

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

**AJUSTAMENTO SIMULTÂNEO
DA REDE ALTIMÉTRICA DE ALTA
PRECISÃO DO SISTEMA GEODÉSICO
BRASILEIRO**

RELATÓRIO

Rio de Janeiro
2011

Apresentação

Este relatório descreve os procedimentos referentes ao novo ajustamento da Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro realizado a partir de uma nova metodologia que consiste no processamento simultâneo das mais de 74000 observações de diferenças de nível coletadas no país desde 1945. Esse novo ajustamento, executado pela Coordenação de Geodésia da Diretoria de Geociências durante os últimos seis anos, gerou novos valores de altitudes, consistentes em todo o território nacional, com suas respectivas estimativas de precisão, para as 69590 referências de nível que compõem a Rede Altimétrica Brasileira

Luiz Paulo Souto Fortes
Diretor de Geociências

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. HISTÓRICO DA REDE ALTIMÉTRICA DE ALTA PRECISÃO DO SGB	7
2.1 MEDIÇÕES	8
2.2 AJUSTAMENTOS ANTERIORES DA REDE ALTIMÉTRICA DE	10
3. DADOS E PROGRAMAS COMPUTACIONAIS	13
3.1 DADOS PRIMÁRIOS	13
3.2 COORDENADAS PLANIMÉTRICAS	14
3.3 DESCRITIVOS DAS RRNN	14
3.4 SISTEMA GHOST	15
4. ETAPAS DO TRABALHO	16
4.1 ETAPA 1 (2005 A 2007).....	17
4.1.1 <i>Ajustamento em 2005</i>	17
4.1.2 <i>Ajustamento em 2006</i>	23
4.2 ETAPA 2 (DE 2007 ATÉ 2010) – AJUSTAMENTO DA REDE ALTIMÉTRICA.....	25
4.2.1 <i>Preparação dos dados para ajustamento em GHOST</i>	26
4.2.2 <i>Processamento em GHOST</i>	31
4.3 ETAPA 3 (2010 E 2011).....	39
4.3.1 <i>Verificação de inconsistências através de medições em campo</i>	39
5. RESULTADOS FINAIS	45
5.1 TESTE QUI-QUADRADO NA VARIÂNCIA A <i>POSTERIORI</i>	45
5.2 TESTE NOS RESÍDUOS ESTIMADOS	46
5.3 ANÁLISE DO DESVIO PADRÃO DAS ESTAÇÕES AJUSTADAS E RESÍDUOS DOS DESNÍVEIS ENTRE AS ESTAÇÕES	48
5.4 COMPARAÇÃO DAS ALTITUDES BDG 2011 x <i>GHOST</i> 2011.....	51
6. TRABALHOS APRESENTADOS E EVENTOS REALIZADOS DURANTE O PROCESSO DE AJUSTAMENTO DA REDE ALTIMÉTRICA	53
7. CONCLUSÕES , RECOMENDAÇÕES E AÇÕES FUTURAS	57
8. REFERÊNCIAS	59

LISTA DE SIGLAS

AAGP – Ajustamento Altimétrico Global Preliminar
AGU – American Geophysical Union
BDG - Banco de Dados Geodésicos
BDSGB – Projeto Banco de Dados Geodésicos
CBC – Congresso Brasileiro de Cartografia
CGED – Coordenação de Geodésia
CONFEGE – Conferência Nacional de Geografia e Cartografia
CRITCOOR – Sistema para Crítica de Coordenadas
DALTI – Projeto Densificação Altimétrica do SGB
DC – Divisão de Cartografia
DGRAV – Projeto Densificação Gravimétrica
DGC – Diretoria de Geociências
DP – Desvio Padrão
GHOST – Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data
GPS – Global Positioning System
GT – III /SIRGAS - Grupo de Trabalho três do SIRGAS
IAG – International Association of Geodesy
IAGS – Inter – American Geodetic Survey
IGG – Instituto Geográfico e Geológico
IME – Instituto Militar de Engenharia
IPGH – Instituto Panamericano de Geografia e Historia
LI – Linha Interna
LLII – Linhas Internas
LLPP – Linhas Principais
LP – Linha Principal
MC – Macrocircuito
MMCC – Macro circuitos
MMQ – Método dos Mínimos Quadrados
MVC – Matriz Variância e Covariância
RAAP – Rede Altimétrica de Alta Precisão
RMPG – Rede Maregráfica Permanente para Geodésia
RN – Referência de Nível
RRNN – Referências de Nível
SGB – Sistema Geodésico Brasileiro
SIDGeo – Sistema de Inserção de Dados Geodésicos
SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SNi – Seção de Nivelamento
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UNESP – Universidade Estadual Paulista
USP – Universidade de São Paulo

1. INTRODUÇÃO

Como os demais tipos de coordenadas geodésicas, as altitudes normais-ortométricas das Referências de Nível (RRNN) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) são periodicamente recalculadas, em função da incorporação de novas observações, correção de inconsistências, e utilização de novas técnicas de observação e cálculo. Este é o caso do ajustamento ora apresentado, resultado do esforço de seis anos da equipe do Projeto Densificação Altimétrica (DALTI) da Coordenação de Geodésia (CGED) do IBGE.

Desde o início da década de 1990, as observações da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do SGB não passavam por um processo homogêneo de ajustamento. Além disso, o último cálculo, denominado Ajustamento Altimétrico Global Preliminar (AAGP), foi realizado de forma a particionar a Rede Altimétrica em vários macrocircuitos (MMCC), ajustados independentemente. Outro fator importante é que existia um significativo número de estações não incluídas no AAGP, com altitudes classificadas como “preliminares” no Banco de Dados Geodésicos (BDG).

Todos esses fatos justificaram a decisão de, em 2005, iniciar um novo reajustamento, mas, desta vez, de forma simultânea, isto é, com todos os dados processados em um único sistema de equações. Para tanto, foi utilizado o *software* canadense denominado **GHOST** (*Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data*), que permite o ajustamento simultâneo de grandes redes geodésicas.

O processo de organização e preparação de todos os dados da RAAP, tanto de observações quanto de memorial descritivo, demandou o desenvolvimento de programas computacionais específicos para crítica dos dados, por meio dos quais foram identificadas e corrigidas diversas inconsistências.

Na continuação deste relatório, descrevemos todos os procedimentos (programas de análises e críticas, processamentos, análises de resultados, comparação dos resultados com o último ajustamento, etc.), além de recomendações e ações futuras.

2. HISTÓRICO DA REDE ALTIMÉTRICA DE ALTA PRECISÃO DO SGB

Apresenta-se um resumo das informações mais relevantes para a contextualização do novo ajustamento. Uma apresentação mais detalhada pode ser encontrada nos diversos

documentos que descrevem o desenvolvimento da própria RAAP: Matto948; Beserra, 1948, 1952; Alencar, 1968, 1990; IBGE, 1983, 1991; Ribeiro, Luz, 1991; Luz, Guimarães, 2001.

2.1 Medições

Em outubro de 1945, iniciaram-se os levantamentos por Nivelamento Geométrico de Alta Precisão do IBGE, realizados pela Seção de Nivelamento (SNI) da Divisão de Cartografia (DC) e culminando no surgimento da Rede Altimétrica do SGB, onde, no município de Urussanga, Santa Catarina, localiza-se a Referência de Nível RN 1 A (Alencar, 1968).

Em dezembro de 1946, a Rede Altimétrica foi conectada à Estação Maregráfica de Torres, no Rio Grande do Sul, permitindo, então, o cálculo das altitudes das RRNN já implantadas, dotando o Brasil de uma estrutura altimétrica fundamental destinada ao apoio de mapeamento e suporte às grandes obras de engenharia, tais como barragens, pontes, viadutos, rodovias, saneamento básico etc.

Em 1958, quando a Rede Altimétrica contava com aproximadamente 30.000 km de linhas de nivelamento, houve a substituição do Datum Torres pelo Datum Imbituba, definido pela Estação Maregráfica de Imbituba, localizada no município de mesmo nome, no estado de Santa Catarina. Tal substituição implicou na definição mais consistente do nível médio do mar como origem das altitudes da Rede Altimétrica, pois o marégrafo de Imbituba contava com nove anos de observações de variação do nível do mar, enquanto que Torres contava apenas com um ano de observações (Alencar, 1990).

Grande parte da Rede Altimétrica está conectada ao *Datum* Imbituba mas, devido à impossibilidade de estabelecimento de RRNN no entorno do baixo Rio Amazonas, a pequena porção da Rede Altimétrica existente no estado do Amapá (Figura 01) não pôde ser conectada a Imbituba, levando à utilização do nível médio do mar no Porto de Santana entre 1957 e 1958, originando o *Datum* Santana (Luz, Guimarães, 2001).

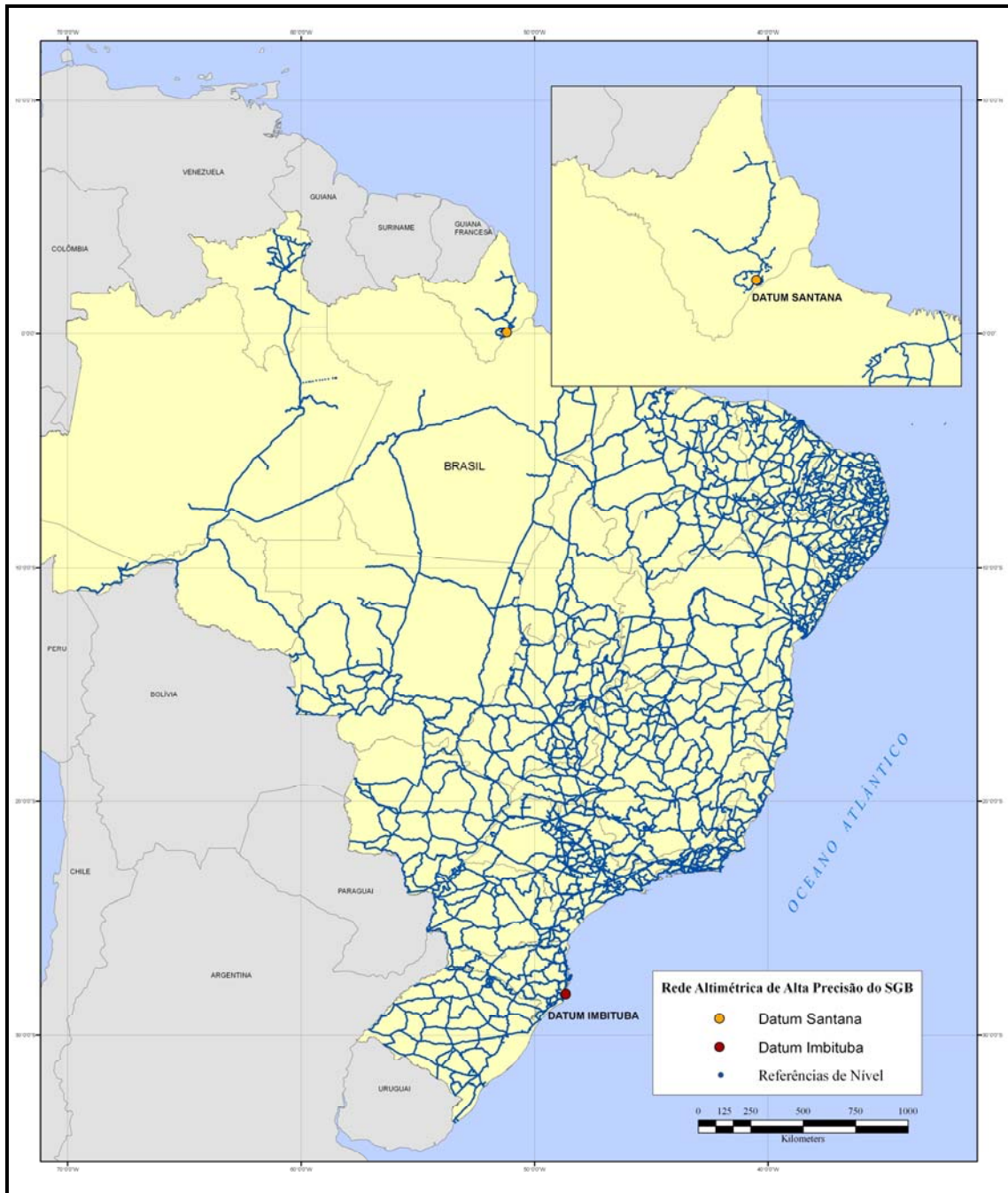


Figura 01: Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro

2.2 Ajustamentos anteriores da Rede Altimétrica de Alta Precisão - RAAP

Entre os anos de 1945 e 1975, foram realizados oito ajustamentos da RAAP (1948, 1952, 1959, 1962, 1963, 1966, 1970, e 1975, Figura 02), sendo que apenas os três primeiros consideraram simultaneamente todas as estações da rede (Alencar, 1968). A partir do 4º ajustamento, devido à grande quantidade de dados, foram ajustados apenas os blocos constituídos pelas linhas novas, à época, tomando como referência as estações cujas altitudes haviam sido calculadas nos blocos anteriores, caracterizando o conjunto como um ajustamento particionado.

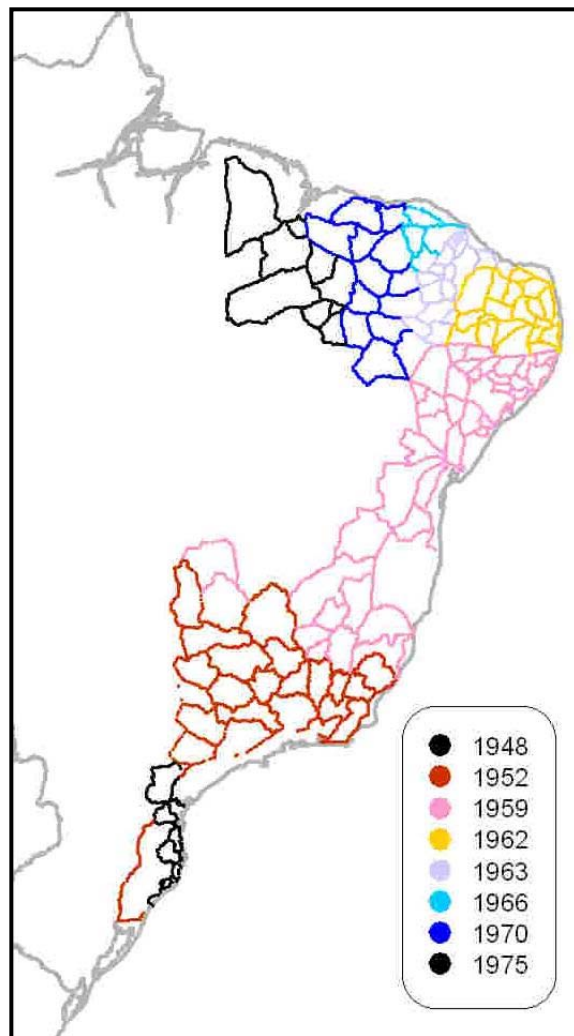


Figura 02: Evolução dos ajustamentos de 1948 até 1975.

