

AVALIAÇÃO DAS REALIZAÇÕES DA COMPONENTE VERTICAL DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

ROBERTO TEIXEIRA LUZ^(1,2)
SÍLVIO ROGÉRIO CORREIA DE FREITAS⁽¹⁾
RENATO R. PINHEIRO⁽²⁾, DANIEL GOLDANI⁽²⁾, CLAUDIA C. C. SANTOS⁽²⁾, NÍVIA R. DI MAIO PEREIRA⁽²⁾
WALTER HUMBERTO SUBIZA PIÑA^(2,3)

⁽¹⁾ UFPR / CPGCG – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, PR
{ robtluiz , sfreitas } @ ufpr.br

⁽²⁾ IBGE / CGED – Coordenação de Geodésia, Rio de Janeiro, RJ

⁽³⁾ atualmente na Coordenação de Cartografia, CCAR
{ roberto.luz , renato.rodrigues , daniel.goldani , claudia.santos , nivia.maio , walter.pina } @ ibge.gov.br

RESUMO – Diversas estratégias foram utilizadas nos ajustamentos a que foi submetida a Rede Altimétrica de Alta Precisão do SGB desde o início de seu estabelecimento, em 1945. Os dois primeiros (1948 e 1952) referiram-se ao Datum de Torres, e todos os demais ao de Imbituba. O terceiro ajustamento substituiu os anteriores e serviu de referência para o encadeamento dos que se seguiram. Apenas em 1993 foi concluído o primeiro ajustamento informatizado. O presente estudo discute aspectos específicos destes ajustamentos, como a existência de distorções relativamente grandes no ajustamento de 1993, originadas da própria estratégia de particionamento empregada no chamado Ajustamento Altimétrico Global Preliminar. Além disso, o trabalho aborda questões ainda pendentes, como a heterogeneidade temporal da rede – notadamente na própria região do Datum de Imbituba – e a caracterização da rede local que materializa este mesmo Datum.

ABSTRACT – Several strategies were used in the adjustments of the Brazilian Fundamental Vertical Network since the beginning of its establishment in 1945. The first two (1948 and 1952) were referred to the Torres Datum, while all the other used the Imbituba Datum. The third adjustment replaced the former ones and was used as reference for the subsequent computations. The first automatized adjustment was finished only in 1993. The present study discuss specific aspects of these adjustments, like the existence of relatively large distortions in the 1993 adjustment, caused by the own partitioning strategy used in the so-called Preliminary Global Vertical Adjustment. Besides this, the paper deals with open questions like the temporal heterogeneity of the network – mainly in the Imbituba Datum region – and the characterization of the local network which materializes this Datum.

1 INTRODUÇÃO

Desde 1949 a componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) tem sido realizada por intermédio das altitudes obtidas em diversos ajustamentos da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do SGB (Luz & Guimarães, 2001). Aos desníveis considerados em tais ajustamentos foi aplicada a redução normal-ortométrica, de modo a minimizar os efeitos da ausência de observações gravimétricas em grande parte das Referências de Nível (RRNN) da RAAP.

Em 2004 foram iniciados estudos referentes à homogeneização da cobertura gravimétrica na RAAP e ao cálculo dos respectivos números geopotenciais (Luz et al., 2004). Depois de obtidas as diferenças geopotenciais das linhas de nivelamento da RAAP, as mesmas deverão passar por processo similar de ajustamento, do qual serão obtidos os mencionados números geopotenciais para cada

RN da rede. Assim, de forma a subsidiar a preparação do futuro ajustamento das referidas diferenças geopotenciais, foram analisados os efeitos das estratégias de montagem das redes consideradas nos ajustamentos anteriores da RAAP. Tais estudos incluíram a análise do particionamento utilizado no último ajustamento, a correção de alguns problemas de montagem dos circuitos da rede, detectados posteriormente e também o aprimoramento da materialização do Datum de Imbituba.

