do problema de referir as altitudes geométricas (elipsoidais), obtidas através das mencionadas técnicas, aos sistemas verticais existentes, materializados por conjuntos de altitudes com características físicas (doravante denominadas simplesmente altitudes físicas) e formalmente referidas ao geóide — na prática, esta última caracterização é questionável, para a grande maioria dos sistemas de altitudes, realizados sem o concurso de informações gravimétricas (e.g., Freitas & Luz, 1995, Freitas & Blitzkow, 1999, Drewes et al., 2002b). Em muitos deles, sequer foi aplicada a “redução pseudo-ortométrica” (denominação mais adequada para a tradicional “correção ortométrica”), que trata apenas do efeito do não paralelismo das superfícies equipotenciais do campo da gravidade normal (Gemael, 1999).

Assim, a situação atual do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) não favorece a obtenção de valores precisos de altitudes físicas através das modernas técnicas espaciais. A indefinição conceitual das altitudes brasileiras contribui decisivamente para isso, assim como a baixa precisão dos modelos geopotenciais utilizados — na verdade, a precisão destes últimos é também consequência direta daquela indefinição.

É provável que praticamente todos os modelos geopotenciais globais e regionais existentes tenham utilizado as altitudes oriundas dos ajustamentos manuais da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do SGB, que parecem não considerar (Luz & Guimarães, 2001, Luz et al., 2002) a redução pseudo-ortométrica. Somente em 1993 o IBGE concluiu o Ajustamento Altimétrico Global Preliminar (AAGP), em que foram corrigidos alguns problemas dos ajustamentos anteriores, como a inclusão da redução mencionada. Espera-se que os novos modelos ora em preparação (e.g., Blitzkow et al., 2002) já considerem essa nova realização da RAAP, através da utilização das respectivas altitudes no cálculo das anomalias gravimétricas necessárias — tal contexto será profundamente alterado pela utilização dos modelos geopotenciais oriundos das missões espaciais dedicadas ao campo da gravidade já em operação (CHAMP e GRACE) ou em preparação (e.g., GOCE). Tais modelos certamente já começam a produzir impacto significativo sobre as discussões em torno dos referenciais altimétricos.

Portanto, a não inclusão da gravidade no cálculo das altitudes brasileiras é a origem da citada indefinição conceitual das mesmas, e a aplicação da redução pseudo-ortométrica apenas corrige os efeitos das variações da gravidade advindas das variações de latitude. Isso tem consequências não apenas sobre a obtenção de altitudes físicas precisas com GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), mas também para a integração de outras técnicas espaciais (como altimetria por satélites) e para a vinculação dos *data* verticais em todo o globo (e.g., Ihde et al., 2002), dentre outros contextos científicos e tecnológicos. Variadas recomendações surgiram das autoridades geodésicas internacionais, propondo soluções para esses problemas. No contexto sul-americano, o Projeto “Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas” (SIRGAS) assumiu o papel de condutor dessas discussões. Além de apresentar as recomendações do SIRGAS rumo a um datum vertical continental rigoroso e unificado, o presente artigo discute as alternativas brasileiras para a respectiva integração gravimetria-nivelamento-GPS.

2. ALTITUDES BRASILEIRAS

A origem das altitudes atuais das Referências de Nível (RRNN) de quase todo o SGB é o Datum de Imbituba, definido pelo nível médio do mar (NMM) no Porto de Imbituba, o qual é materializado através do valor de altitude da RN 4-X (8,6362m) em relação à média do nível do mar no período de 1949 a 1957, como descreve Alencar (1990). A partir da RN 4-X, localizada nas imediações do marégrafo daquele porto, foram obtidas as altitudes das demais RRNN da RAAP através de nivelamento geodésico — exceto no Amapá, onde, devido à impossibilidade de cruzar o Baixo Amazonas, o nivelamento foi estabelecido a partir do Datum de Santana, definido por observações de nível do mar no porto de mesmo nome, em período ainda não identificado. Descrições mais completas do estabelecimento da RAAP podem ser encontradas em Luz & Guimarães (2001) e Luz et al. (2002).

Assim, o IBGE vem determinando desde 1945 o que a comunidade cartográfica brasileira convencionou chamar de “altitudes ortométricas”. No entanto, a definição formal de altitude ortométrica inclui informação gravimétrica, cuja aquisição apenas recentemente foi sistematizada no IBGE. Bem poucas RRNN da RAAP possuem valor de gravidade, pois apenas a partir de 1995 o IBGE vinculou a realização de levantamentos gravimétricos às novas linhas de nivelamento geométrico — a diretriz principal de sua gravimetria é, desde o início (1991), o preenchimento dos “vazios gravimétricos” (Blitzkow et al., 2002).

Além da não inclusão da gravidade, outro fator de incompatibilidade entre as altitudes do SGB e o conceito de altitude ortométrica é a forma de estabelecimento do Datum Altimétrico. Na época da

realização do Datum de Imbituba, não se considerou a diferença entre o geóide e o NMM, i.e., a topografia do nível médio (TNMM) — como, aliás, na grande maioria dos data verticais de outros países. Isso introduz sérias dificuldades para o estabelecimento de grandes redes geodésicas e integração de redes nacionais em estruturas continentais (e.g., Hernández et al., 2002 ; Freitas et al., 2002a), já que os diferentes níveis de referência nacionais estão sujeitos, geralmente, a valores variados de TNMM, introduzindo mais problemas do que benefícios na conexão de sistemas geodésicos.