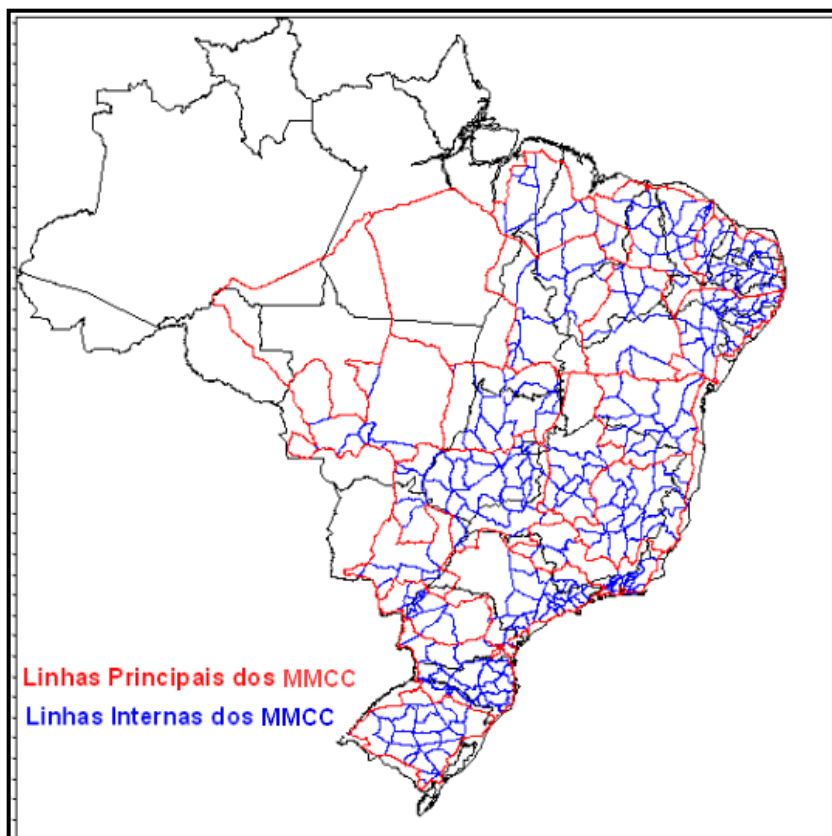
Fonte: Luz et al., 2002

Em 1988, iniciou-se um reajustamento com nova divisão da rede, desta vez em forma de sub-redes de MMCC formados por linhas principais e internas (Figura 03), de acordo com as seguintes etapas (IBGE, 1991):

1. Crítica da rede com análise de fechamentos de circuitos e linhas de nivelamento;
2. Estudo de viabilidade de aplicação de correções aos erros sistemáticos (correção ortométrica, correção astronômica e correção de refração atmosférica);
3. Geração de um conjunto homogêneo de altitudes ajustadas de referências de nível com o emprego de um método eficiente de ajustamento;
4. Identificação de áreas problemáticas; e
5. Avaliação geral dos circuitos de nivelamento com montagem de “croquis”.

A finalidade da nova divisão da rede era, basicamente, evitar que a propagação de erros causasse distorções excessivas na rede, além de contornar as limitações do programa computacional utilizado para o ajustamento, na época. O particionamento considerado no Ajustamento Altimétrico Global Preliminar (AAGP) implicou na definição de uma “rede principal”, constituída por 38 estações nodais interligadas por 56 “linhas principais”, incluindo a estação 4X, conectada ao marégrafo de Imbituba.

Figura 03: linhas principais e internas dos MMCC



A RN 4X foi estabelecida pelo IBGE em 1946, e incluída na rede de controle local do marégrafo até 1952, quando os relatórios de inspeção do *IAGS (Inter American Geodetic Survey)* relataram a sua destruição (Luz et al., 2007). No entanto, esta RN foi reconstruída posteriormente, e os nivelamentos do IAGS também registraram sua nova posição.

A data de referência de cálculo do AAGP no BDG é 01/12/1992, totalizando, aproximadamente, 43079 RRNN. Desde então, somente foram realizados ajustamentos isolados, isto é, foram ajustadas linhas por linhas, oriundas de medições posteriores ao AAGP ou nele não incluídas por motivos diversos, além da incorporação das altitudes de RRNN provenientes de ramais (linhas de nivelamento que não formam circuito, cujos desníveis, portanto, não podem ser ajustados), totalizando 11527 RRNN até 2004, reforçando a justificativa para um novo ajustamento da Rede. A Figura 4 apresenta a distribuição das estações ajustadas até 1992 e de 1993 até 2004.

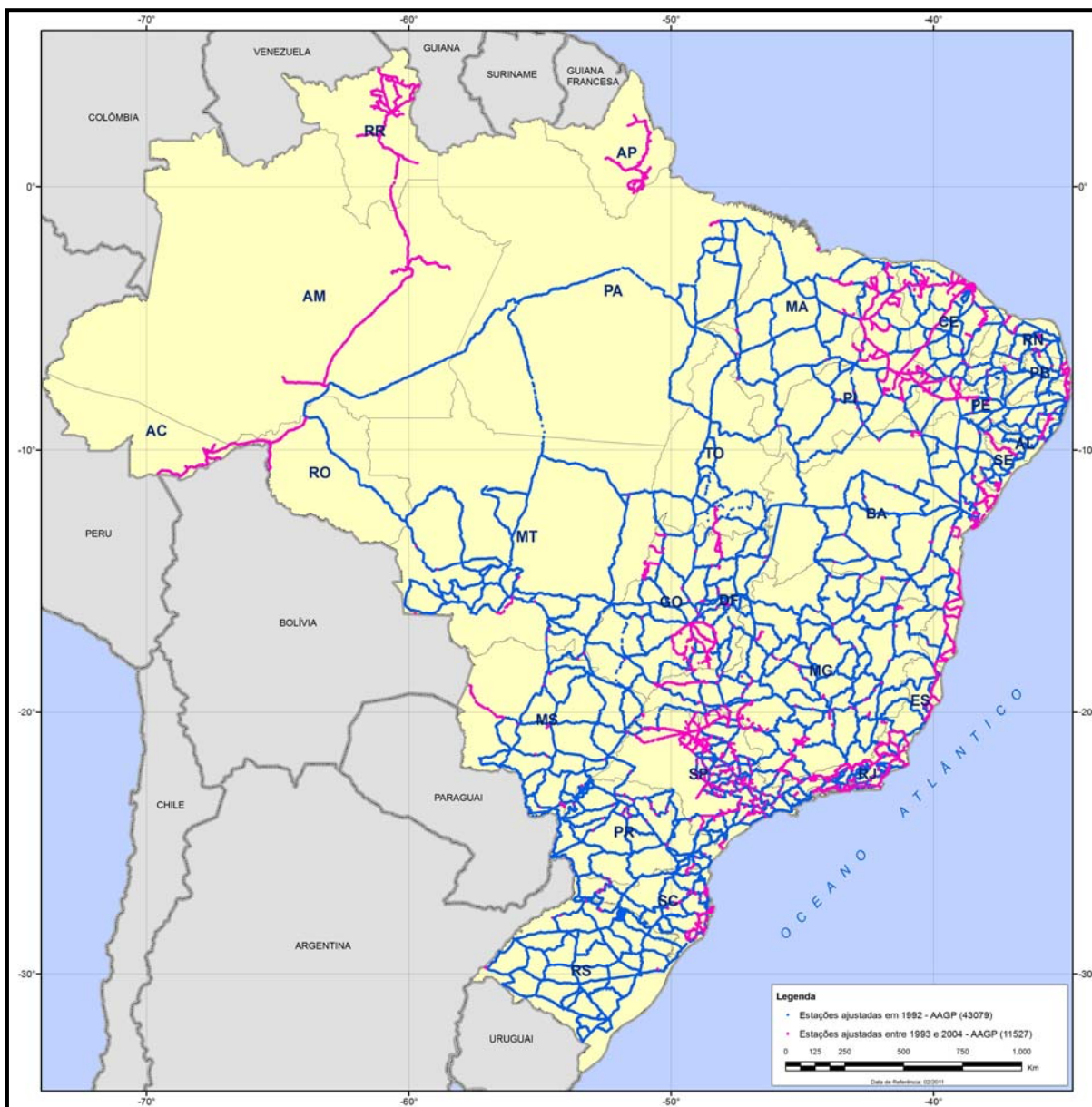


Figura 04: Estações ajustadas no AAGP (1991-1992) e entre 1992 e 2004.

3. DADOS E PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

3.1 Dados Primários

Arquivos de Dados Primários são aqueles compostos por informações de nivelamento derivadas do tratamento das cadernetas de anotação das leituras oriundas de levantamentos de campo, realizados pelo método clássico de nivelamento geométrico de alta precisão, tais como os

duplos desníveis entre as estações niveladas (nivelamento/contra-nivelamento), as datas do levantamento e as distâncias niveladas.

A organização dos arquivos de dados primários foi realizada a partir da busca dos arquivos de todas as linhas medidas. A medição dessas linhas é realizada pelas unidades de levantamentos altimétricos do IBGE (Goiânia, Brasília, Salvador, Fortaleza e Rio de Janeiro). Esses dados são enviados para o Projeto de Densificação Altimétrica (DALTI) do SGB, onde são realizados os cálculos de ajustamento.

Na primeira etapa dos ajustamentos (seção 4.1), foram utilizados os mesmos arquivos preparados originalmente para o AAGP, a partir dos arquivos de dados primários.

3.2 Coordenadas Planimétricas

Até meados da década de 1990, as coordenadas planimétricas das RRNN eram obtidas, principalmente, mediante extração de cartas topográficas nas escalas 1:50.000 e 1:100.000. Para tanto, a provável posição de cada RN era alcançada ora por meio da identificação de localidades ou feições notáveis (igrejas pontes etc), ora via lançamento com auxílio das distâncias percorridas desde o último ponto notável.

Algumas RRNN antigas tiveram suas coordenadas estimadas a partir de outras fontes (cartas 1:250.000, métodos fotogramétricos etc).

A partir de meados da década de 1990, as coordenadas das RRNN implantadas ou visitadas passaram a ser determinadas com navegadores GPS, aprimorando significativamente sua precisão.

3.3 Descritivos das RRNN

O relatório das estações geodésicas, disponibilizado na página do IBGE na internet a partir do conteúdo do BDG, contém, além das coordenadas, o memorial descritivo, isto é, data da última visita, localização, descrição, foto, estado de conservação, datas de medição e de cálculo, conexão com outras estações geodésicas etc. Correspondem a informações essenciais para sua adequada utilização por parte dos usuários, justificando-se a inclusão das informações do memorial descritivo no processo de revisão para o novo ajustamento da RAAP.

3.4 Sistema GHOST

O sistema *GHOST* (*Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data*) consiste de uma série de programas computacionais desenvolvidos pela *Geodetic Survey Division (GSD)* do *Natural Resources Canada (NRCan)*, com a finalidade de ajustar redes geodésicas tridimensionais (Beattie, 1987). O modelo matemático permite a combinação de observações geodésicas clássicas, como direções, distâncias, azimutes e diferenças de nível, assim como as observações por meio das tecnologias por satélites (Steeves, 1983). Para tanto, o sistema requer uma definição inicial de coordenadas em termos de latitude, longitude e altitude aproximadas.

O sistema *GHOST* possibilita o ajustamento de redes geodésicas através de dois métodos diferentes:

- **Método padrão:** para redes de porte médio e menores, até, aproximadamente, 15000 observações, como, por exemplo, o ajustamento das linhas principais dos MMCC, onde não é necessária a decomposição em blocos;
- **Divisão por blocos de Helmert:** para grandes redes, como, por exemplo, o ajustamento com todas as observações da RAAP.

As bases conceituais do método de *Helmert Blocking* foram desenvolvidas por Helmert no final do século XIX, porém sua aplicação prática tornou-se viável somente após a expansão e consolidação do uso científico de computadores, na década de 1970 (Beattie, 1987). A técnica consiste em dividir o ajustamento de grande escala em vários blocos menores, evitando grandes esforços computacionais para a manipulação, transferência e armazenamento de sistemas matriciais superdimensionados.

O processo de divisão da rede começa numa série de sub-redes ou blocos. Cada bloco de nível superior ou “*parent*” é dividido em dois sub-blocos de nível inferior, “*sibling*”, de acordo com as coordenadas de um polígono definido previamente, e assim sucessivamente até chegar ao último nível (Figura 05).

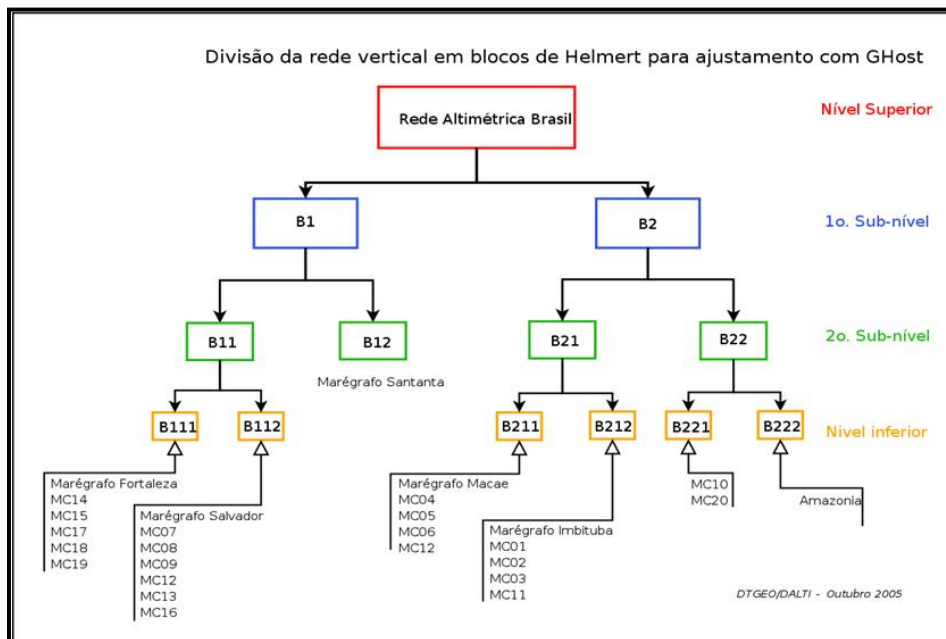


Figura 05: Processo de divisão da Rede Altimétrica

O sistema *GHOST* já foi usado para o ajustamento de grandes redes geodésicas tridimensionais, como por exemplo, a Rede Geodésica Norte-Americana em 1983 (NAD83) e a Rede Planimétrica Brasileira (1996 e 2005). Foi utilizado também no cálculo de redes unidimensionais, como por exemplo, a Rede Gravimétrica do Uruguai (Subiza e Sousa, 2001).

Como vantagem no ajustamento simultâneo com todas as observações, temos a produção de um único conjunto de coordenadas para toda a rede, o que permite recuperar o desvio padrão de cada estação.

4. ETAPAS DO TRABALHO

As atividades desenvolvidas no âmbito do novo ajustamento da RAAP com o sistema *GHOST* podem ser divididas em três etapas:

- 1ª Ajustamento das linhas principais e internas utilizando a mesma divisão de MMCC realizada no AAGP, para avaliação e validação da metodologia. Essa etapa ocorreu de 2005 até o primeiro semestre de 2007;
- 2ª Ajustamento simultâneo da RAAP, fixando as estações 4X (origem do *Datum* Imbituba) e 9329T (origem do *Datum* Santana). Essa etapa se estendeu de julho de 2007 até o primeiro trimestre de 2010, com a realização de atividades desde a organização dos dados até a formatação dos arquivos para o ajustamento da rede propriamente dito; e

3ª Ajustamento final da RAAP, com correções de inconsistências encontradas nas etapas anteriores, tendo sido necessário, em alguns casos, realizar campanhas de verificação em campo utilizando as metodologias de nivelamento geométrico e medições com GPS. Além disso, foram incluídas observações de novas linhas até outubro de 2010.

4.1 Etapa 1 (2005 a 2007)

4.1.1 Ajustamento em 2005

No ajustamento em 2005, não foi necessária a divisão dos dados em blocos de Helmert, pois foram ajustadas somente as RRNN das linhas principais (LLPP) do AAGP (aprox. 15000 RRNN). Entretanto, considerando que ainda seria necessário realizar o ajustamento da toda a rede, foi realizada a divisão por blocos de Helmert (Figura 06). Os critérios para a divisão da rede altimétrica do Brasil foram:

- ✓ Quantidade equilibrada de estações em todos os blocos e sub-blocos;
- ✓ Definição de blocos separados para cada estação da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG); e
- ✓ Considerações especiais para a rede do *Datum* Santana.