2 AJUSTAMENTOS “HISTÓRICOS”

2.1 Datum

As altitudes calculadas nos dois primeiros ajustamentos da RAAP (Mattos, 1948; Beserra, 1952) referiam-se provisoriamente ao Datum de Torres,

A RN 4X foi incluída na rede local até 1952, quando os relatórios de inspeção do IAGS acusam sua destruição. No entanto, esta RN foi reconstruída posteriormente, e os nivelamentos do IAGS registraram sua nova posição. Tal fato não teve maiores repercussões para a operação da estação maregráfica ou para a materialização do datum, já que existiam outras RRNN mais adequadas – especialmente a RN IAGS-3, incluída no circuito de nivelamento do IBGE em março de 1980 (Figura 1). Devido à forma com que foi estabelecida e ao cuidado das autoridades portuárias com sua manutenção, esta RN sobreviveu até julho de 2005, quando a estrutura em que se achava construída foi demolida. Antes disso, foi possível proceder ao estabelecimento de uma nova RN vinculada à RN IAGS-3, de forma a preservar a materialização do datum.

2.2 Ajustamentos

No contexto do presente trabalho, dois fatos devem ser destacados nestes ajustamentos. O primeiro deles refere-se à homogeneidade temporal que caracteriza as redes consideradas em cada um dos sucessivos ajustamentos (1948, 1952, 1959, 1962, 1963, 1966, 1970, e 1975). Tal característica foi consequência natural do desenvolvimento espacialmente homogêneo da RAAP naquelas primeiras décadas.

Linha de 1952	Desnível de 1952	Desnível do AAGP	Dif. (mm)	RNO (mm)	Dif. (mm)
27	243,1308	243,1609	-30,1	-32,9	2,8
29	220,1132	220,1406	-27,4	-28,2	0,8
30	-23,0415	-23,0422	0,7	2,4	-1,7
33	91,6736	91,5933	80,3	21,9	58,4
41	197,9122	197,9471	-34,9	-34,5	-0,4
42	200,2670	200,2610	6,0	4,5	1,5
43	209,1825	209,2052	-22,7	-23,6	0,9
44	-34,4465	-34,4556	9,1	15,1	-6,0
45	-13,2047	-13,1733	-31,4	-31,9	0,5
56	469,5058	469,4808	25,0	8,1	16,9

Outra característica importante a ser ressaltada nos ajustamentos históricos é a aplicação da redução normal-ortométrica (“RNO”). Apesar de não explicitada nos relatórios citados, isso pode ser confirmado por

intermédio da comparação entre os desníveis considerados nesses ajustamentos e os do último ajustamento (AAGP, abordado a seguir). A Tabela 1 mostra essa comparação para uma pequena parte dos 105 desníveis do ajustamento de 1952. Pode-se observar que, exceto por alguns valores exagerados, tais desníveis são bastante próximos dos valores com aplicação da RNO, conforme calculada para o AAGP (Ribeiro, 1989). As pequenas diferenças podem ter origem na incerteza dos valores de latitude das RRNN determinados àquela época.

3 REALIZAÇÃO ATUAL

3.1 AAGP

As altitudes atualmente disponibilizadas, por intermédio do Banco de Dados Geodésicos (BDG), aos usuários das informações da RAAP foram calculadas no Ajustamento Altimétrico Global Preliminar (AAGP), cuja etapa principal foi concluída em 1993 (Ribeiro et al., 1989; Ribeiro & Luz, 1991). Nesse ajustamento, foi utilizado um programa computacional em Fortran desenvolvido especificamente para a tarefa (AJNIV), empregando o método dos mínimos quadrados (MMQ) via modelo paramétrico. Em função de sua capacidade limitada, não foi possível realizar um ajustamento simultâneo da RAAP. Isso deu origem ao particionamento da rede em “macrocircuitos” (MCs), os quais foram ajustados isoladamente, para fornecer altitudes de partida para o ajustamento das sub-redes internas de cada MC. A rede de MCs, com 56 linhas internodais e 38 pontos

nodais, é mostrada nas figuras apresentadas na seção 5, onde são discutidos os efeitos desta estratégia de particionamento.

3.2 Problemas detectados posteriormente

Devido à deficiência inerente aos procedimentos manuais adotados em sua preparação, um número indeterminado de linhas de nivelamento superpostas não foi considerado no AAGP. Tais linhas foram ajustadas à parte depois de 1993. Assim, o particionamento da RAAP teve uma complexidade maior que a pretendida originalmente.