No caso do Brasil, a existência dos referenciais verticais Imbituba e Santana exemplifica bem essas dificuldades. O Mapa Geoidal do Brasil, em sua versão de 1992 (MGB-92), apresenta uma grande "depressão geoidal" na região de Santana, que pode ser resultado da errônea utilização de valores de altitude, anulando a ondulação geoidal nesse ponto. Além disso, as observações maregráficas em Santana sofrem a grande influência das águas do Amazonas, que introduzem na TNMM dessa região uma componente adicional inteiramente diversa daquela encontrada em outros pontos da costa.

Nesse contexto, a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) será de grande valia. A RMPG vem sendo implantada desde 2001 pelo IBGE, com o objetivo de monitorar as diferenças entre o Datum Vertical do SGB e os diversos níveis de referência definidos ao longo do litoral brasileiro (Luz & Guimarães, 2003). Como o próprio nome diz, critérios geodésicos orientam a implantação e o gerenciamento da RMPG. Assim, por exemplo, a RMPG já está plenamente integrada ao SIRGAS, pois todas as suas estações maregráficas foram ocupadas durante a Campanha GPS SIRGAS 2000. Espera-se para breve que essas estações GPS integradas à RMPG comecem a ser permanentemente ocupadas com GPS, ou seja, passem a fazer parte também da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do GPS.

Além da RMPG, o estudo dos resultados de altimetria por satélite na região da foz do Amazonas também será bastante importante para a vinculação entre Imbituba e Santana. Tais resultados mostram uma grande degradação de precisão em relação ao restante do globo. Uma das possíveis causas é a baixa precisão dos modelos globais de maré utilizados no processamento das observações dos satélites altimétricos, o que poderia ser corrigido através da elaboração e aplicação de um modelo hidrodinâmico regional.

3. DATUM VERTICAL SIRGAS

Criado em 1993 com o objetivo inicial de unificar os sistemas geodésicos planimétricos do continente sul-americano, o Projeto SIRGAS alcançou seus primeiros resultados em 1997. Nesse ano, foram divulgadas as coordenadas da Rede de Referência GPS estabelecida em 1995, com estações em quase todos os países da região (IBGE, 1997). Com base no sucesso alcançado, o Projeto redefiniu seus objetivos, visando um problema muito mais complexo — a definição de um Datum Vertical para a América do Sul.

Para isso, no mesmo ano foi criado o Grupo de Trabalho sobre Datum Vertical (GT-III). As primeiras recomendações do GT-III expressavam que (Drewes et al., 2002b) :

- a) o futuro DVSIRGAS (Datum Vertical SIRGAS) seria definido através de dois conjuntos de altitudes — geométricas e físicas —, bem como pelas respectivas taxas de variação temporal ("velocidades") ;
- b) o futuro DVSIRGAS seria materializado através de uma rede de estações geodésicas determinadas com GPS, nivelamento geométrico e gravimetria ;
- c) essa rede seria estabelecida com base nas estações da Rede de Referência de 1995, estendida com estações nas fronteiras niveláveis dos países sul-americanos e nas principais estações maregráficas do continente ; e
- d) os países deveriam iniciar a organização e o levantamento dos dados necessários ao cálculo dos números geopotenciais, os quais são elementos intermediários para a obtenção das altitudes físicas — como discutido na próxima seção.

A Figura 1 mostra as quase 190 estações da Rede de Referência Vertical SIRGAS, determinada em 2000 através da 2ª Campanha GPS SIRGAS (Drewes et al., 2002a), cujos resultados foram recentemente divulgados. Assim, suas altitudes elipsoidais já foram obtidas. No entanto, a conexão de suas estações com nivelamento e gravimetria é um processo demorado, e algumas vezes impossível. A organização dos dados dos levantamentos altimétricos e gravimétricos existentes também não é tarefa simples, já que, em muitos países, as informações primárias e os resultados finais encontram-se em meios inadequados. Nesse aspecto a situação do Brasil é bastante favorável, pois todo o processamento altimétrico e gravimétrico já está automatizado.

No Brasil, 20 das 22 estações SIRGAS já foram niveladas (Figura 2), mas poucas tiveram determinação de gravidade. As informações existentes já encontram-se em meio digital, mas a falta de integração entre as redes altimétrica e gravimétrica, mencionada na seção anterior, é uma importante dificuldade no processo de cálculo dos números geopotenciais das estações da Rede SIRGAS. Tal situação é melhor explorada na seção 5 ("INTEGRAÇÃO RRNN-EEGG-GPS").