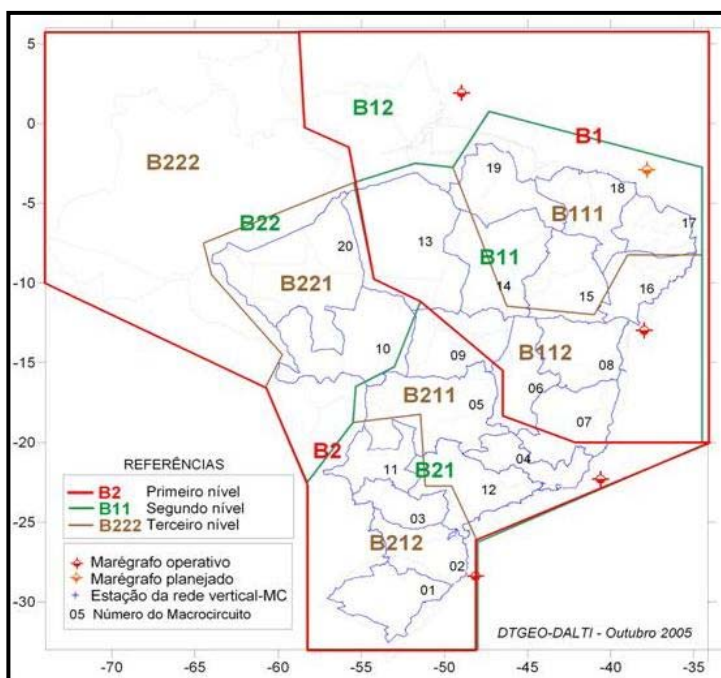


Figura 06: Divisão de blocos de Helmert com os MMCC

Apesar dos dados terem sido divididos em blocos para o ajustamento, este foi realizado com o método padrão. Desta forma, a principal diferença entre este ajustamento e o AAGP foi o processamento de todas as observações num único arquivo, possibilitando o ajustamento simultâneo de todas as estações.

Para validação da metodologia, foi mantida a nomenclatura, a distribuição espacial e os valores de desníveis correspondentes ao AAGP, para que os dois resultados pudessem ser comparados entre si.

Os dados foram organizados de modo a formar 20 MMCC, compostos das linhas principais 01 até 57, realizando o ajustamento da seguinte maneira:

✓ Para o ajustamento da rede principal, foram utilizadas as estações nodais de conexão de linhas, incluídas nas linhas principais 01 até 57, gerando um arquivo com os desníveis internodais denominado Rede Primária (Figura 07), destacando a posição da estação fundamental de partida 4X;

- ✓ Preparação e controle de qualidade das linhas principais de nivelamento;
- ✓ Preparação e controle de qualidade dos macrocircuitos;
- ✓ Ajustamento simultâneo de aprox. 15000 estações; e
- ✓ Análise dos resultados.

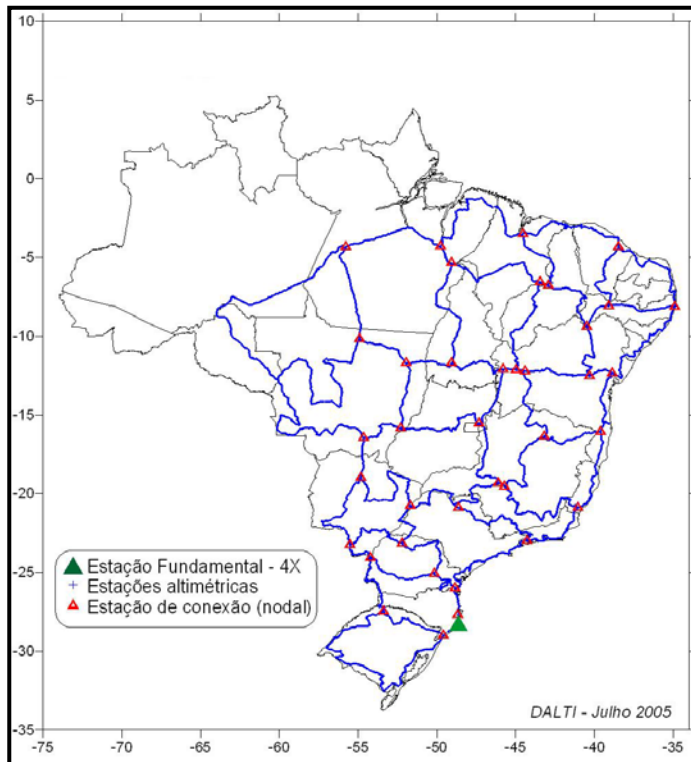


Figura 07: Rede primária contendo os nodais dos MMCC.

Cada linha de nivelamento foi montada a partir de dois arquivos: o mesmo utilizado no AAGP, contendo os códigos e a latitude das estações, o desnível, a distância em km e a correção do não paralelismo das equipotenciais, referentes a cada seção (Figura 08); e o outro contendo os códigos das estações e suas respectivas coordenadas aproximadas (latitude e longitude em SIRGAS2000) e altitude ajustada no AAGP, referida ao *Datum* Imbituba, conforme Figura 09.

3236F - 9.13	3236G - 9.12	16.7062	2.89	-4.80
3236G - 9.12	3236H - 9.11	-10.0381	3.07	-1.00
3236H - 9.11	3236J - 9.10	10.2984	3.00	4.30
3236J - 9.10	3236L - 9.08	9.7720	3.20	2.00
3236L - 9.08	3236M - 9.07	1.6403	3.01	-.60
3236M - 9.07	3236N - 9.06	3.3038	3.13	.30
3236N - 9.06	3236P - 9.05	9.2333	2.99	2.60
3236P - 9.05	3236R - 9.03	-1.4185	3.12	1.40
3236R - 9.03	3236S - 9.02	-5.9377	2.84	.90
3236S - 9.02	3236T - 9.01	-11.5509	3.00	-1.80
3236T - 9.01	3236U - 9.00	17.9115	2.90	-3.00

Figura 08: Exemplo de arquivo de observações de desníveis.

1E *	OU	1	92029	A-2825	20004856	2000
1F *	OU	1	63613	A-2827	20004858	2000
1G *	OU	1	92224	A-2829	200049	2 2000
1H *	OU	1	149366	A-2826	200049	1 2000
1I *	OU	1	77019	A-2823	200049	1 2000
1J *	OU	1	124536	A-2821	200049	2 2000
1K *	OU	1	132215	A-2820	200049	2 2000
1L *	OU	1	263600	A-2820	200049	5 2000
1M *	OU	1	951437	A-2818	200049	6 2000
1N *	OU	1	871622	A-2816	200049	8 2000
1O *	OU	1	585449	A-2817	20004910	2000

Figura 09: Exemplo de arquivo de coordenadas iniciais.

O arquivo de desníveis foi submetido previamente a uma crítica para identificação e correção de inconsistências na codificação das estações, descontinuidades da sequência de seções, etc.

A escolha da variância de peso *a priori* é uma questão arbitrária e não influi no vetor das incógnitas (Gemael, 1994 7.6), tendo sido escolhido $2,5 \text{ mm } \sqrt{k}$, sendo k a distância nivelada, em km, como valor *a priori* para o desvio padrão individual dos valores observados. Esta fórmula levou em consideração tanto a dependência da distância nos erros do nivelamento, como um valor aproximado do erro esperado por km de cada seção e mostrou-se adequada na maioria dos casos.

Todos os desníveis foram corrigidos do efeito sistemático do não paralelismo das equipotenciais, ocasionado pela falta de combinação de observações de gravidade com nivelamento e o uso de altitudes denominadas científicas (Heiskanen, 1985). Para isto, foi utilizada a fórmula 01 simplificada mencionada em (Ribeiro, 1989), a saber:

$$C_o = - \frac{H_m (C_1 \text{ sen } 2\varphi_m + 2C_2 \text{ sen } 4\varphi_m) \Delta\varphi}{(1 + C_1 \text{ sen}^2 \varphi_m + C_2 \text{ sen}^2 2\varphi_m)} \quad (01)$$

onde:

H_m = altitude média da seção de nivelamento considerada

φ_m = latitude média da seção

$\Delta\varphi$ = diferença de latitudes entre os extremos da seção

C_1 e C_2 = coeficientes do campo de gravidade normal, sendo para o sistema geodésico de referência GRS80, os valores:

$C_1 = 0,0053023655$ e

$C_2 = -0,0000059$

A correção do não paralelismo das equipotenciais permitiu reduzir aproximadamente em 2 cm o desvio padrão final das estações.

Estatísticas do arquivo de entrada:

Estações de ajustamento	14569
Estações fixas	38
Desníveis	14588
Equações normais	14530
Graus de liberdade do ajuste	58

O fator de variância *a posteriori* foi de 0,85, o que, aliado à análise dos resíduos dos desníveis ajustados, indicou que o desvio-padrão *a priori* foi adequado.

Os desvios padrão das altitudes ajustadas das estações são representados na Figura 10.

A Figura 11 apresenta a distribuição espacial dos resultados em termos do desvio padrão obtido (DP).

Após esse ajustamento, foi realizada uma comparação entre suas altitudes e as do AAGP. A Figura 12 mostra que onde 87% da rede está com diferenças abaixo de 1 cm (azul), e 12% entre 1 e 15 cm (vermelho).

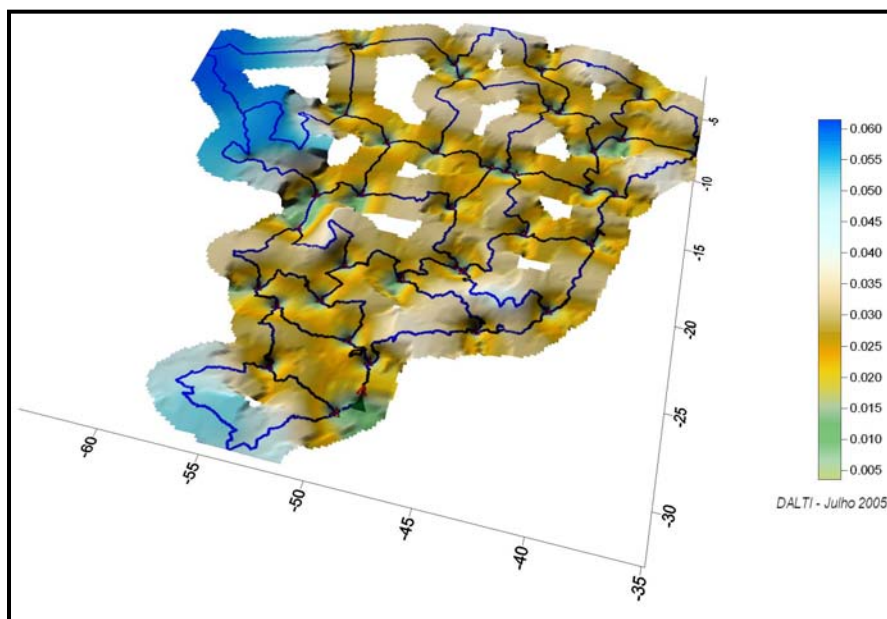


Figura 10: Resultado dos desvios-padrão para cada MMCC.

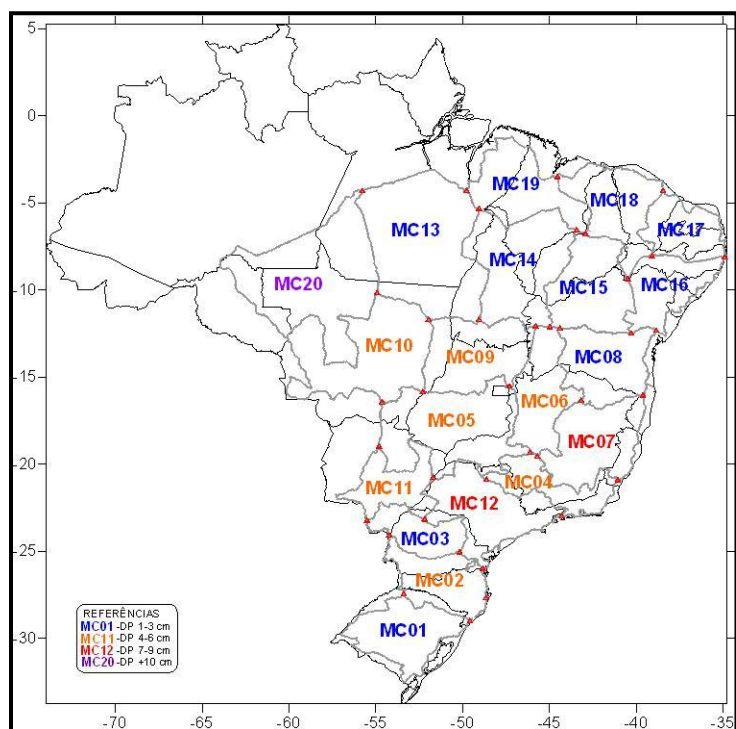


Figura 11: Resultado dos desvios-padrão para cada MMCC.

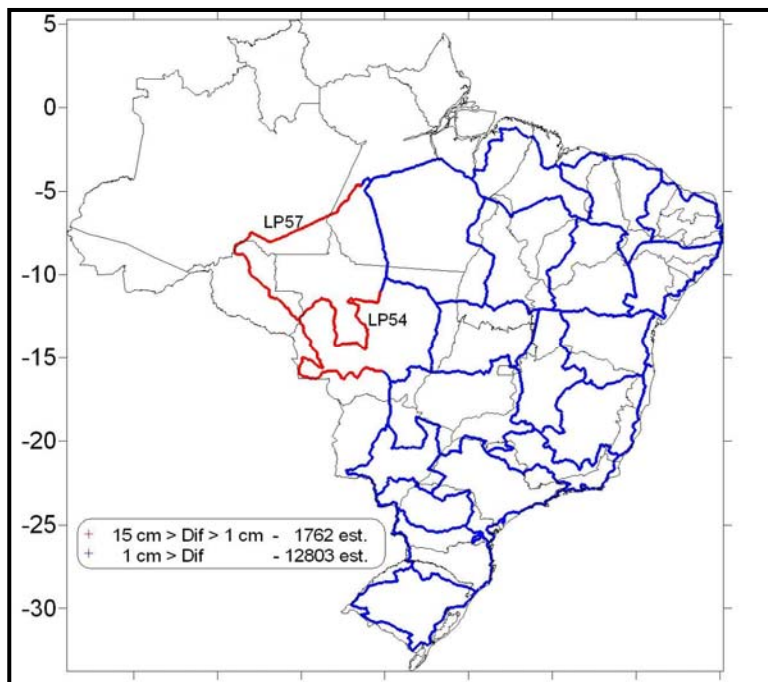


Figura 12: Diferença em cm entre as altitudes das LLPP dos MMCC em *GHOST* e AAGP.

A linha principal 57 já havia sido rejeitada no AAGP. Porém, com a integração de todas as observações num único ajuste, verificou-se que a origem do problema poderia, na verdade, encontrar-se na linha principal 54 do MC10. No entanto, na Região Amazônica, a RAAP tem sua geometria prejudicada pela falta de alternativas para estabelecimento de circuitos. Com isso, as grandes linhas envolvidas (55, 56, 57 e parte da 54) são mais vulneráveis à incidência de problemas não detectáveis pelos controles de qualidade usuais. Assim, decidiu-se que a documentação das respectivas RRNN no BDG conterà uma advertência específica, recomendando-se a adoção de cuidados adicionais em trabalhos nessa região, tais como a utilização de um número maior de RRNN para validação dos respectivos desníveis (renivelamento).

O ajustamento em *GHOST* foi realizado fixando a estação 4X e outorgando aos desníveis valores de desvio padrão *a priori* proporcionais às respectivas distâncias niveladas. Os resultados do ajustamento coincidiram com o ajustamento similar efetuado no AAGP. Os valores das altitudes ajustadas tiveram praticamente a mesma magnitude, o que permitiu a validação da metodologia. O desvio padrão variou entre 1 e 13 cm, correspondendo, estes últimos valores extremos, às estações com distâncias de aproximadamente 3000 km da estação de referência 4X, localizadas ao norte e oeste do país.