Além disso, a estratégia de montagem da rede considerada no AAGP privilegiou as linhas mais antigas, com o objetivo de utilizar a mesma materialização do DVB-I dos ajustamentos anteriores – ainda não se dispunha, àquela época, das informações referentes aos nivelamentos do IAGS (seção anterior).

Com a necessidade de incluir, no AAGP, o grande número de linhas observadas após o último ajustamento “histórico” (1975), a heterogeneidade temporal foi bastante acentuada em algumas porções da rede. Isto é especialmente crítico na região de Imbituba, conforme mostra a Figura 1.

As linhas das décadas de 1940 e 1980 foram integradas para permitir a montagem da rede na Região Sul do país, onde existem apenas linhas posteriores a 1980 (Figura 2).

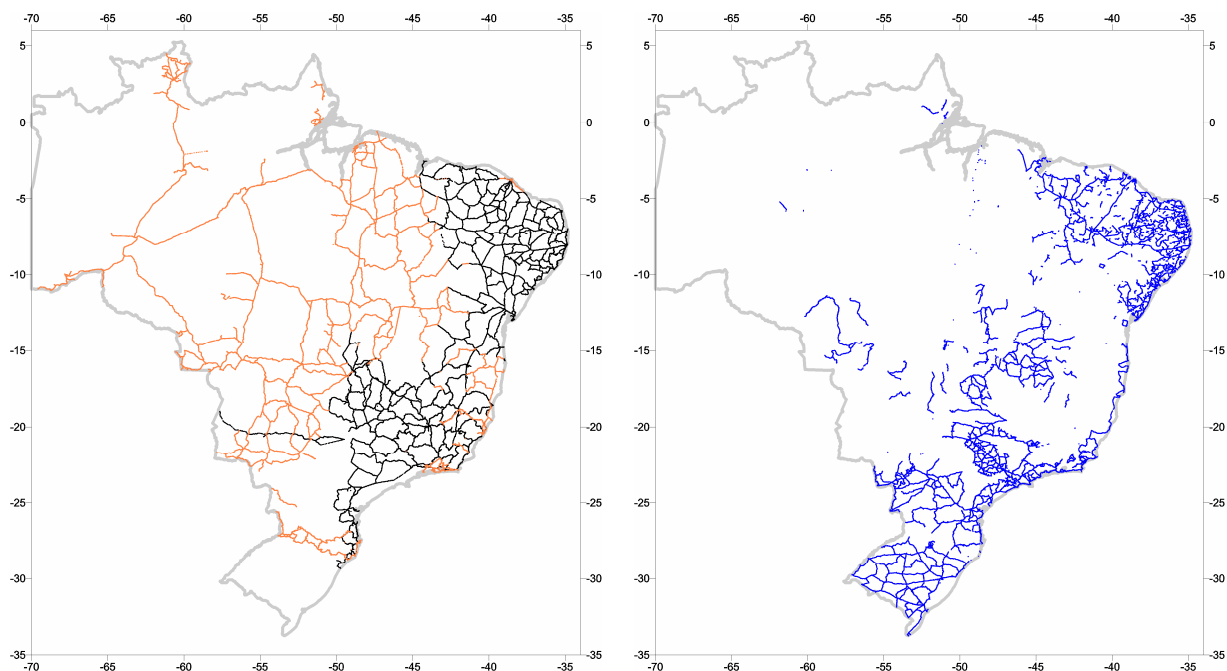


Figura 2 – Evolução temporal da RAAP: (esquerda) RRNN estabelecidas de 1945 a 1969, em preto, e de 1970 a 1980, em laranja ; (direita) RRNN estabelecidas de 1981 a 2005, em azul.

A heterogeneidade temporal tem efeitos de difícil quantificação. A detecção de possíveis movimentos verticais das RRNN da RAAP é prejudicada pelo pequeno número de seções re-niveladas, em consequência da alta taxa de destruição das estações mais antigas. No entanto, a heterogeneidade temporal da RAAP também causou um outro problema – este, de imediata quantificação – na região do DVB-I. A RN 4P, incluída na linha estabelecida em 1980 (Figura 1), foi originalmente determinada em 1946 via RN auxiliar P-4P. O vínculo entre estas duas RRNN não foi considerado na mencionada integração dos nivelamentos das décadas de 1940 e 1980. Tal omissão introduziu um erro de 11,91cm na conexão das linhas novas no Sul do País ao DVB-I. Os efeitos de tal omissão também são discutidos na seção 5.