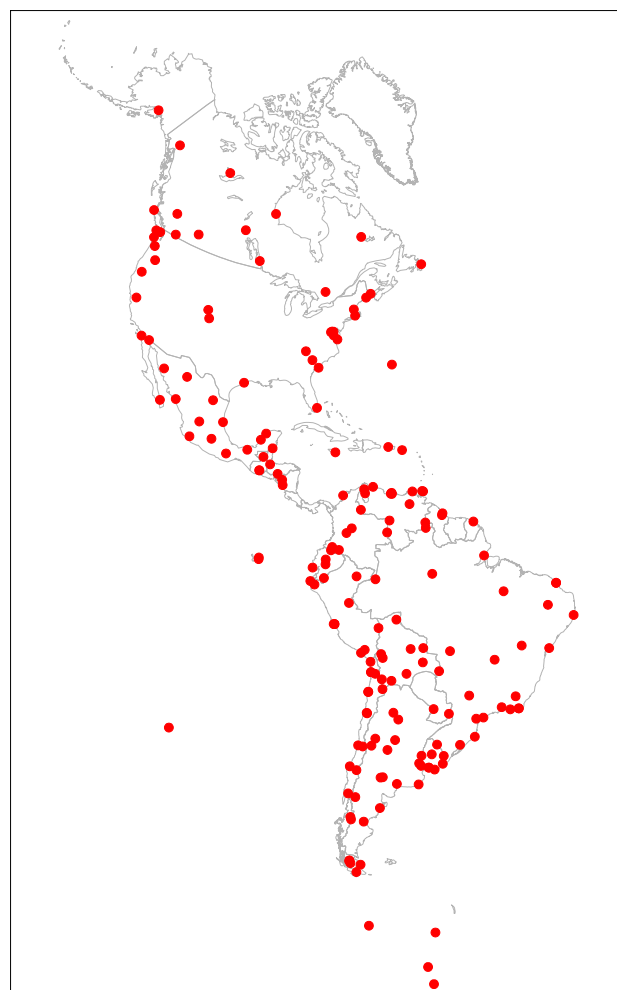


Figura 1 – Rede de Referência Vertical SIRGAS 2000

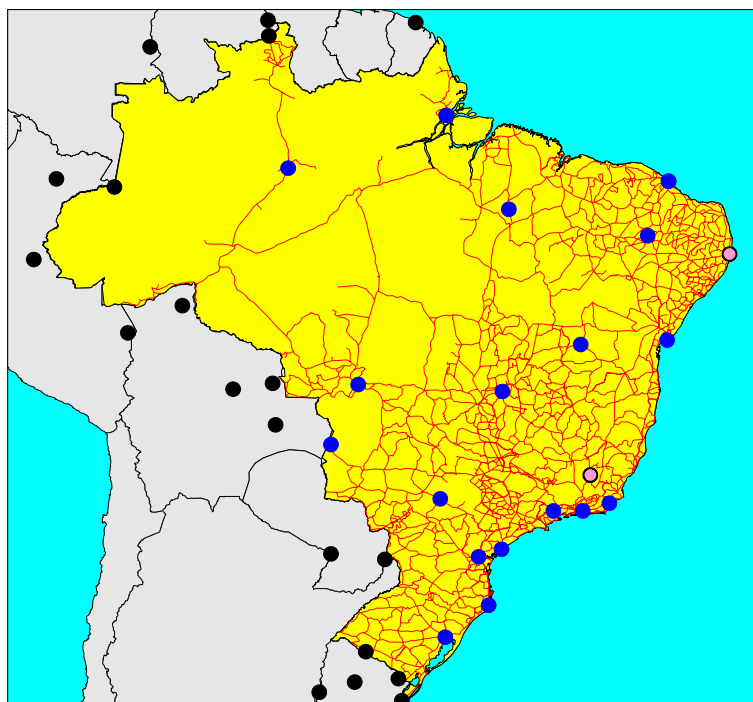


Figura 2 – Estações brasileiras da Rede SIRGAS, juntamente com as estações SIRGAS vizinhas ao território brasileiro e as linhas de nivelamento da RAAP

É importante destacar que a "materialização geopotencial" do DVSIRGAS, i.e., a determinação das altitudes físicas, não será feita a partir de observações maregráficas — pelo menos a princípio, de acordo com as recomendações e resoluções feitas até o presente. As estações da Rede SIRGAS nas estações maregráficas servirão apenas para vincular ao novo datum os referenciais existentes. O GT-III recomendou aos países membros do SIRGAS que as altitudes físicas SIRGAS sejam do tipo normal, isto é, obtidas através da razão entre os números geopotenciais e o valor teórico ("normal") da gravidade (ver seção 4). Nesse contexto, surge o problema da obtenção do valor do potencial do geóide, conhecido por W_0 , que constitui uma área de intensa pesquisa e discussão internacional (e.g., Bosch, 2002; Burša et al., 2002b).

4. ALTITUDES FÍSICAS

A abordagem mais natural dessa questão parte da definição de altitude ortométrica : distância do geóide ao ponto, sobre a linha de prumo. Integrando-se a diferença dos potenciais gravíficos entre duas superfícies equipotenciais separadas por uma distância infinitesimal, obtém-se (Torge, 2001) a expressão da ALTITUDE ORTOMÉTRICA :

$$h_{orto} = \frac{C}{g_m^v} \quad (1)$$

$$C = W_0 - W = \int g \, dh \cong \sum (g_m^{obs} \Delta h^{obs}) \quad (2)$$

sendo C o NÚMERO GEOPOTENCIAL, g_m^v o valor médio da gravidade ao longo da linha de prumo entre o geóide e a superfície física, W o potencial gravífico (índice zero significando potencial do geóide), g_m^{obs} os valores médios da gravidade observada nos pontos nivelados e Δh^{obs} os desníveis entre estes pontos.

A substituição da integral pelo somatório advém da consideração de que as seções de nivelamento são suficientemente pequenas. A confirmação da distância limite para tal consideração será objeto de estudos futuros.

Já que é impossível inferir, no estágio atual do desenvolvimento científico, a distribuição de densidades no interior da crosta — e, conseqüentemente, o valor médio da gravidade (Freitas & Blitzkow, 1999) —, as altitudes ortométricas são puramente teóricas, não sendo possível sua obtenção rigorosa. Eventualmente recorre-se a modelos simplificados da densidade litosférica, o que leva a valores aproximados de altitude ortométrica.