4.1.2 Ajustamento em 2006

Em 2006, foram inseridas no ajustamento todas as linhas (Principais e Internas) dos MMCC, utilizando os mesmos dados oriundos do AAGP. Em virtude do grande quantitativo de estações das linhas internas (LLII), aproximadamente 36000, foi necessária a divisão da rede utilizando o método de Blocos de Helmert.

Em cada macrocircuito, foi realizada a verificação do erro de fechamento e análise de inconsistências para cada linha interna, considerando o desvio-padrão *a priori* de $2,5 \text{ mm } \sqrt{k}$ – exceto em alguns casos, em que foi necessário refazer a ponderação do desvio-padrão *a priori* em $4 \text{ mm } \sqrt{k}$ devido à precisão do nivelamento da linha.

Nesta fase do ajustamento, os pontos nodais foram considerados como estações normais da rede e não mais como estações fixas.

Todas as linhas foram analisadas no *GHOST* e comparadas com os resultados obtidos no AAGP, gerando as diferenças de altitudes que podem ser vistas na Figura 13.

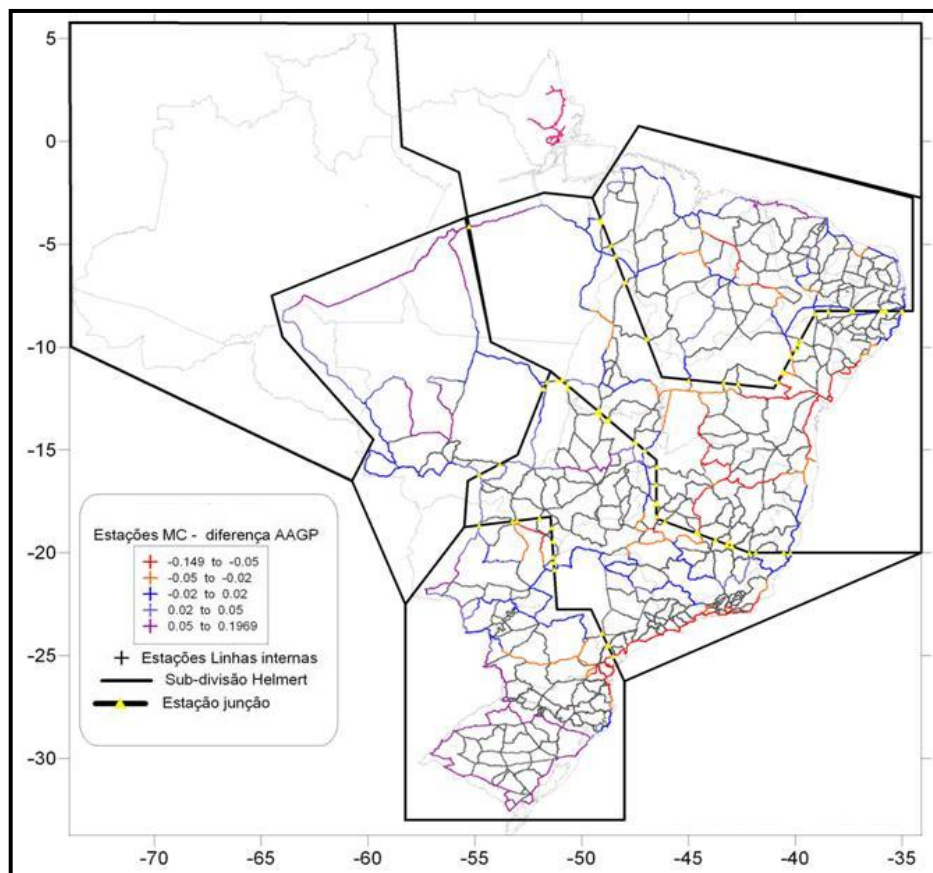


Figura 13: Diferença em cm entre as altitudes das LLII dos MMCC em *GHOST* e AAGP.

Este ajustamento gerou os dados estatísticos contidos nas Tabelas 01 e 02, sendo comparado, nos dois casos, com o ajustamento de 2005.

Tabela 01: desvio-padrão das altitudes ajustadas em cm

Estatísticas do DP (cm)	2005	2006
Número de estações	14532	36616
Mínimo	0,025	0,282
Máximo	6,994	10,9
Range	7,019	11,182
Média	3,15	6,063
Desvio Padrão média	1,45	1,27

Tabela 02: resíduos das observações em mm

Estatísticas residuais (mm)	2005	2006
Número de desníveis	14589	36897
Mínimo	-2,723	-5,86
Máximo	10,032	6,96
Range	12,755	12,82
Média	-0,023	0,014
Desvio Padrão média	0,272732	0,55

Na sequência, são apresentados gráficos com a distribuição do desvio-padrão das altitudes ajustadas em 2005 e 2006, por quantitativo de estações.

Gráfico 01: Desvio padrão do ajustamento de 2005

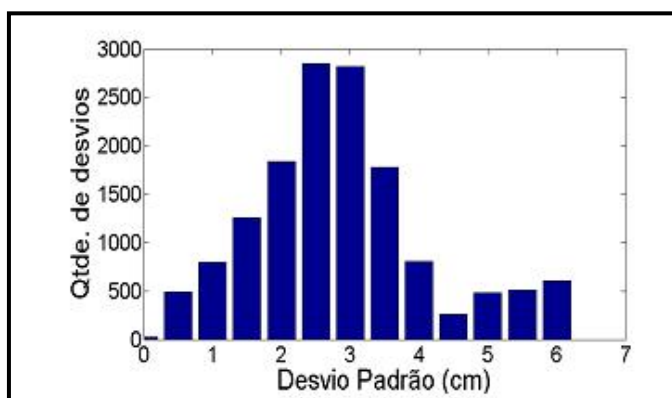
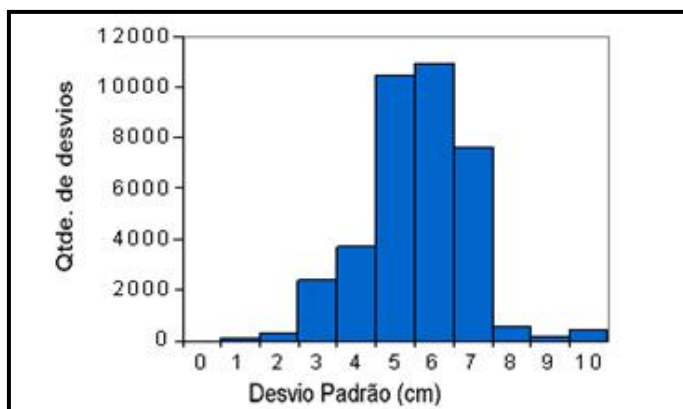


Gráfico 02: Desvio padrão do ajustamento de 2006



Na Figura 14, é possível observar o desvio padrão (metro) das altitudes ajustadas em 2006, fixando apenas a estação 4X.

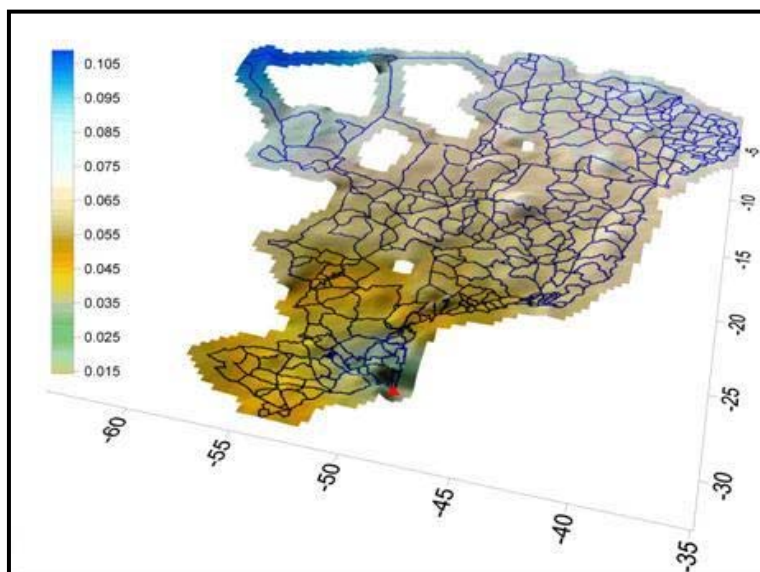


Figura 14: Desvio padrão do ajustamento de 2006.

O ajustamento somente das linhas principais dos macrocircuitos serviu para validação da metodologia e o ajustamento incluindo as linhas internas serviu para comparação com o ajustamento total gerado no AAGP.

Essas duas etapas foram importantes mas, por não haver informação das datas de medição dos desníveis nos arquivos utilizados (oriundos do próprio AAGP), foi necessária uma nova reestruturação do processo de análise, partindo de arquivos que continham essas informações, fundamentais para análise temporal da rede. Isso é relatado a seguir.

4.2 Etapa 2 (de 2007 até 2010) – Ajustamento da Rede Altimétrica

Considerando que a fase anterior foi, na prática, uma avaliação e validação da metodologia de ajustamento, pode-se dizer que o reajustamento da rede propriamente dito teve início na etapa 2, já que foram utilizados todos os dados brutos das linhas, independentemente de já terem passado por alguma análise e/ou processados em outro momento. A justificativa para esse procedimento foi a necessidade de analisar a rede temporalmente e identificar seções reniveladas que estivessem fora da tolerância devido a abalos das RRNN ou a alguma inconsistência. Para isto, era importante a recuperação da informação da data dos desníveis em cada seção, que não constava nos arquivos do AAGP.

4.2.1 Preparação dos dados para ajustamento em *GHOST*

Esta seção trata da busca, organização, avaliação e validação dos dados primários (linhas de nivelamento e coordenadas planimétricas), identificando e tratando as inconsistências, além de realizar a transformação dos arquivos de dados primários para formato de entrada no sistema *GHOST*. Paralelo a isso, também foi desenvolvido um trabalho de validação dos descritivos das estações.

Ressalta-se, ainda, a importância do produto final dessa etapa não ser “apenas” arquivos processados para o ajustamento, mas também uma massa de dados altamente organizada e criticada que servirá de base para a realização futura do ajustamento das diferenças de geopotencial da Rede Altimétrica (desníveis com gravidade observada), visando à modernização do sistema vertical brasileiro, além de vários outros estudos científicos, tais como a preparação das informações das estações de conexão SIRGAS.

4.2.1.1 Geração e Avaliação dos Arquivos de Dados Primários

Em 2007, os arquivos das linhas foram reorganizados de acordo com a unidade de origem (incluindo, além daquelas unidades do IBGE, o antigo Conselho Nacional de Geografia, CNG), mantendo-se o formato original de dados primários (DECAN), totalizando 68466 RRNN entre 1633 linhas e 2032 ramais (linhas que não formam circuitos), conforme Figura 15.

Após a reorganização dos dados, foi conduzida uma avaliação onde foram identificadas inconsistências, como:

- ✓ Códigos de estações fora do padrão de referência de nível do IBGE (RRNN materializadas por outras instituições, RRNN de segurança, pinos, códigos duplicados na Rede Altimétrica e conexões com estações planimétricas ou gravimétrica);
- ✓ Ausência ou troca de código do tipo de nivelamento (linha, ramal, etc.);
- ✓ Ausência de leitura (nivelamento - N e contranivelamento - CN);
- ✓ Leituras inconsistentes com diferenças acima da tolerância entre os desníveis (N-CN);
- ✓ Inconsistência entre as distâncias niveladas e calculadas a partir das coordenadas planimétricas das respectivas RRNN (ver exemplo na próxima seção).

Outra condição importante para a análise da rede foi a recuperação de algumas seções que incluem RRNN subterrâneas (“segurança”), utilizadas para conexão de linhas ou por fecharem circuitos.

Em 2008, realizou-se a junção daqueles arquivos, gerando um único arquivo consolidado, onde se encontram todos os dados de nivelamento.

As seções e/ou linhas com inconsistências não solucionadas (ver item 4.2.2.4 Análise das seções / linhas comentadas) não foram ajustadas.

Em janeiro de 2009, após as críticas e inserções de novas linhas, os dados totalizavam 69102 RRNN entre 1648 linhas e 2175 ramais, sendo que 550 RRNN, menos de 1% da rede, foram desconsideradas por apresentarem inconsistências não solucionáveis para este ajustamento.

Ressalta-se que as linhas de nivelamento consideradas para este ajustamento datam até outubro de 2010.

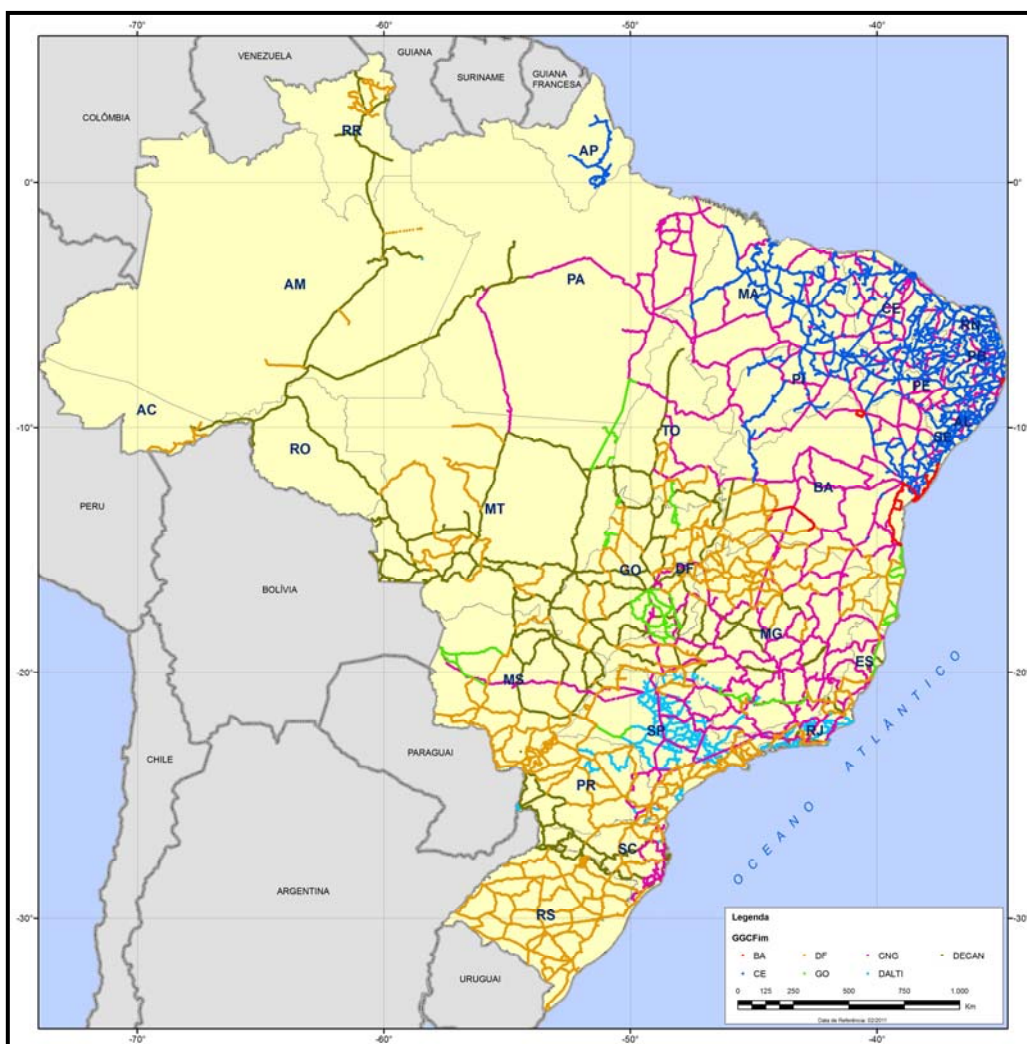


Figura 15: Representação das linhas niveladas até 2007

4.2.1.2 Avaliação do Arquivo de Coordenadas Planimétricas

O arquivo de coordenadas das estações a serem ajustadas foi organizado a partir do mesmo arquivo utilizado na Etapa 1, constituído pelas RRNN com coordenadas no banco de dados.