3.3 Validações recentes

Desde 2005, o IBGE vem trabalhando na validação do AAGP com o sistema GHOST (*Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data*), que contém uma série de programas escritos em Fortran, na década de 1980, pela *Geodetic Survey Division* do Canadá (Pinheiro et al., 2005; Piña et al., 2006a), também empregando MMQ paramétrico (Steeves, 1983). A vantagem da utilização do GHOST está na possibilidade do ajustamento simultâneo de grandes redes geodésicas – no caso da RAAP, aproximadamente 66 mil RRNN.

O sistema GHOST permite o emprego de duas estratégias para o ajustamento de redes geodésicas: (1) para redes de pequeno e médio portes, é suficiente a abordagem tradicional, sem particionamento; (2) no caso de grandes redes, o sistema implementa o chamado particionamento de Helmert, em que a rede é dividida em vários níveis de blocos lógicos, inicialmente ajustados isoladamente. Entre os blocos são estabelecidas estações de junção, responsáveis pela propagação das covariâncias dos ajustamentos isolados, de forma equivalente ao ajustamento de um único bloco (Piña et al., 2006a e 2006b). A Figura 3 mostra os blocos definidos na RAAP.

O sistema GHOST foi utilizado no ajustamento da rede geodésica tridimensional americana (NAD83) e a rede planimétrica brasileira (IBGE, 2005).

Até o presente momento foram ajustadas 36.584 estações das linhas internodais e internas dos macrocircuitos da RAAP. Para tanto, fixou-se apenas a altitude da RN 4X e corrigiu-se o problema da RN 4P, mencionado anteriormente. As diferenças entre as altitudes originais do AAGP e os valores correspondentes do ajustamento com o sistema GHOST variaram de -14,9 cm a +19,7 cm.

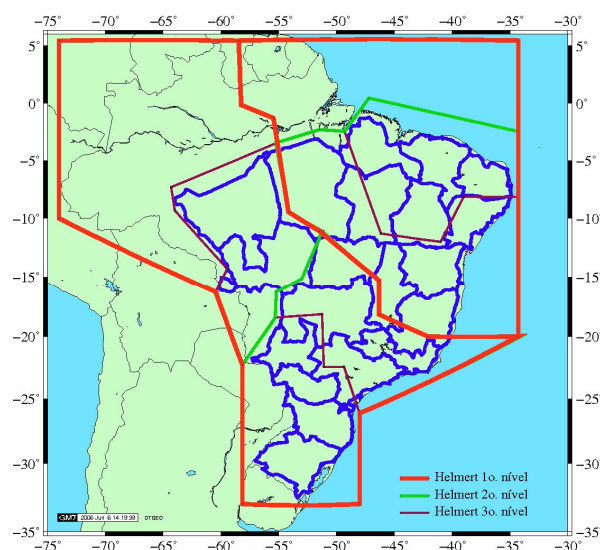


Figura 3 – Divisão da rede de MCs do AAGP em blocos de Helmert (Fonte: Piña et al., 2006b).

4 ANÁLISE QUALITATIVA DA RAAP

4.1 Programa utilizado

Paralelamente aos esforços em andamento no IBGE com o sistema GHOST, encontram-se em desenvolvimento, na UFPR, procedimentos referentes ao refinamento da componente vertical do SGB (Luz et al., 2006; id., 2007, neste Colóquio). Além da integração de informação gravimétrica para cálculo de números geopotenciais e da utilização de dados de altimetria por satélites para avaliar tais procedimentos de integração, estão sendo investigados alguns aspectos da propagação de erros do nivelamento e da gravimetria na RAAP. Estas investigações incluem a análise de estratégias para montagem da rede e ajustamento das diferenças de geopotencial. Para tanto, foi desenvolvido um programa para o ambiente “octave”, cujo objetivo inicial era a realização de um ajustamento livre da RAAP, e que permitiu realizar, posteriormente, as comparações discutidas na seção 5.