Além desse problema, as altitudes ortométricas, essencialmente teóricas, caracterizam-se por não tornar clara a condição de que as superfícies equipotenciais são superfícies de nível, isto é, cada ponto de uma única superfície equipotencial possui valores diferentes de altitude no sentido puramente geométrico. Para melhor abordar a questão, basta lembrar do não paralelismo das equipotenciais, que resulta na interessante situação (Torge, 2001) de que duas equipotenciais separadas por 100m no Equador mostram, nos pólos, uma separação de apenas 99,5m — uma diferença de 50cm ! Isso leva a um importante questionamento: seria necessário rever a conceituação de ALTITUDES, explicitando a necessidade de obedecer à condição de nível das superfícies equipotenciais?

Nesse aspecto, o número geopotencial tem uma grande vantagem. Segundo Torge (2001), o número geopotencial constitui "a grandeza ideal para descrever o comportamento de massas no campo da gravidade", e, como se observa na expressão (2), define-se simplesmente como a diferença entre os potenciais gravíficos do geóide e do ponto, que pode ser calculada como a soma dos produtos entre a gravidade média de cada seção de nivelamento e o respectivo desnível.

O grande problema para a adoção dos números geopotenciais como descritores rigorosos da posição vertical é a unidade em que são expressos (kgal.m, ou $10 \text{ m}^2/\text{s}^2$). Da necessidade de contornar esse problema surgem diferentes tipos de altitudes físicas ("altitudes científicas"), resultantes da conversão de C para unidades de comprimento, através da divisão por valores específicos de gravidade. Assim procedendo, mantém-se a importante característica de respeitar o significado intrínseco de altitude, pois as altitudes científicas refletem integralmente o paradigma de que "a água flui do ponto mais alto para o mais baixo". Em outras palavras, as altitudes científicas são aproximações mais ou menos satisfatórias que refletem a relação hidrostática vinculada à diferença de potencial da gravidade oriunda da diferença de nível entre dois pontos. Aliás, não poderia deixar de ser assim, pois trata-se apenas da aplicação de "fatores de escala" ao número geopotencial.

Os dois tipos mais importantes de altitude científica, no contexto das discussões sobre o DVSIRGAS, são as altitudes dinâmicas e as altitudes normais.

As ALTITUDES DINÂMICAS consideram valores constantes para o denominador de (1), escolhidos arbitrariamente — por exemplo, para o Brasil poderia ser escolhido a média dos valores de gravidade

real na superfície física, ou o valor de gravidade normal para a latitude média do país, ou ainda um valor que minimizasse as diferenças na região do Datum de Imbituba ou as diferenças em todos os marégrafos.

Torge (2001) menciona que a mais importante desvantagem das altitudes dinâmicas são as diferenças relativamente grandes em relação às altitudes brutas oriundas do nivelamento. Esta situação será objeto da continuação dos estudos ora relatados.

As ALTITUDES NORMAIS consideram os valores de gravidade normal (γ) para a latitude de cada ponto. Os estudos em andamento — prévios à decisão sobre uma eventual adoção formal do DVSIRGAS no Brasil — permitirão validar, graças à extensão territorial do país e aos problemas aí envolvidos, a viabilidade da adoção prática das altitudes normais como materializadoras da componente física daquele datum. Elas têm a significativa vantagem de referirem-se à mesma superfície implícita nos modelos geopotenciais disponíveis atualmente — o quase-geóide — e estarem na base das técnicas modernas de posicionamento global.

5. INTEGRAÇÃO RRNN-EEGG-GPS

Após 12 anos de trabalho, em cooperação com vários outros órgãos, o conjunto de EEGG (estações gravimétricas) determinadas pelo IBGE atingiu a configuração mostrada na Figura 3, em que se ressaltam as RRNN ocupadas por tais levantamentos gravimétricos. A identificação das RRNN ocupadas pelos levantamentos gravimétricos de outras instituições ainda encontra-se em andamento.