As inconsistências encontradas ao longo das análises das coordenadas ocorreram devido a fatores como: erro no código das estações, fontes diferentes de coordenadas em uma mesma linha (por exemplo: em uma seção a coordenada da RN de partida é de carta 1:250000 e a RN de chegada de GPS), etc..

Como exemplo de inconsistências encontradas, tem-se na Figura 16 as seções das RRNN 1189R -> 1189S e 1189U -> 1189V, que apresentavam diferença de 120 km na comparação entre a distância calculada através das coordenadas e a distância medida no nivelamento, ocasionando mudança do município das estações de Manicoré para Novo Aripuanã no estado do Amazonas

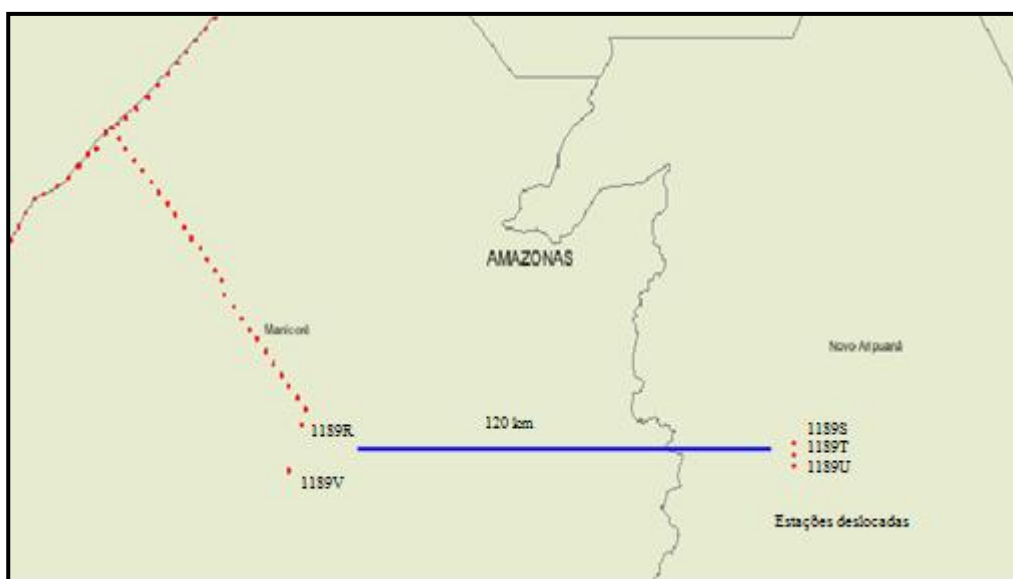


Figura 16: Espacialização de erro de discrepância de distância entre as seções niveladas e as coordenadas das estações.

Esses problemas, totalizando 575 casos, foram resolvidos observando os descritivos, as fichas de RN, e análise espacial no aplicativo *Google Earth*. A localização desses pontos pode ser vista na Figura 17.



Figura 17: RRNN com coordenadas corrigidas

4.2.1.3 Análise dos descritivos das RRNN

O relatório das estações geodésicas, disponibilizado na página do IBGE (www.ibge.gov.br -> Geociências -> Geodésia -> Banco de Dados Geodésicos), contém, além das coordenadas, o memorial descritivo, isto é, data da última visita, localização, descrição, foto, estado de conservação, datas de medição e de cálculo, conexão com outras estações geodésicas, que são informações essenciais para os usuários.

Por isso, além da crítica de dados de levantamento, foram realizadas as críticas do memorial descritivo das RRNN participantes do ajustamento que não constavam no BDG, incluindo as estações de outras instituições medidas pelo IBGE.

Observa-se o IBGE incorporou dados de algumas linhas de nivelamento do Instituto Geográfico e Geológico (IGG) para densificação da Rede Altimétrica no estado de São Paulo, cujos descritivos também foram avaliados.

Foram criticados aproximadamente 8000 descritivos entre janeiro de 2007 e dezembro de 2010.

4.2.1.4 Análise temporal das seções reniveladas

Antes de dar início ao processamento no *GHOST*, também foi necessário fazer a análise temporal da rede, ou seja, a comparação das observações das seções niveladas em mais de uma época, para verificar se os valores de desníveis estavam dentro da tolerância, conforme a precisão do levantamento de $4 \text{ mm } \sqrt{k}$, já que aproximadamente 70% da Rede Altimétrica foi medida com essa precisão. Foram identificadas 2723 seções reniveladas, apenas 3,5% da rede (Figura 18), dentre as quais, 64% estavam dentro da tolerância.



Figura 18: Seções reniveladas

4.2.2 Processamento em GHOST

A partir dos arquivos de dados primários e de coordenadas consolidados, foram gerados os arquivos em formatos apropriados para entrada no *GHOST*: um contendo desníveis observados e corrigidos do efeito do não paralelismo das equipotenciais, a data do nivelamento e o desvio-padrão *a priori* (calculado conforme a precisão do levantamento); e o outro, as coordenadas e as altitudes iniciais das RRNN.

Após as análises e correções de inconsistências desenvolvidas no período de 2005 a outubro de 2008, foi realizado o ajustamento de forma simultânea de toda a Rede Altimétrica.

4.2.2.1 Avaliação dos primeiros resultados

Inicialmente, o sistema *GHOST* faz uma comparação entre os desníveis observados e os desníveis calculados a partir das diferenças das altitudes iniciais de cada RN. Quando existe alguma divergência entre esses valores, o programa faz uma indicação de erro, como pode ser observado na Figura 19.

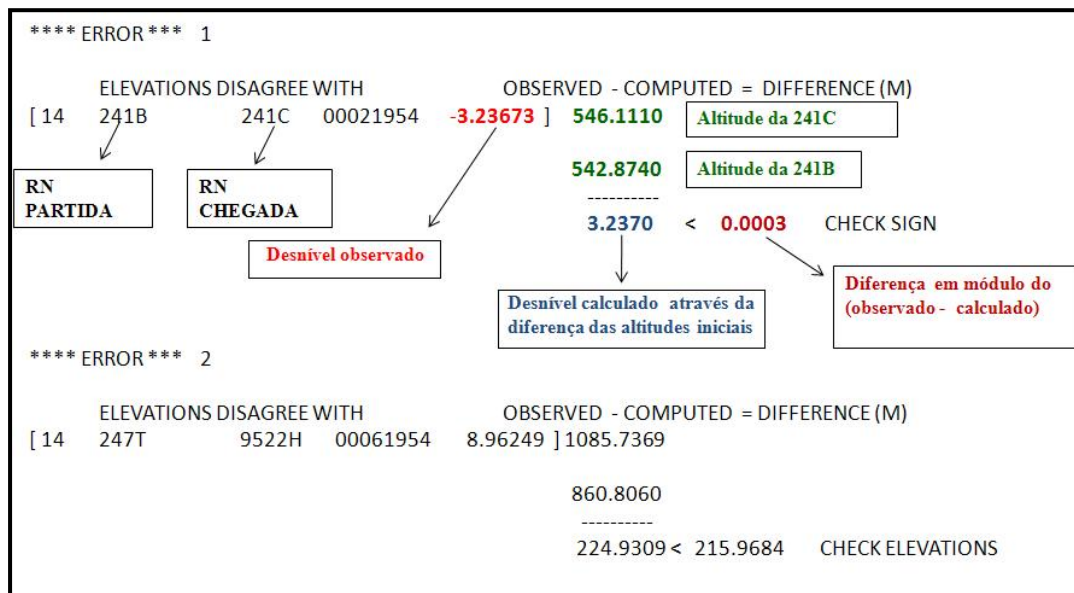


Figura 19: Exemplo de listagem de indicativo de erro

No erro nº 1, observa-se o sinal invertido entre o desnível observado (-3.23673) e calculado (3.2370), enquanto que no erro nº 2 aparece uma diferença de 215 m entre o desnível observado (8.96249) e a diferença de altitudes fornecidas inicialmente (224.9309).

Para a solução dos problemas foram utilizados diversos recursos, tais como:

- ✓ Recálculo das altitudes iniciais;
- ✓ Avaliação de descritivos, para verificar possível deslocamento da estação;
- ✓ Análises no *Google Earth*, apesar desse sistema conter erros no georreferenciamento e ter baixa resolução em algumas imagens, em alguns casos a inconsistência pôde ser avaliada devido à sua grandeza;
- ✓ Recálculo de cadernetas, que contêm os valores originais das medições em campo;
- ✓ Comparação com dados do AAGP; e
- ✓ Remedições de seções em campo (com nivelamento geométrico e/ou GPS).

4.2.2.2 Subdivisão regional da Rede Altimétrica

Após a correção das inconsistências descritas no item anterior, o resultado do processamento apresentou uma indicação de descontinuidade “*has no connection in NORMAL EQUATIONS*”. A fim de solucionar esse problema, resolveu-se processar a rede subdividindo-a por regiões, como mostra a Figura 20.

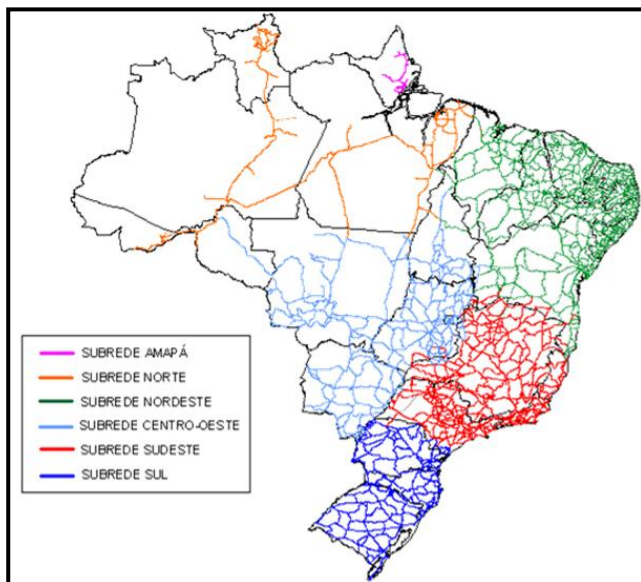


Figura 20: Divisão regional da Rede para análise em GHOST

Para cada sub-rede processada era gerado um arquivo denominado *resíduos.out* (Figura 21) contendo os resultados do ajuste tais como: valor da variância *a posteriori*, os desníveis ajustados, os resíduos, etc.

Occupied Station	Observed Station	Delta Ht(M)	Apriori S.D.(mm)	Resid(mm)	Residual St.Dev	Redun#	MUE (mm)	Line_junction_section	Outlier test
1715H	1715L	14.5093	3.688	7.386	5.300	0.652	50.17	0	1.02
9302X	9302R	-0.2764	0.424	-1.853	0.962	0.132	12.80	1	-4.93
9302R	9352M	-0.1170	0.424	-1.7853	0.962	0.132	12.80	1	-4.93
9352M	9302S	-0.1172	2.100	13.217	2.549	0.752	26.60	1	2.98
2001B	2003L	3.8581	5.485	-16.193	6.572	0.758	69.19	0	1.39
2003L	2003M	74.4336	6.158	14.349	8.977	0.642	84.43	0	1.19
2003M	2003N	-52.8545	5.727	-10.084	8.336	0.643	78.45	0	1.90
5L	2004R	0.5016	8.080	17.802	14.121	0.485	127.43	0	1.30
2004R	5M	0.2465	5.960	11.247	11.754	0.344	111.58	0	1.32
2007T	2007U	-1.5789	6.847	-17.872	7.798	0.781	85.08	0	1.21
2007X	2007Z	2.5846	4.060	-19.354	6.534	0.563	59.41	0	2.61
2007Z	2008A	5.6750	6.776	27.248	7.622	0.787	83.91	0	1.86
2008X	2008Z	-7.4566	6.765	-12.097	9.786	0.647	92.36	0	40.91
2007T	9033J	-0.3038	0.400	-10.747	0.584	0.640	5.49	0	-13.79
2008F	2008H	15.8669	5.352	17.128	7.679	0.653	71.74	0	11.63
2007X	2007Z	2.5505	3.600	14.746	6.134	0.445	59.30	0	2.52
2007Z	2008A	5.7111	5.029	-8.852	7.622	0.613	70.56	0	-0.92
2007T	9033J	-0.3206	0.300	6.063	0.584	0.361	5.48	1	13.79
1577G	1577L	80.1568	5.720	35.907	11.425	0.327	109.80	0	4.50
1577H	1577M	63.4057	5.586	-34.017	11.297	0.310	110.13	0	4.49
1577H	1577J	-9.7219	4.271	-19.889	9.411	0.181	110.13	0	-4.49
1577J	1577L	26.5830	4.308	-20.233	9.474	0.185	110.13	0	-4.49
1578B	1578C	12.1893	2.263	-8.922	3.272	0.248	30.88	0	-2.01

Figura 21: Exemplo de parte do arquivo (resíduos.out)

Nesta etapa, foram analisadas as seções que apresentaram resíduos altos e indicações de *outliers*, ou seja, quando a observação está com resultado diferente do esperado em função do desvio-padrão *a priori*. Verificou-se que, realizada a comparação entre os desníveis de uma mesma seção em épocas distintas, a diferença entre os desníveis extrapolava a tolerância, indicando que algumas estações estariam abaladas.

O processamento das redes com as devidas correções foi finalizado quando o valor da variância *a posteriori* se aproximou do valor “1”, o que significa que não haveria erros grosseiros nos valores dos dados utilizados no ajustamento (Gemael, 1994, p 123).

Posteriormente, a rede foi reajustada reintegrando as sub-redes uma a uma, gerando resultados e analisando-os a cada reintegração, a fim de verificar se a descontinuidade se mantinha. Ao final, verificou-se ainda a informação de aproximadamente 900 estações sem conexão.

4.2.2.3 Nova divisão de blocos

Em setembro de 2009, após vários testes, o problema de descontinuidade na geração das equações normais foi resolvido através de uma nova divisão dos blocos de Helmert, já que a divisão anterior foi estabelecida de acordo com os critérios citados na seção 4.1. Além disso, nos ajustamentos de 2005 a 2007, a rede não estava completa, ou seja, contava com um menor número de estações processadas, a informação de descontinuidade não aparecia.

O processamento simultâneo da rede com todas as estações, cerca de 69000 RRNN, seguindo o mesmo critério da divisão de blocos de Helmert exposto anteriormente, ocasionou um desequilíbrio do número de estações para cada sub-bloco do ajuste, cujo limite está em torno de 25000 estações, gerando a descontinuidade na elaboração das equações normais e, por isso, o não processamento de muitas estações (aprox. 900).

A seguir, podem ser vistas nas Figuras 22 e 23, as divisões, antiga e a nova dos blocos de Helmert.