Foi utilizada a mesma formulação matemática empregada nos sistemas discutidos anteriormente (AJNIV e GHOST) – MMQ paramétrico. Para obtenção da MVC “livre”, o programa aplica a seguinte transformação das matrizes convencionais (parâmetros X e sua MVC Q):

$$X_i = S X \quad (1)$$

$$Q_i = S Q S^T \quad (2)$$

$$S = I - G^T (G G^T)^{-1} G \quad (3)$$

$$G = (1 \ 1 \dots 1 \ 1) \quad (4)$$

onde X_i e Q_i são as matrizes estendidas, incluindo informações referentes ao ponto fixo (Schmitt, 2007).

4.2 Configurações da RAAP

Para a realização das análises mencionadas a seguir, foi necessário definir conjuntos de dados correspondentes à solução separada e sucessiva de cada um dos problemas apontados anteriormente. Tal cuidado objetivou uma correta quantificação – e posterior eliminação – dos efeitos de tais problemas, tendo como meta final a análise comparativa do AAGP em relação aos ajustamentos históricos.

A caracterização detalhada desses conjuntos de dados é feita na sequência. Antecipadamente, porém, cabe ressaltar que nenhum deles inclui as RRNN intermediárias das linhas internodais, contrariamente ao ajustamento com o GHOST, discutido anteriormente. Desta forma, evita-se a sobrecarga computacional com os parâmetros e observações referentes às RRNN intermediárias. O cálculo das altitudes dessas RRNN é feito posteriormente, com uma simples distribuição do “erro de fechamento” oriundo da diferença entre as altitudes dos respectivos pontos nodais inicial e final – mesmo procedimento empregado nos ajustamentos “históricos”.

5 COMPARAÇÃO ENTRE OS AJUSTAMENTOS

5.1 Influência do particionamento adotado no AAGP

Inicialmente, foi definido um conjunto com todas as linhas internodais do AAGP, sem discriminar entre linhas principais e linhas internas, e sem corrigir o problema na RN 4P. Esta configuração foi denominada LPLI1, e teve como objetivo a avaliação dos efeitos do particionamento adotado no AAGP.

Os resultados do ajustamento LPLI1 são resumidos na Tabela 2, que também indica os valores correspondentes ao ajustamento da rede principal do AAGP, a título de comparação. A variação dos desvios-padrão “livres” das altitudes ajustadas em LPLI1 é apresentada na Figura 4.

Tabela 2 – Resumo dos ajustamentos em discussão

	AAGP	LPLI1	LPLI2
Núm.observações	56	1054	1055
Núm.alt. ajustadas	37	741	742
VTPV (cm ²)	1,88	26,32	27,16
σ_0^2 a posteriori (cm ²)	0,0992	0,0841	0,0868

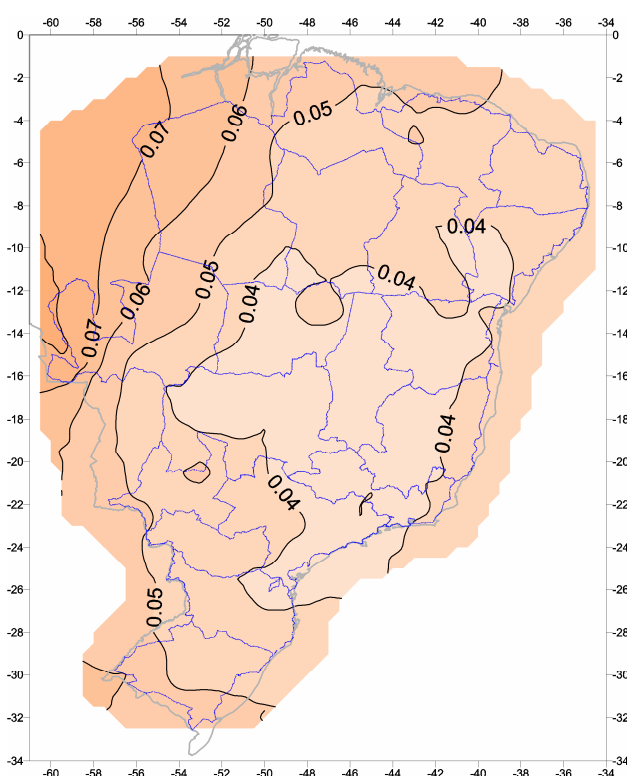


Figura 4 – Desvios-padrão (m) das altitudes ajustadas das RRNN da rede LPLI1.