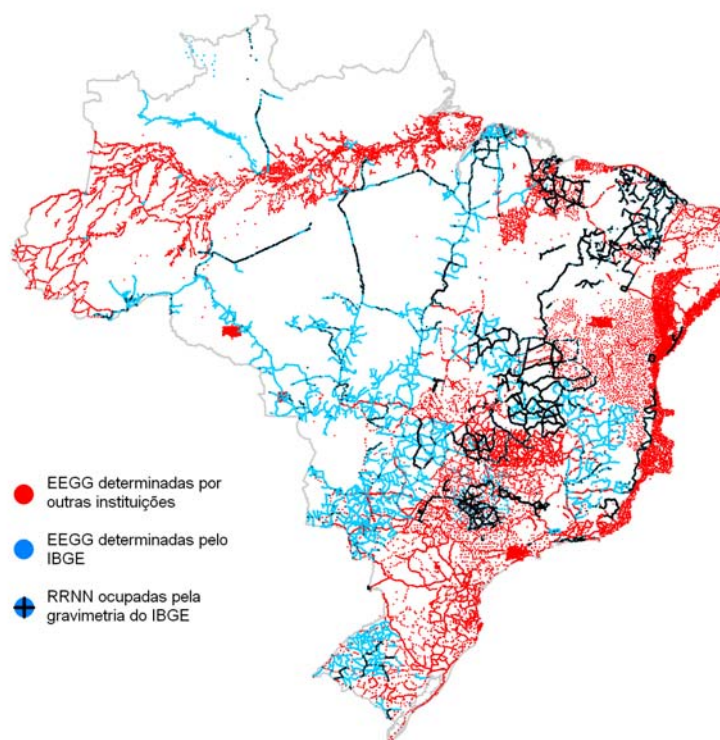


Figura 3 – Estações gravimétricas brasileiras

Com base nas Figuras 2 e 3, deduz-se que, na maioria das linhas de nivelamento da RAAP, existem levantamentos gravimétricos — do IBGE ou de outras instituições — cujo percurso é o mesmo dessas linhas, mas sem a ocupação direta de suas RRNN, em função, por exemplo, de sua destruição. Tal situação permite lançar mão de um processo simples de interpolação dos valores de gravidade, com base nas informações dos levantamentos gravimétricos e nas coordenadas das RRNN, conforme recomendação recente do GT-III. Apresenta-se um detalhamento dessa discussão na próxima seção.

Outro artifício possível para contornar a dificuldade de levar nivelamento e gravimetria até as estações da Rede de Referência SIRGAS é o estabelecimento de novas estações desta rede, sobre marcos da RAAP que já possuam valor de gravidade. Escolhendo-se adequadamente a localização dessas novas estações GPS, seria possível também melhorar a distribuição das estações da rede SIRGAS. A Figura 4 apresenta uma proposta de novas estações SIRGAS no Brasil, elaborada de forma a atender não só às duas condições mencionadas, mas também aos estudos referentes à vinculação entre os *Data* de Imbituba e Santana (seção 2).

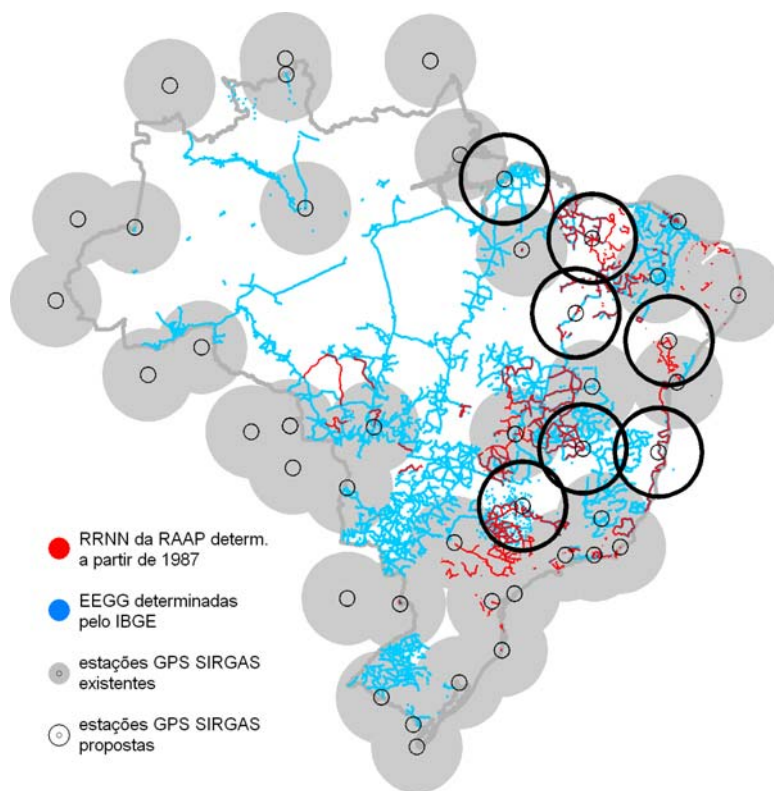


Figura 4 – Proposta de densificação da Rede SIRGAS no Brasil

6. INTERPOLAÇÃO DA GRAVIDADE

Prevê-se que a interpolação de valores de gravidade — para as RRNN cuja ocupação pelos levantamentos gravimétricos não foi possível — será um procedimento intensivamente utilizado na RAAP, em função da diferença temporal entre os levantamentos altimétrico e gravimétrico, associada à alta taxa de destruição das RRNN. Em função disso, é necessária uma criteriosa avaliação das alternativas para tal procedimento.

Em primeiro lugar, deve ser determinada a distância máxima para a qual podem ser consideradas equivalentes a integral e o somatório na expressão (2), confirmando se o cálculo dos números geopotenciais pode ser feito para conjuntos de seções de nivelamento (linhas), ou se isso deve ser feito para cada seção individual, ou, ainda, se obrigatoriamente deve ser considerada cada posição do nível no desenvolvimento das seções. Esta última hipótese introduziria grandes transtornos operacionais, já que seria necessária a conversão, para meio computacional, das informações das cadernetas de nivelamento, e o respectivo reprocessamento.

A recomendação do GT-III a respeito da interpolação de valores de gravidade menciona a utilização das anomalias Bouguer, como forma de levar em conta os efeitos das heterogeneidades da distribuição de densidades litosféricas, sem, contudo, submeter os resultados à influência da excessiva variabilidade das anomalias ar-livre.

Tal recomendação está relacionada à investigação anterior sobre a aproximação da integral em (2), já que a possibilidade de composição de várias seções de nivelamento atenuaria a necessidade de interpolação — ou, no caso contrário, a necessidade de cálculo referente às posições do nível exigiria a interpolação de valores de gravidade para as mesmas.