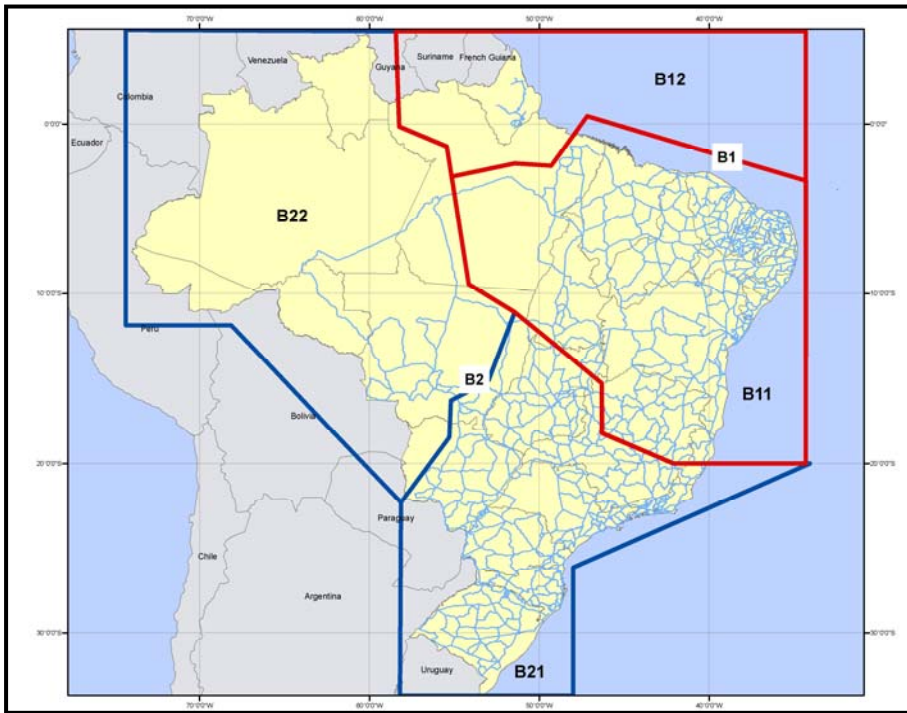


Figura 22: Divisão de blocos – Fase1

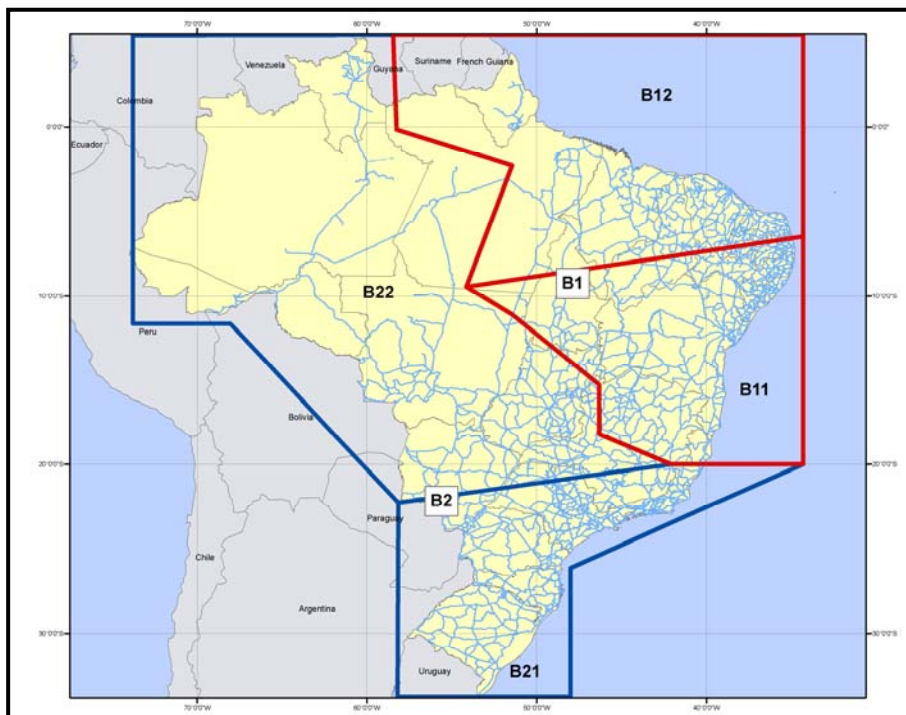


Figura 23: Nova divisão de blocos – Fase2

Após o processamento da rede com a nova divisão de blocos, não foi mais apresentada a advertência *”has no connection in NORMAL EQUATIONS”*, o que confirmou que o problema era mesmo no limite de cálculo dos blocos. Com isso, todas as RRNN inseridas nos arquivos de observações e coordenadas iniciais foram ajustadas.

4.2.2.4 Análise das seções e/ou linhas desconsideradas nas etapas anteriores

Solucionado o problema de descontinuidade, foi necessário rever as linhas e/ou seções desconsideradas durante as análises, onde muitas dessas linhas e/ou seções foram reconsideradas para processamento no *GHOST*. Entretanto, em alguns casos, houve a necessidade de realizar análises mais aprofundadas, como mostra o exemplo a seguir:

✓ Linha N 321

Reconsiderando a linha N 321 que estava desconsiderada, foi identificado no arquivo *editobs.lis* gerado no processamento uma inconsistência de 43.7 m na seção 476S – 477V, como mostra a Figura 24, impossibilitando o processamento do sub-bloco B12 .

*** ERROR ***		1				OBSERVED - COMPUTED = DIFFERENCE (M)		
14	476S	ELEVATIONS DISAGREE WITH	477V	16091961	-9.31805]	177.3250 230.3844	
14	585V		9524U	26111968	6.07084]	-53.0594 < 439.5957 431.5710	CHECK ELEVATIONS
							8.0247 <	1.9539 CHECK ELEVATIONS
1 ERRORS Detected in observations Delete EDITOBS								

Figura 24: Indicação de inconsistência

Para a análise foi realizado o cálculo do desnível entre as RRNN 475B e a 477V, através dos circuitos (1 e 2) e da linha N 321, conforme a Figura 25. Os resultados dos cálculos estão na tabela 03.

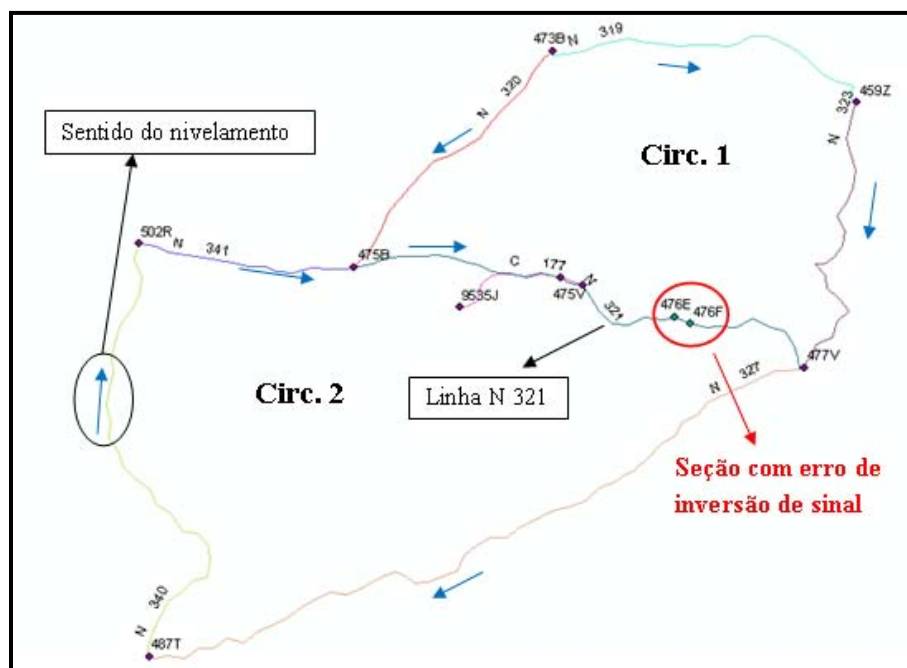


Figura 25: Esquema dos circuitos

Tabela 03: Cálculo dos circuitos

Calculando o desnível de 475B - 477V (M) pelos circuitos			
Circ1	desnível	Circ2	desnível
N 320	-250.5779	N 327	219.8629
N 319	-83.8487	N 340	-51.4142
N 323	-14.6760	N 341	180.5748
total	-349.1026	total	349.0235
Diferença em módulo (Circ1 - Circ2) (CM)		7.9	
Calculando o desnível de 475B - 477V (M) pela linha N 321			
desnível		305.3665	
Diferença entre os desníveis (Circ - linha) (M)		44	

Observando a tabela anterior, conclui-se que o erro realmente estava na linha N 321, já que a diferença entre os desníveis da linha calculada através dos dois circuitos foi de 7,9 cm. E a diferença entre os desníveis calculados pelos circuitos e pela linha é de aprox.44 m, como indicado no arquivo *editobs.lis*.

Além disso, foi verificado no arquivo de dados primários consolidado que havia sido trocada a posição da linha de Ré com a linha de Vante, o que gerou uma inversão de sinal durante o processamento para geração do arquivo de entrada no *GHOST*, levando à inconsistência de 44 m.

4.2.2.5 Primeira comparação das Altitudes BDG 2007 x Altitudes *GHOST* 2010

Os resultados do ajustamento simultâneo e completo da RAAP, utilizando o sistema *GHOST* em fevereiro de 2010, foram, pela primeira vez, comparados com os valores das altitudes das RRNN que constavam no BDG em outubro de 2007.

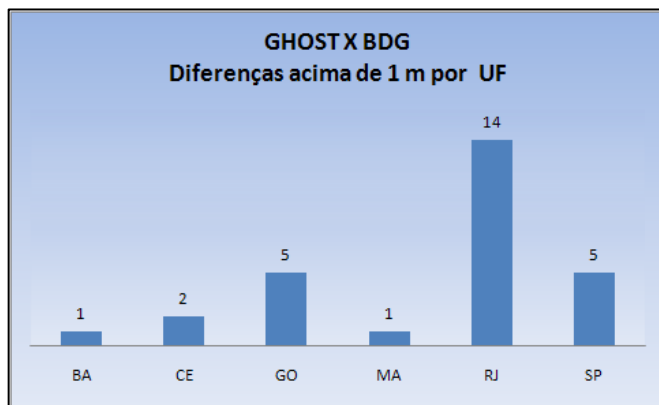
Tal comparação apresentou diferenças nas altitudes das RRNN justificadas pela nova metodologia do ajustamento (simultâneo e completo), pela identificação e soluções de inconsistências, etc..

Essa comparação foi dividida de acordo com a classificação das altitudes das estações no BDG (Preliminar, Alta Precisão Ajustada e Fora das Prescrições), mas as discrepâncias analisadas foram aquelas com relação aos valores de altitudes classificados como de Alta Precisão, pois são essas que os usuários utilizam como valores confiáveis e livres de erros.

Existiam em 2007, 46705 RRNN classificadas como Ajustada - Alta Precisão no BDG, dentre as quais 15% das altitudes apresentaram diferenças acima de 20 cm e apenas 0,1% (46 estações) estavam acima de 50 cm.

Em alguns casos, foram apresentadas diferenças consideradas significativas, acima de 1m, ocorridas em 28 estações, em regiões diferentes do território brasileiro, conforme gráfico 03. Essas diferenças foram analisadas criteriosamente.

Gráfico 03: Distribuição de inconsistências por UF



Ressalta-se que a realização dessa primeira comparação foi muito importante, mesmo utilizando os resultados ainda preliminares, pois foi possível antecipar a descoberta de inconsistências de maior magnitude nas altitudes, impedindo a continuação da divulgação das mesmas para o usuário.

4.3 Etapa 3 (2010 e 2011)

Nesta etapa, foram realizadas as atualizações no arquivo de dados primários e de coordenadas consolidados, com as novas linhas de nivelamento enviadas pelas unidades regionais ao projeto DALTI até outubro de 2010, o processamento e as análises da rede consolidada. Durante estas análises, foram identificadas inconsistências não solucionadas em gabinete, que levaram ao planejamento de novos levantamentos em campo.

4.3.1 Verificação de inconsistências através de medições em campo

Como já foi dito anteriormente, durante os processos de ajustamento da Rede Altimétrica foram identificadas inconsistências que, muitas vezes, impossibilitaram o processamento completo da rede. As análises dessas inconsistências foram realizadas em gabinete através de recálculo dos dados de caderneta, análise temporal dos desníveis, verificação dos descritivos conciliados com o *Google Earth*, entre outros. No entanto, foi verificado que em determinados casos, onde os dados eram insuficientes para realizar análises mais consistentes, seria necessário ir a campo para atestar esses valores.

Um dos fatores mais relevantes verificados através das análises foi o fato de que, se as inconsistências não fossem solucionadas, as estações envolvidas deveriam ser desconsideradas do ajustamento, o que causaria um grande impacto aos usuários, podendo gerar vazios (falta de informações) e/ou ramais (linhas sem controle do erro de fechamento) ao longo da rede.

Em 2010, foram realizadas campanhas específicas para tratar essas inconsistências e foram verificados em campo dezoito casos, sendo que quatro através de nivelamento geométrico e o restante utilizando a técnica de medição GPS.

A Figura 26 mostra a localização dessas inconsistências, bem como a separação por tipo de medição. No detalhe, tem-se o exemplo do impacto na rede do *Datum* Santana, região que possui baixa densificação altimétrica. Caso não fosse realizada a verificação em campo, cerca de 80 estações, a partir da seção com inconsistência, seriam desconsideradas do ajustamento e conseqüentemente deixariam de ter valor de altitude no BDG.



Figura 26: Verificações em campo – Localização e tipo de medição realizada

A Figura 27 mostra a magnitude dessas inconsistências.

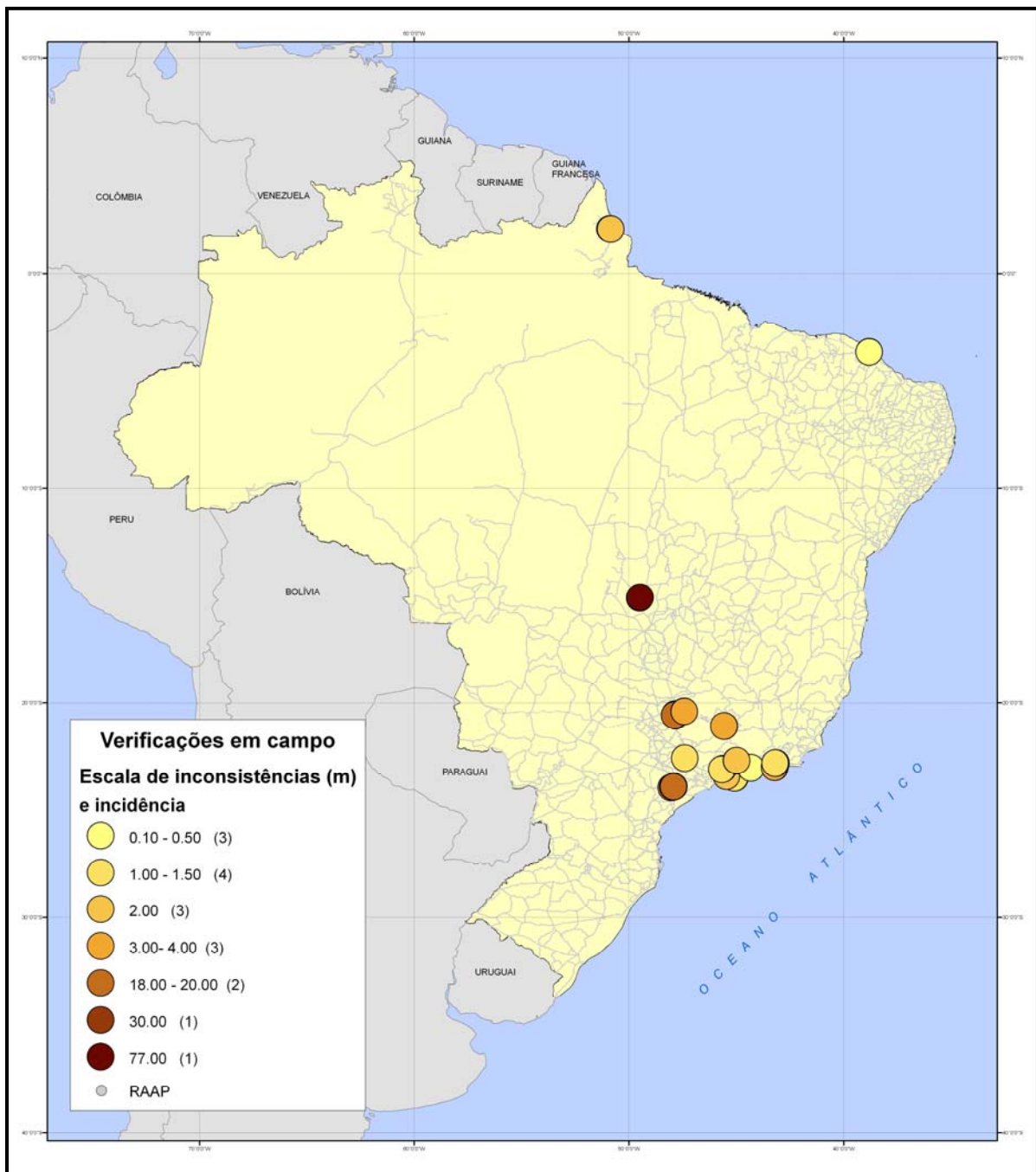


Figura27: Verificações em capo – Magnitude das inconsistências

Com relação às inconsistências verificadas a partir de medições GPS, as RRNN a serem reocupadas foram identificadas por apresentarem desníveis inconsistentes quanto ao sentido (inversão de sinal) ou quanto ao desnível propriamente dito, quando comparado com outras épocas; além de apresentarem diferenças compatíveis com a precisão do levantamento.