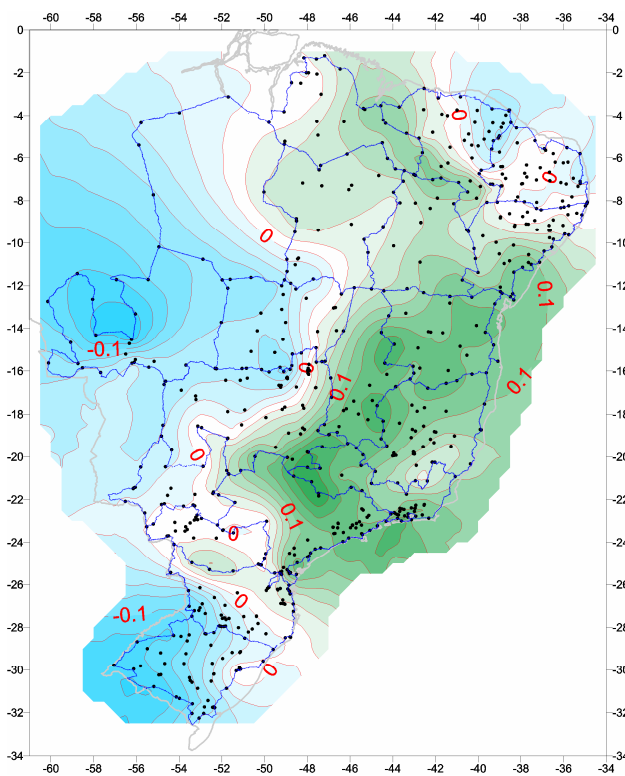


Figura 5 – Diferenças (m) entre as altitudes originais do AAGP (ajustamento particionado) e aquelas obtidas no ajustamento da rede LPLI1.

A Figura 5 apresenta as diferenças entre as altitudes ajustadas de LPLI1 e do AAGP original para todas as RRNN incluídas em LPLI1 – exceto alguns poucos casos com problemas no BDG. Essas diferenças situam-se entre -15,77cm (em torno de 14° S, 57° W) e +18,53cm (22° S, 48° W). Esta última região, por não se situar em extremo da rede, será objeto de estudos mais aprofundados – uma das hipóteses é que a deficiência geométrica da RAAP no oeste do Estado de São Paulo possa ter causado uma anomalia na propagação dos erros na rede.

5.2 Influência da correção do erro na RN 4P

As altitudes obtidas no ajustamento da rede LPLI1 passaram a servir de base para as análises posteriores, considerando-se que as mesmas solucionaram as distorções causadas pelo particionamento utilizado no AAGP.

Para a avaliação dos efeitos do problema na RN 4P, ao conjunto LPLI1 foi acrescentada a ligação entre 4P e P-4P, dando origem à rede LPLI2. Um resumo deste novo ajustamento também é mostrado na Tabela 2.

Na Figura 6 é possível observar que problema na RN 4P teve um efeito de 2,5cm a 3cm na maior parte da RAAP, ao norte do paralelo de 22°. Grande parte da rede no Rio Grande do Sul foi influenciada de 4cm a 5cm. Os efeitos mais severos daquele problema, acima de 7cm, restringiram-se às RRNN na vizinhança sul de Imbituba (das séries 1778 e de 2000 a 2002), denotados pelo forte gradiente de variação dos efeitos na região do DVB-I.