Para iniciar os ensaios de integração de nivelamento e gravimetria à Rede de Referência SIRGAS, implementando o esquema de interpolação proposto pelo GT-III e verificando seu desempenho, é preferível limitar os estudos a uma área em que a situação seja ideal — pelo menos duas estações SIRGAS ocupadas e vinculadas por linhas de nivelamento recentes, totalmente cobertas por gravimetria. A análise da Figura 4 revela não existirem muitas opções; apenas o bloco central de circuitos em vermelho parece atender às condições estabelecidas. A Figura 5 mostra a região com maior detalhe.

Constata-se a existência de vários circuitos da RAAP plenamente ocupados com gravimetria. Tais circuitos parecem estender-se até as estações SIRGAS de Brasília, DF (BRAZ) e Bom Jesus da Lapa, BA (BOMJ). A estação SIRGAS proposta para Montes Claros, MG, obviamente situa-se em um desses circuitos, no extremo sudeste do bloco. Confirmando-se a vinculação de BRAZ e BOMJ, configurar-se-á uma excelente situação para uma área de testes da integração RRNN-EEGG-GPS. Um ensaio preliminar com as anomalias Bouguer das EEGG do IBGE nessa área resultou na Figura 6.

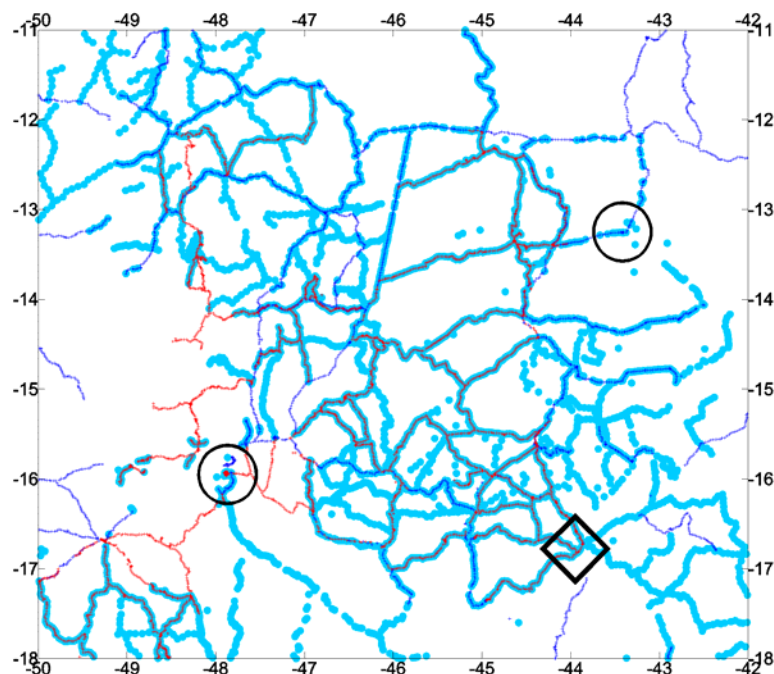


Figura 5 – Ampliação da área central da Figura 4, mostrando a região em que as linhas mais recentes da RAAP são quase que inteiramente cobertas pela densificação gravimétrica do IBGE, além de conectarem duas estações GPS SIRGAS existentes e uma eventual nova estação SIRGAS

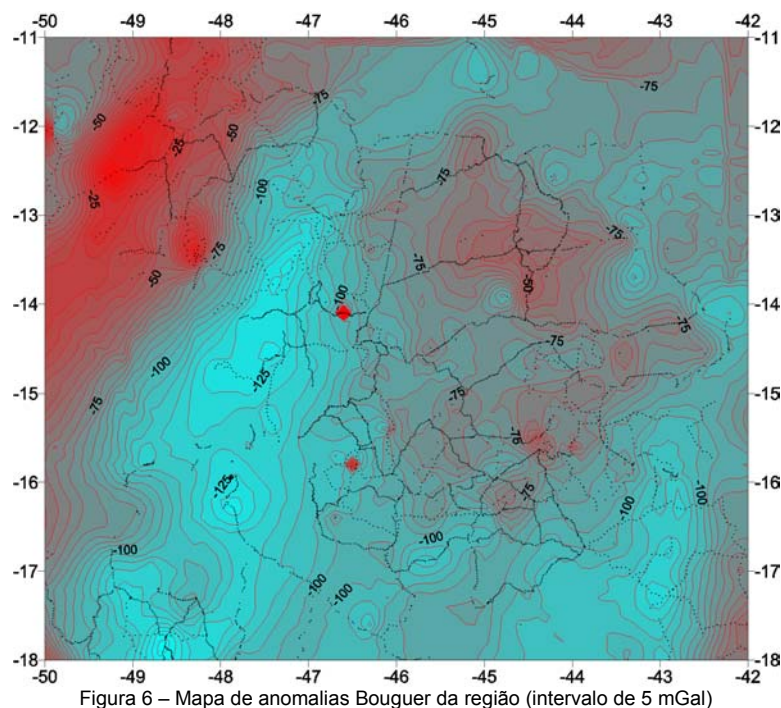


Figura 6 – Mapa de anomalias Bouguer da região (intervalo de 5 mGal)

Já foi apontada, na seção 1, a expectativa de que a integração de dados de gravidade ao tratamento das informações altimétricas experimente grande impulso com a utilização dos modelos geopotenciais produzidos por missões espaciais específicas para o campo da gravidade. Dentre essas missões, destaca-se a dos satélites gêmeos GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*), lançados em março de 2002, cujos primeiros modelos foram divulgados em julho de 2003. Tais modelos atingiram a significativa precisão de 1 cm para os comprimentos de onda maiores que 360 km (GFZ, 2003), mas já existem notícias de que a mesma precisão alcança atualmente os 200 km (Reigber et al., 2004). Isso faz dos produtos GRACE ferramentas de uso obrigatório nas pesquisas sobre referenciais verticais, tais como as descritas ao longo do presente texto.