A motivação do uso do GPS nessa etapa surgiu devido a alguns fatores, tais como:

- O alto custo em montar uma equipe de nivelamento para resolução dessas inconsistências;
- A localização das ocorrências em regiões bem distantes umas das outras;
- Pelas inconsistências apresentarem uma magnitude possível de ser determinada por GPS;
- E, por terem sido realizados testes com sucesso da aplicação dessa metodologia em levantamentos na Ilha do Governador e Niterói, no estado do Rio de Janeiro.

O objetivo desses levantamentos era a determinação da diferença de nível entre as linhas de base curtas (até 10 km) entre RRNN utilizando GPS e a comparação com o desnível determinado por nivelamento geométrico, de acordo com os critérios a seguir:

- 01 sessão de 01h de rastreamento GPS em cada RN;
- Taxa de rastreamento de 5";
- Utilização de 02 (dois) receptores GPS de dupla-frequência;
- Método de levantamento Relativo Estático GPS, com linhas de base curtas;
- Simultaneidade no rastreamento entre os equipamentos GPS.

É importante ressaltar que muitas RRNN não foram encontradas, desta forma foram reocupadas as RRNN imediatamente seguintes para cada região.

Como exemplo pode-se citar o caso da seção 2741H - 2741J, localizada em Caucaia – CE, onde foi verificado que havia nivelamento em duas épocas para esta seção, mas os desníveis estavam com sinal invertido.

1ª época - 30/05/1996 **0.2345 m**

2ª época - 27/08/1996 **-0.2347 m**

O objetivo do levantamento relativo GPS foi determinar o desnível entre as estações 2741H e 2741J e confirmar o seu correto sentido. Entretanto, as condições encontradas em

campo para as estações 2741H e 2741J não satisfaziam a medição GPS. Nesse caso, optou-se em realizar as medições nas estações 2741G e 2741M, determinando o desnível entre elas como mostra a Figura 28.

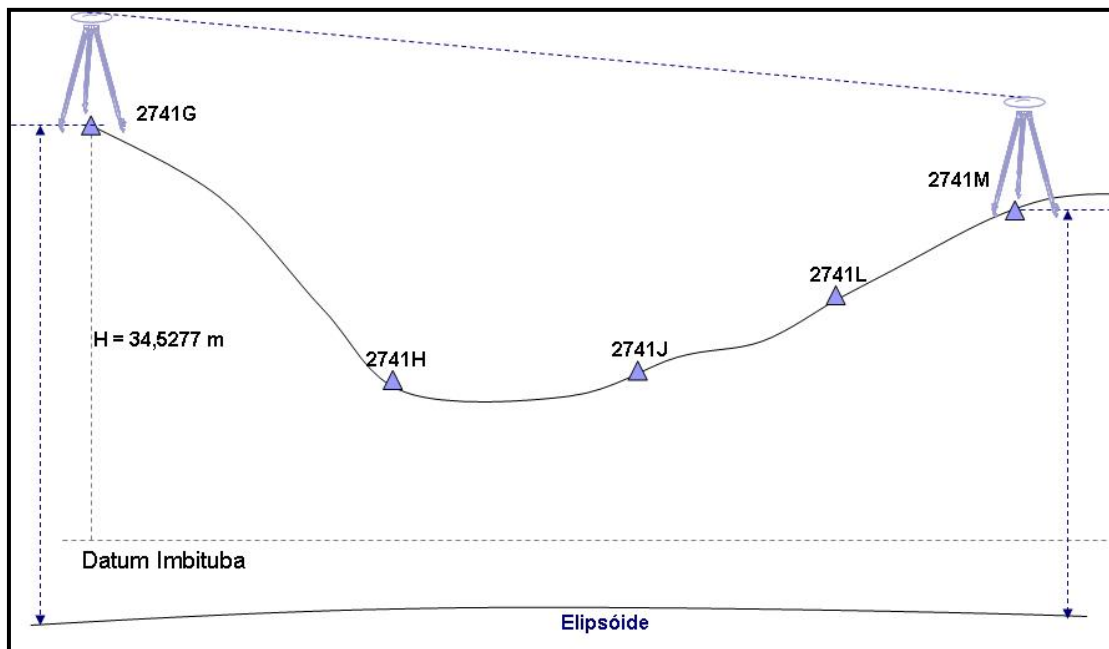


Figura 28: Esquema da medição GPS

O desnível entre as estações 2741G e 2741M, utilizando as **altitudes geométricas (h)**, foi determinado através da seguinte fórmula:

$$dh_{AB} = h_B - h_A \dots \dots \dots (2)$$

onde A e B são as RRNN levantadas por GPS (2741G e 2741M).

Então, tem-se:

Desnível GPS:

$$dh_{2741G-2741M} = h_{2741M} - h_{2741G}$$

$$dh_{2741G-2741M} = 19.819 - 34.528$$

$$dn_{2741G-2741M} = -14.709 \text{ m}$$

O desnível utilizando os dados do nivelamento geométrico foi calculado através da seguinte fórmula:

$$dn_{AB} = dn_1 + dn_2 + \dots + dn_{N-1} \dots\dots\dots(3)$$

onde dn é o desnível entre as estações, N é o número de estações

Desnível entre as estações 2741G e 2741M da 1ª época e utilizando o sinal positivo para a seção 2471H – J:

$$dn_{2741G-2741M} = dn_{2741G-2741H} + dn_{2741H-2741J} + dn_{2741J-2741L} + dn_{2741L-2741M}$$

$$dn_{2741G-2741M} = (-22.655) + (0.234) + (3.808) + (3.942)$$

$$dn_{2741G-2741M} = -14,669 \text{ m}$$

A partir dos resultados considerando a 1ª época, a diferença entre o nivelamento geométrico e o levantamento GPS foi de 0.03 m

Desnível entre as estações 2741G e 2741M da 2ª época utilizando o sinal negativo para a seção 2471H – J:

$$dn_{2741G-2741M} = (-22.655) + (-0.234) + (3.808) + (3.942)$$

$$dn_{2741G-2741M} = -15.161 \text{ m}$$

A partir dos resultados considerando a 2ª época, a diferença entre o nivelamento geométrico e o levantamento GPS foi de **0.46 m**

Com base nos resultados, conclui-se que o sentido correto para a seção é o da 1ª época, sendo assim corrigido o sinal do desnível da 2ª época.

A utilização do GPS para comparação de desníveis entre RRNN de linha de base curta com os desníveis medidos por nivelamento geométrico é uma ferramenta de investigação bastante útil para verificação de inconsistências na Rede Altimétrica e, por conseqüência, a melhoria dos resultados do ajustamento no *GHOST*. Além disso, auxilia na atualização do estado de conservação das RRNN e suas coordenadas, que são utilizadas no processo de ajustamento para cálculo da correção do não paralelismo das equipotenciais. Importante ressaltar que os desníveis do nivelamento não foram substituídos pelos desníveis do GPS. Essa técnica foi utilizada apenas para verificação do valor e/ou sinal do desnível.

5. RESULTADOS FINAIS

Para a análise dos resultados finais, foi seguida a metodologia e os procedimentos apresentados por Steeves e Fraser (1987). Porém, ressalta-se que esse ajustamento tem algumas limitações, já sinalizadas, dentre as quais as mais importantes são: a sua dependência em apenas duas estações fixas, a ausência de injunções, a falta de redundância nas observações, característica do tipo de levantamento realizado e, principalmente, a aceitação de observações com qualidade regular no intuito de não perder vinculações ou consistência na rede. Com estes esclarecimentos, a análise foi realizada de uma maneira clássica em ajustamento de observações.

Os arquivos de entrada do ajustamento continham as seguintes estatísticas;

Estações de ajustamento	69590
Estações fixas	2
Desníveis observados	74169
Graus de liberdade do ajuste	4579

5.1 Teste Qui-Quadrado na variância *a posteriori*

Normalmente em observações geodésicas, postula-se que o vetor de observações tem uma função de distribuição de probabilidade do tipo normal (*fdp*), com certa média e variância, sendo que estes dois parâmetros a definem totalmente. Em teste de hipóteses, isto é chamado de “hipótese básica”, é representada por H_o e ela será estatisticamente testada usando as observações realizadas, caso contrário, a hipótese é rejeitada e aceita-se a hipótese alternativa, H_a , de que as observações não tem uma *fdp* normal. O procedimento usado é o teste Qui-Quadrado (χ^2) na variância *a posteriori*, cuja descrição e fórmulas podem ser conferidas em Steeves e Gemael (1994). A importância da variância *a posteriori*, é que ela é a escala da matriz de covariâncias final e influirá diretamente na obtenção de valores estatísticos de precisão para os dados. Inicialmente, a matriz de pesos é calculada através de

$$P = \sigma_o^2 C_l^{-1} \dots\dots\dots(4)$$

sendo C_l^{-1} a matriz de variâncias-covariâncias das nossas observações e σ_o^2 a variância da unidade de peso inicial, um valor que pode ser totalmente arbitrário. O *GHOST* adota o valor 1,0 como valor inicial da variância *a priori*. No final do ajustamento pode-se estimar a variância de peso unitária *a posteriori*, ou seja, após o ajuste das observações. Assim

sendo, calculamos o valor estatístico da variância *a posteriori*, e comparamos esse valor com o valor extraído da tabela da distribuição χ^2 . O valor calculado deve ser menor que o valor fornecido pela distribuição, para a hipótese básica ser aceita, ou seja, $\sigma_o^2 < \sigma_x^2$.

O valor estatístico da variância *a posteriori* é calculado através da fórmula

$$\sigma_o^2 = \frac{V^T P V}{S}$$

sendo V o vetor de resíduos calculados no ajustamento e S o número de graus de liberdade do sistema. O valor de variância *a posteriori* obtido de 1,59 foi comparado com o valor da distribuição χ^2 para uma probabilidade de 95% ($\alpha = 0,05$), sendo que foi rejeitada a hipótese básica H_o de que as observações têm uma função de distribuição normal.

5.2 Teste nos resíduos estimados

Como o teste anterior foi realizado no suposto que as observações têm uma distribuição normal, prova-se que os resíduos estimados no ajustamento também são normalmente distribuídos. Porém, teoricamente, cada residual tem uma variância e uma *fdp* normal diferente. Para transformar todos os residuais em variáveis com a mesma distribuição, cada resíduo é normalizado através da fórmula

$$r_i^n = \frac{r_i}{\sqrt{(A C x A^t)}}$$

Sendo r_i^n o resíduo normalizado da observação i , r_i o resíduo da mesma observação e $\sqrt{(A C x A^t)}$ o fator de normalização (A é a matriz de equações de observação e C , matriz de covariâncias).

Com os resíduos normalizados, é possível fazer diversos estudos de maneira de detectar a presença de resíduos com valores suspeitos de conterem erros superiores às propriedades estatísticas supostas. Especificamente no software de ajustamento *GHOST*, para a análise dos resíduos são usados os seguintes critérios:

- Fator de variância estimada: 1,42
- Função de densidade de probabilidade: *Tau e F*
- Intervalo de confiança: 0,05
- Parâmetro de não centralidade: 4,13

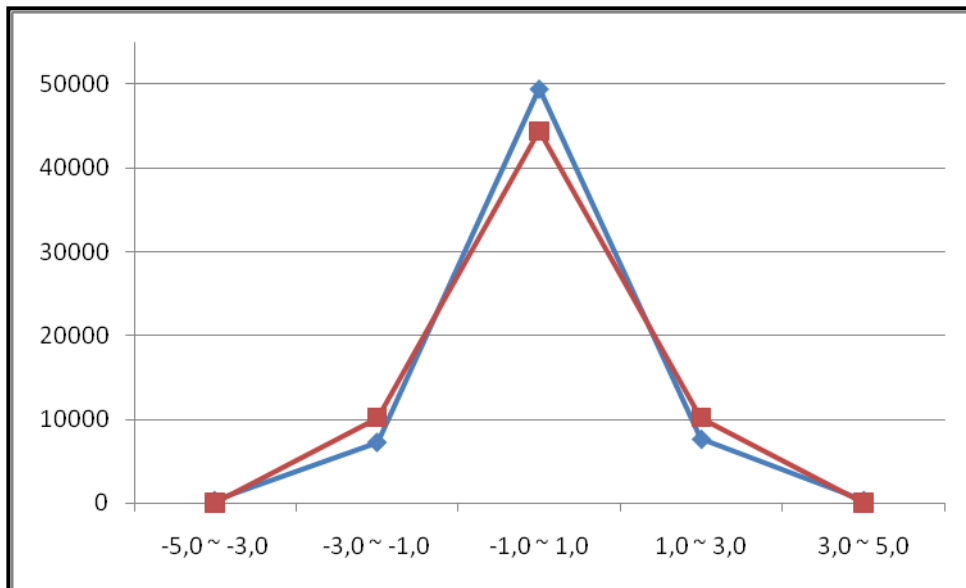
Para o teste de Pope, o conjunto de resíduos normalizado é separado em classes e para cada classe, é calculado o número de observações esperado (*E*) e comparado com o realmente observado (*O*). O somatório do quadrado das diferenças gera o número final, que comparado com o valor correspondente da distribuição indica se o conjunto de valores tem uma distribuição normal. A Tabela 04 apresenta para cada sub-bloco ajustado, a frequência observada dos resíduos normalizados, o somatório para toda a rede e na última coluna, a frequência esperada para uma amostra desse tipo. A parte inferior da tabela apresenta também para cada bloco e para a rede, o total de desníveis entre estações, o total de observações realizadas em cada um.

Tabela 04: Frequencia observada dos resíduos para cada sub-bloco

Intervalo	B 11	B 12	B 21	B 22	Rede	Esperado
- 5.0 , -3.0	213	89	42	15	359	85
-3.0 , -1.0	2466	1204	1816	1814	7300	10229
-1.0 , 1.0	14337	10042	14720	10337	49436	44400
1.0 , 3.0	2006	1677	2364	1619	7666	10229
3.0 , 5.0	72	161	71	63	367	85
Total de desn	19094	13173	19013	13848	65128	65028
Total observados	21062	15655	20959	16517	74193	-

As duas últimas colunas geraram o gráfico 04, que mostra os resíduos observados versus os resíduos esperados.

Gráfico 04: Distribuição do erro normalizado, esperado (linha vermelha) versus observado (linha azul)



Os resíduos assim analisados, não passaram no teste efetuado com 5 classes, o que já era esperado em função das limitações do ajustamento sinalizadas anteriormente. Com isto verificou-se que os resíduos não apresentaram uma distribuição normal, como já o teste da variância havia mostrado. Observa-se que os resultados na classe central são, em número, maiores ao esperado, situação que se repete nos extremos.