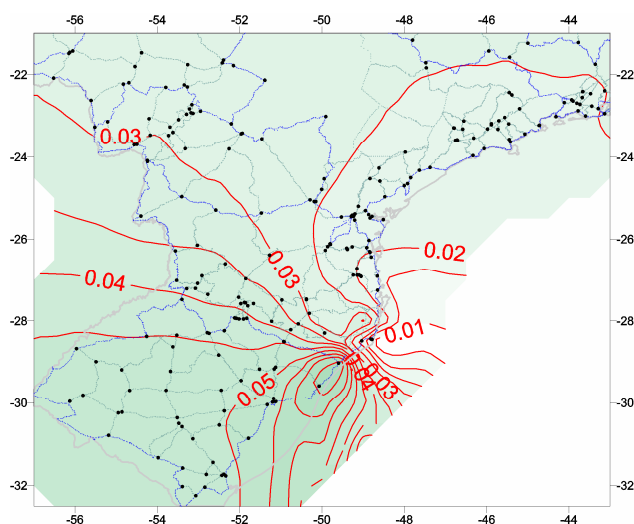


Figura 6 – Diferenças entre as altitudes da rede internodal total do AAGP (LPLI1, incluindo o problema de 12cm na RN 4P) e da rede LPLI2 (em que o problema foi corrigido), observando-se que seus efeitos mais severos restringem-se à vizinhança imediata de Imbituba.

5.3 Próximas análises

Encontra-se em preparação procedimento visando à homogeneização temporal da vinculação da RAAP à rede local materializadora do DVB-I. Também proceder-se-á a um ensaio de homogeneização geométrica, pois certos trechos da RAAP mostram grandes variações nos tamanhos dos circuitos. Esta é uma das hipóteses para a origem das diferenças de mais de 17cm mostradas na Figura 5.

Os objetivos finais, contudo, são: a estimativa dos efeitos da incorporação de dados de gravidade ao cálculo das altitudes da RAAP, como subsídio à avaliação dos impactos da adoção dos diversos tipos de altitudes físicas (ortométricas, normais etc); e a aquisição de conhecimento a respeito da propagação de erros na RAAP.

6 CONCLUSÕES

Foram determinados os efeitos do particionamento adotado no último ajustamento da RAAP (AAGP) e do problema detectado na vinculação das linhas novas e antigas, via RN 4P, na região do DVB-I. O efeito conjunto destes dois eventos pode ser também apreciado na Figura 7, em que se apresentam as diferenças entre o nível médio do mar local em vários marégrafos e as respectivas altitudes referidas ao DVB-I.