7. COMENTÁRIOS FINAIS

A identificação de uma região em que os levantamentos altimétricos e gravimétricos já estão integrados à Rede SIRGAS permitiu o início da implementação e verificação de procedimentos de inclusão de dados de gravidade no processamento final de dados de nivelamento. Paralelamente a tais estudos, também já foram iniciados : **(a)** o cálculo dos primeiros valores de números geopotenciais da RAAP, que possibilitarão a mencionada análise comparativa dos diferentes tipos de altitudes físicas no contexto brasileiro ; **(b)** o desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) específico para o processamento da RAAP com integração de gravidade ; **(c)** a verificação da viabilidade de aplicação do modelo digital de terreno (MDT), produzido pela missão do ônibus espacial (SRTM, *Shuttle Radar Topography Mission*), ao refinamento dos valores de gravidade ; e **(d)** a recuperação de antigos registros gráficos da Estação Maregráfica de Imbituba. Tais frentes de trabalho constituem, sem exceção, passos importantes nas pesquisas sobre a adoção do Datum Vertical SIRGAS no Brasil, as quais serão ainda mais enriquecidas com a criação de uma linha de estudo dos produtos da missão gravimétrica espacial GRACE no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR.

É importante ressaltar que tais pesquisas incluem obrigatoriamente uma extensa etapa de verificação dos impactos da eventual adoção do DVSIRGAS no Brasil, bem como a definição de procedimentos, estratégias e ferramentas que façam da transição para tal sistema um processo "indolor".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alencar, J. C. M. (1968). Sistema Nacional de Nivelamento de 1a Ordem. Conferência Nacional de Geociências, IBGE, Rio de Janeiro.
- Alencar, J. C. M. (1990). Datum Altimétrico Brasileiro. In: Cadernos de Geociências. IBGE, vol. 5, p. 69-73, Rio de Janeiro.
- Blitzkow, D.; Cancoro de Matos, A. C.; Lobianco, M. C. B. (2002). Data Collecting and Processing for Quasi-Geoid Determination in Brazil. In: Vertical Reference Systems (IAG Symposia, vol. 124). Springer, Ed. H. Drewes et al., ISBN 3-540-43011-3, p. 148-151.
- Bosch, W. (2002). The Sea Surface Topography and its Impact to Global Height System Definition. In: Vertical Reference Systems (IAG Symposia, vol. 124). Springer, Ed. H. Drewes et al., ISBN 3-540-43011-3, p. 225-230.
- Burša, M.; Kenyon, S.; Kouba, J.; Radej, K.; Vatrt, V.; Vojtíšková, M.; Šimek, J. (2002a). World Height System Specified by Geopotential at Tide Gauge Stations. In: Vertical Reference Systems (IAG Symposia, vol. 124). Springer, Ed. H. Drewes et al., ISBN 3-540-43011-3, p. 291-296.
- Burša, M.; Groten, E.; Kenyon, S.; Kouba, J.; Radej, K.; Vatrt, V.; Vojtíšková, M. (2002b). Earth's Dimension Specified by Geoidal Geopotential. In: Vistas for Geodesy in the New Millennium (IAG Symposia, vol. 125). Springer, Ed. J. Ádam, K.-P. Schwarz, ISBN 3-540-43454-2, p. 542.
- Dalazoana, R. (2003). Estimativa dos Efeitos Locais e da Topografia do Nível Médio do Mar na Região do Datum Vertical Brasileiro. Plano de Tese de Doutorado, UFPR/CPGCG.
- Dalazoana, R., Freitas, S. R. C., Luz, R. T. (2003). Importância do Resgate e Análise da Série Temporal de Observações Maregráficas no Porto de Imbituba. In: Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (CD-ROM), Curitiba, PR.
- Drewes, H.; Fortes, L. P. S.; Hoyer, M.; Luz, R. T. (2002a). The Vertical Reference Frame for the Americas – the SIRGAS 2000 GPS Campaign. In: Vertical Reference Systems (IAG Symposia, vol. 124). Springer, Ed. H. Drewes et al., ISBN 3-540-43011-3, p. 302-305.
- Drewes, H.; Sánchez, L.; Blitzkow, D.; Freitas, S. (2002b). Scientific Foundations of the SIRGAS Vertical Reference System. In: Vertical Reference Systems (IAG Symposia, vol. 124). Springer, Ed. H. Drewes et al., ISBN 3-540-43011-3, p. 297-301.
- Freitas, S. R. C.; Luz, R. T. (1995). Altimetria de Precisão com GPS baseada no SGB: Possibilidades Físicas e Limitações. In: 4º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. SBGf, Ed. A. P. A. Barbosa et al., vol. 1, p. 135-138. Rio de Janeiro, Brasil.
- Freitas, S. R. C.; Santos, M. C.; Cordini, J.; Marone, E. (1997). Multi-parametric experiment for observing crustal deformations in Southern Brazil. In: Geodesy on the Move, International Association of Geodesy General Assembly, Rio de Janeiro, 431-436.
- Freitas, S. R. C.; Blitzkow, D. (1999). Altitudes e Geopotencial. In: Bulletin N.9, International Geoid Service (Special Issue for South America). IgeS, Milano, Ed. F. Sansò et al., ISSN 1128-3955, p. 47-61.
- Freitas, S. R. C.; Cordini, J.; Marone, E.; Schwab, S. H. S. (1999). Vínculo da Rede Altimétrica Brasileira à Rede SIRGAS. In: Bulletin N.9, International Geoid Service (Special Issue for South America). IgeS, Milano, Ed. F. Sansò et al., ISSN 1128-3955, p. 31-46.