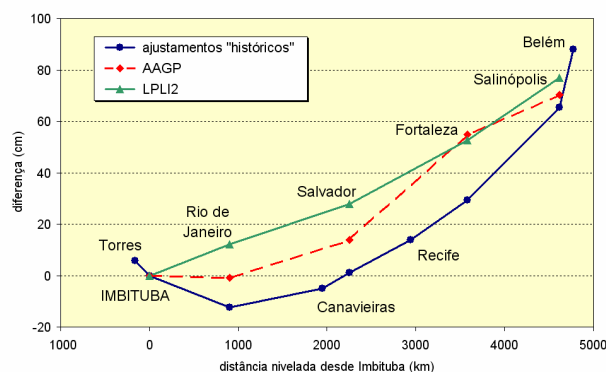


Figura 7 – Diferenças entre altitudes referidas a Imbituba, para os vários ajustamentos discutidos neste estudo, e referidas ao NMM local em alguns marégrafos ao longo da costa brasileira (adaptado de Luz & Guimarães, 2003).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Processos 140.084/2004-5, 303.942/2005-3 e 479.838/2006-2) e à CAPES/DAAD (PROBRAL 228/06), pelo suporte financeiro; ao IBGE, pela licença de doutoramento concedida a RTL; e ao Instituto Alemão de Pesquisas Geodésicas (DGFI) e ao Instituto de Geodésia da Universidade de Karlsruhe (GIK/UniKA, Alemanha), pelo suporte científico.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, J. C. M. **Sistema Nacional de Nivelamento de 1ª Ordem**. Conferência Nacional de Geociências, 1968. Rio de Janeiro: IBGE,. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtm>. Acesso em: 14 nov. 2006.
- ALENCAR, J. C. M. Datum Altimétrico Brasileiro. **Cadernos de Geociências**, v. 5, p. 69-73, Rio de Janeiro: IBGE, 1990. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtm>. Acesso em: 14 nov. 2006.
- BESERRA, H. **Ajustamento da Rede de Nivelamento**. Publicação no. 11 da série B da Biblioteca Geográfica Brasileira. 1952, Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtm>. Acesso em: 14 nov. 2006.
- IBGE. **Relatório do Ajustamento da Rede Planimétrica do IBGE**. 2005. Disponível em : ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL_sad69.pdf. Acess.04mai2007.
- LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. **Realidade e Perspectivas da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro**. In: Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (CBCG), 2., 2001, Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR, 2001. CD-ROM. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtm>. Acesso em: 14 nov. 2006.
- LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R. **Acompanhamento do Datum Altimétrico IMBITUBA através das Redes Altimétrica e Maregráfica do Sistema Geodésico Brasileiro**. VII Congresso Internacional de Ciencias de la Tierra, Santiago: IGM, 2002. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtm>. Acesso 14nov2006.
- LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. **Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE**. In: Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (CBCG), 3., 2003, Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR, 2003. CD-ROM. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtm>. Acesso:14nov2006.
- LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R.; MIRANDA, Fr. A. ; PALMEIRO, A. S.; SALUSTIANO, S. C. **Possibilidades de Integração de Dados Gravimétricos à Rede Altimétrica do SGB para Cálculo de Altitudes SIRGAS no Brasil**. Série em Ciências Geodésicas, v. 4, p. 42-58, Curitiba: UFPR, 2004. Disponível em: <<http://www.geoc.ufpr.br/~cbcg/SCG4/p042-58.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2006.
- LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R.; BAEZ, J. C.; PALMEIRO, A. S. **Tests on Integrating Gravity and Leveling to Realize SIRGAS Vertical Reference System in Brazil**. IAG Series, v. 130 (Dynamic Planet), p. 646-652, Berlin: Springer, 2006.
- LUZ, R. T.; BOSCH, W.; FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R.; HECK, B. **Coastal satellite altimetry data and the evaluation of Brazilian vertical reference system and frame**. 2007. Submitted to this Colloquium.
- MATTOS, A. H. **Ajustamento Preliminar de uma Rede de Nivelamento**. Publicação no. 7 da série B da Biblioteca Geográfica Brasileira. 1948, Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia.
- PINHEIRO, R. R.; PIÑA, W. H. S.; DIMAIO PEREIRA, N. R.; SANTOS, C. C. C., CARVALHO, V. G. **Reajustamento Global da Rede Altimétrica de Alta Precisão – RAAP do SGB, utilizando o Sistema GHOST**. Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, Macaé – RJ, 2005.
- PIÑA, W. H. S.; PINHEIRO, R. R.; DIMAIO PEREIRA, N. R.; SANTOS, C. C. C.; GOLDANI, D. **Reajustamento Global da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Brasil – RAAP**. 2º Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais – CONFEGE, Rio de Janeiro, RJ, 2006a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtm>.
- PIÑA, W. H. S.; PINHEIRO, R. R.; DIMAIO PEREIRA, N. R.; SANTOS, C. C. C.; GOLDANI, D. **Reajustamento da Rede Altimétrica de Alta Precisão – RAAP do Brasil, utilizando o software GHOST**. Apresentação no Simpósio Internacional de Sistemas Altimétricos, Gravidade e Geóide na América do Sul, 25 de setembro de 2006, Buenos Aires, Argentina, 2006b.
- RIBEIRO, G. P. **Ajustamento Altimétrico desenvolvido através do Método das Equações de Observação e com Análise Estatística dos Resultados**. 1989. Dissertação (M.Sc.), CPGCG/UFPR, Curitiba.
- RIBEIRO, G. P.; LOBIANCO, M. C. B.; LUZ, R. T. **Crítica e Análise dos Dados Iniciais Relativos à Preparação para o Ajustamento de Redes de Nivelamento de Alta Precisão**. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, v. 1, p. 215-218, Gramado: SBC, 1989. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtm>. Acesso em: 14 nov. 2006.
- RIBEIRO, G. P.; LUZ, R. T. **Resultados Preliminares do Ajustamento Global da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro**. Anais do XV Congresso Brasileiro de Cartografia, v. 1, p. 155-162, São Paulo: SBC, 1991. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtm>. Acesso em: 14 nov. 2006.
- SCHMITT, G. **Selected Topics of Adjustment Computations**. Notas de Aula, UFPR. 2007.
- STEEVES, R. **Mathematical models for use in the readjustment of the North American geodetic networks**, Technical Report 1, GSD, Canada, 33 p. 1983.