- Freitas, S. R. C.; Medina, A. S.; Pires, A. O.; Luz, R. T. (2001). Considerações e Experimentos para a Conexão das Redes Altimétricas da América do Sul. In: 30 Anos da Pós-Graduação em Ciências Geodésicas no Brasil (Série em Ciências Geodésicas, vol. 1). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, ISBN 85-88783-01-0.
- Freitas, S. R. C.; Medina, A. S.; Lima, S. R. S. (2002a). Associated Problems to Link South American Vertical Networks and Possible Approaches to Face Them. In: Vertical Reference Systems (IAG Symposia, vol. 124). Springer, Ed. H. Drewes et al., ISBN 3-540-43011-3, p. 318-323.
- Freitas, S. R. C.; Schwab, S. H. S.; Marone, E.; Pires, A. O.; Dalazoana, R. (2002b). Local Effects in the Brazilian Vertical Datum. In: Vistas for Geodesy in the New Millennium (IAG Symposia, vol. 125). Springer, Ed. J. Ádam, K.-P. Schwarz, ISBN 3-540-43454-2, p. 102-107.
- Gemael, C. (1999). Introdução à Geodésia Física. Curitiba, UFPR, 304 p.
- GFZ (2003). GRACE Gravity Model EIGEN-GRACE01S, documento obtido em http://op.gfz-potsdam.de/grace/index_GRACE.html.
- Hernández, J. N.; Blitzkow, D.; Luz, R.; Sánchez, L.; Sandoval, P.; Drewes, H. (2002). Connection of the Vertical Control Networks of Venezuela, Brazil and Colombia. In: Vertical Reference Systems (IAG Symposia, vol. 124). Springer, Ed. H. Drewes et al., ISBN 3-540-43011-3, p. 324-327.
- IBGE (1997). Relatório Final - Grupos de Trabalho I e II do Projeto SIRGAS. Rio de Janeiro.
- Ihde, J.; Augath, W. (2002). The European Vertical Reference System (EVRS), Its Relation to a World Height System and to the ITRS. In: Vistas for Geodesy in the New Millennium (IAG Symposia, vol. 125). Springer, Ed. J. Ádam, K.-P. Schwarz, ISBN 3-540-43454-2, p. 78-83.
- Ihde, J.; Augath, W.; Sacher, M. (2002). The Vertical Reference System for Europe. In: Vertical Reference Systems (IAG Symposia, vol. 124). Springer, Ed. H. Drewes et al., ISBN 3-540-43011-3, p. 345-350.
- Luz, R. T.; Guimarães, V. M. (2001). Realidade e Perspectivas da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro. In: Anais do II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (CD-ROM), Curitiba, PR.
- Luz, R. T.; Freitas, S. R. C.; Dalazoana, R. (2002). Acompanhamento do Datum Altimétrico IMBITUBA através das Redes Altimétrica e Maregráfica do Sistema Geodésico Brasileiro. In: Anais do VII Congresso Internacional de Ciencias de la Tierra (não publicados), Santiago, Chile.
- Luz, R. T.; Guimarães, V. M. (2003). Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE. In: Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (CD-ROM), Curitiba, PR.
- Marti, U.; Schlatter, A.; Brockmann, E.; Wiget, A. (2002). The Way to a Consistent National Height System for Switzerland. In: Vistas for Geodesy in the New Millennium (IAG Symposia, vol. 125). Springer, Ed. J. Ádam, K.-P. Schwarz, ISBN 3-540-43454-2, p. 90-95.
- Reigber, C.; Schmidt, R.; Flechtner, F.; Koenig, R.; Meyer, U.; Neumayer, K. H.; Schwintzer, P.; Zhu, S. Y. (2004). A Mean Global Gravity Field Model from GRACE Mission Data Only – Current GFZ Solutions. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 6 (CD-ROM), 03944.
- Sánchez, L. (2002). A Reference Surface for the Unified Height System in the Northern Part of South America. In: Vistas for Geodesy in the New Millennium (IAG Symposia, vol. 125). Springer, Ed. J. Ádam, K.-P. Schwarz, ISBN 3-540-43454-2, p. 84-89.
- Sánchez, L.; Martínez, W. (2002). Approach to the New Vertical Reference System for Colombia. In: Vertical Reference Systems (IAG Symposia, vol. 124). Springer, Ed. H. Drewes et al., ISBN 3-540-43011-3, p. 27-33.
- Torge, W. (2001). Geodesy. 3rd compl. rev. and ext. ed., Walter de Gruyter, Berlin, ISBN 3-11-017072-8.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Processos 550830/2002-2 e 140084/2004-5) e CAPES pelo suporte financeiro a este projeto ; ao IBGE, à UFPR e à USP pela cessão de dados e pelo suporte técnico à pesquisa; ao Instituto Alemão de Pesquisas Geodésicas (DGFI), à Universidade de Karlsruhe (Alemanha) e ao Observatório Real da Bélgica (ORB) pelo suporte científico ; e à Companhia Docas de Imbituba (CDI) pelo apoio operacional.