O próximo teste realizado é o de Barda, que usa a chamada equação “data-snooping”

$\hat{r}_i = \frac{r_i}{\sigma_{r_i}}$, que divide cada resíduo pela sua variância. Neste teste, usa-se a função de

probabilidade F , e a hipótese básica de que o resíduo está livre de erros, é rejeitada se o valor

absoluto de \hat{r}_i é maior que um determinado valor crítico, a um determinado nível de confiança.

Este teste usou os valores de 3,3 e 4,1 para o cálculo do valor crítico, correspondendo a probabilidade de 0,1% e 20% para os erros de tipos I e II respectivamente. O valor crítico calculado de 4,96, não detectou nenhuma observação suspeita de conter erros grosseiros.

5.3 Análise do desvio padrão das estações ajustadas e resíduos dos desníveis entre as estações

O desvio padrão das estações variou entre alguns mm e 0,24 m como mostra a Tabela 05.

Tabela05: Estatísticas do desvio padrão ajustado

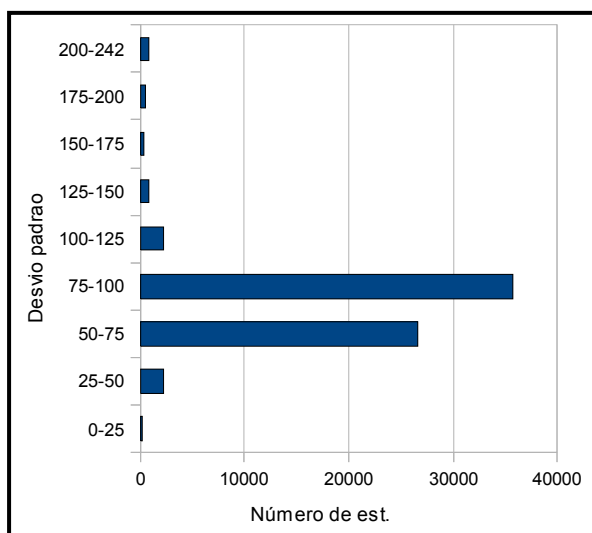
Desvio Padrão (m)	
Média	0,080
Mín.	0,001
Máx.	0,242

A Tabela 06 e o gráfico 05 mostram a distribuição do desvio padrão, separado por classes de 25 mm, salientando que a maioria das estações encontra-se no intervalo de até 10 cm e os maiores valores do desvio padrão, correspondem a estações afastadas das estações origens da rede.

Tabela 06: Distribuição do desvio padrão separado por classes de 25 mm

Desvio Padrão	Nº de Estações
0 - 25	181
25 - 50	2314
50 - 75	26630
75 - 100	35811
100 - 125	2233
125 - 150	763
150 - 175	356
175 - 200	458
200 - 242	868
Total	69614

Gráfico 05: Distribuição do Desvio Padrão



A Figura 29 mostra a espacialização dos desvios padrões das estações ajustadas.

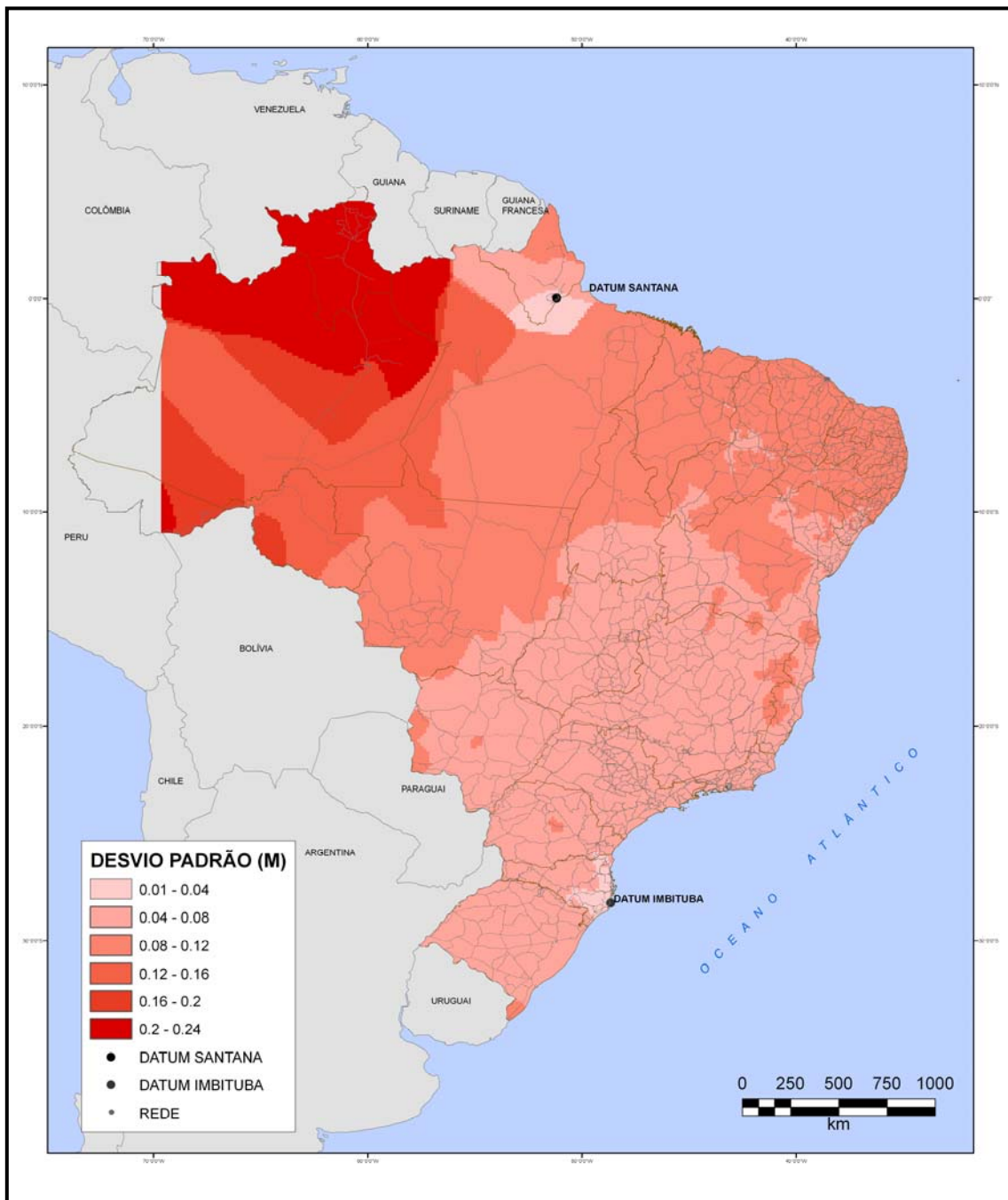


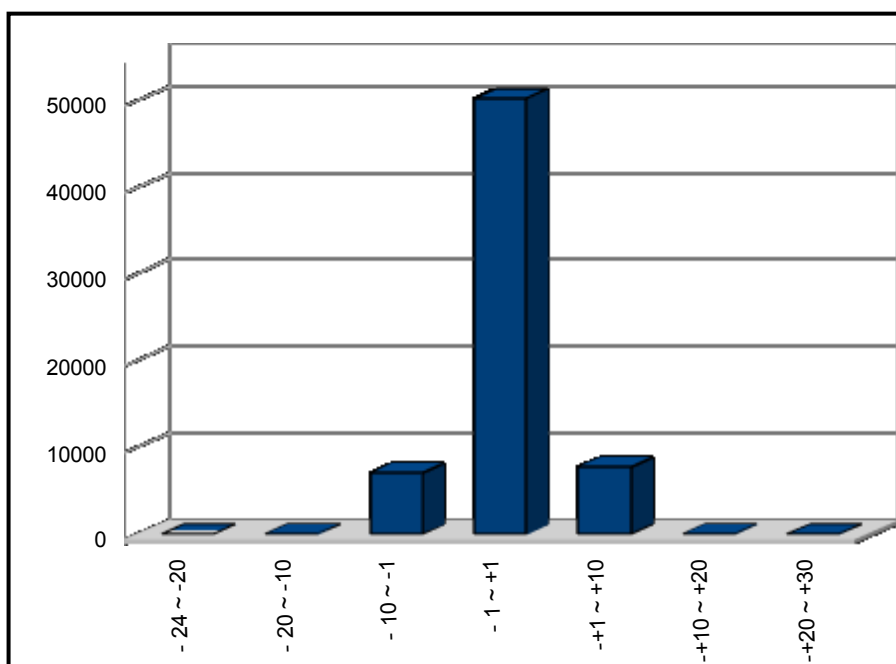
Figura 29: Distribuição do Desvio Padrão

Os resíduos dos desníveis entre estações foram analisados, assim como o seu desvio padrão antes e depois do ajustamento, como mostram a Tabela 07 e o Gráfico 06.

Tabela 07: Estatísticas dos resíduos

	Resíduo	DP <i>a priori</i>	DP <i>a post.</i>
Média	0,01	5,57	6,45
Mín.	-23,80	0,30	0,22
Máx	30,35	30,00	29,05

Gráfico 06: Distribuição dos resíduos



Como mostrado nos quadros anteriores, praticamente toda a rede, 99,7%, está com os resíduos do desnível entre estações no entorno de ± 10 mm e um pouco mais de 76% tem os resíduos dos desníveis no entorno de 1 mm, bem melhor que padrões exigidos para levantamentos de alta precisão.

5.4 Comparação das altitudes BDG 2011 x *GHOST* 2011

Os resultados do ajustamento simultâneo e completo da Rede Altimétrica, utilizando o sistema *GHOST* em maio de 2011 foi comparado com os valores das altitudes das RRNN que constavam no BDG também em maio de 2011.

Essa comparação foi realizada em relação à classificação das altitudes das estações no BDG como Ajustada - Alta Precisão.

Em maio de 2011 havia 47127 RRNN classificadas como Ajustada - Alta Precisão no BDG, dentre as quais, aproximadamente 50% das altitudes apresentaram diferenças em relação ao ajustamento no *GHOST* de até 10 cm.

A Figura 30 apresenta a espacialização das RRNN com diferenças nas altitudes, distribuídas nas seguintes classes: até 5 cm, de 5 a 10 cm, de 10 a 20 cm, de 20 a 30 cm, de 30 a 40 cm e acima de 40 cm.

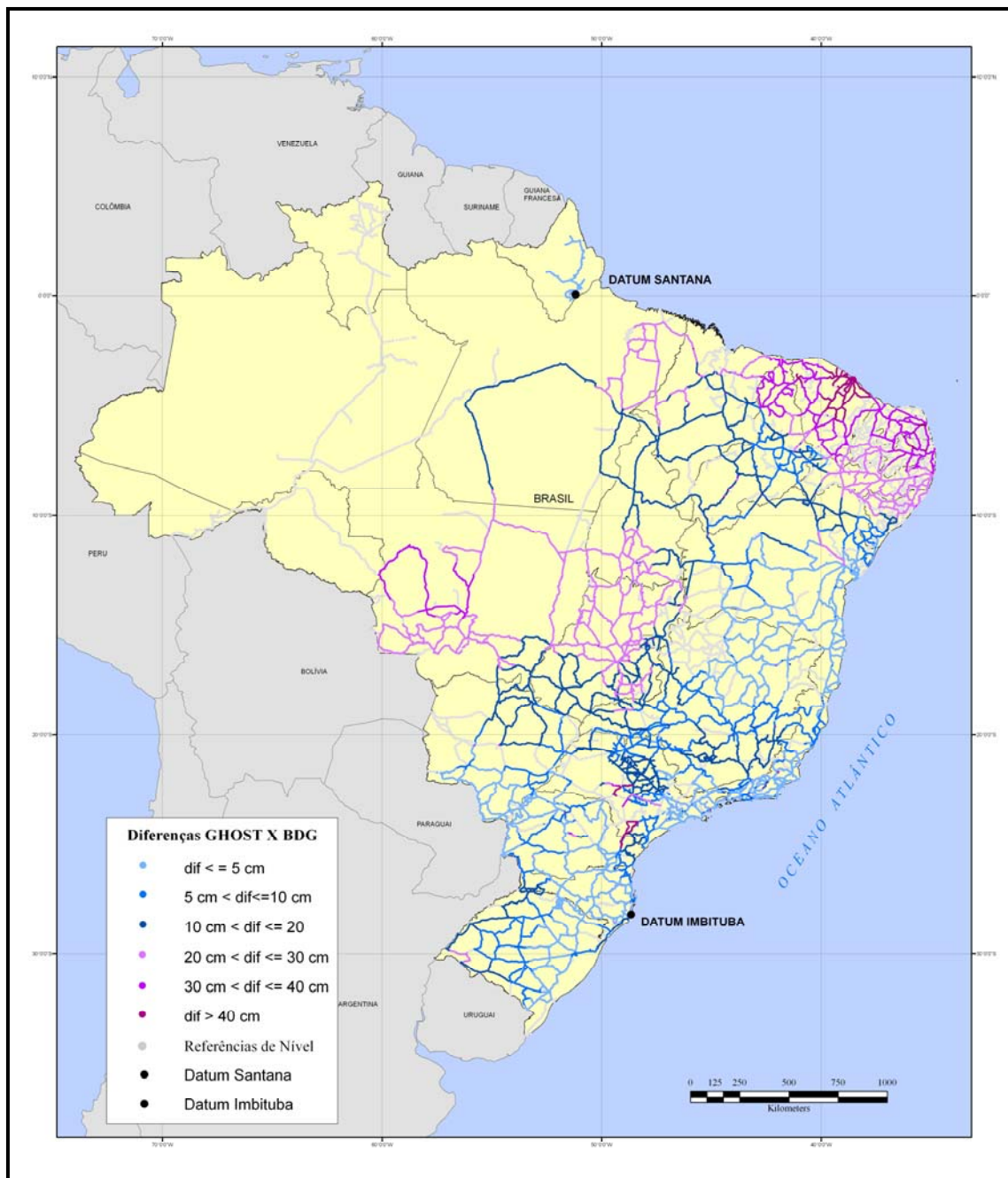


Figura 30: Diferenças *GHOST* x BDG

Apenas 3% das estações apresentaram diferenças superiores a 40 cm e a diferença máxima encontrada foi de 71 cm.

6. TRABALHOS APRESENTADOS E EVENTOS REALIZADOS DURANTE O PROCESSO DE AJUSTAMENTO DA REDE ALTIMÉTRICA

Desde o início do ajustamento da rede altimétrica, o projeto DALTI divulga seus resultados parciais em forma de artigos e/ou apresentações à comunidade técnico-científica, por meio de congressos (Cartografia), conferências (CONFEGE), colóquio (Ciências Geodésicas), *workshop* e reuniões (AGU e SIRGAS), assim como em eventos internos promovidos na Diretoria de Geociências (DGC) e na Coordenação de Geodésia (CGED).

Para cada evento foi desenvolvido um artigo e/ou apresentação, com a seguinte cronologia:

2005

✓ Setembro:

XXII Congresso Brasileiro de Cartografia (CBC): Trabalho apresentado de forma oral, realizado no período de 26 a 30 de setembro, na cidade de Macaé/RJ;

✓ Novembro:

Reunión Comité Ejecutivo SIRGAS: “Atividades brasileiras referentes ao projeto SIRGAS” apresentado pela Dr.^a Sonia Maria Alves Costa, em Caracas /Venezuela;

2006

✓ Abril:

Evento interno da CGED: Apresentação sobre os resultados do ajustamento da Rede Altimétrica, no dia 25 de abril de 2006, Rio de Janeiro/RJ;

✓ Maio:

IV CONFEGE: Trabalho apresentado de forma oral no II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais, através da IV Conferência Nacional de Cartografia e Geografia (CONFEGE), realizado no período de 21 a 25 de maio, na cidade do Rio de Janeiro/RJ;

IV CONFEGE: Mesa Redonda intitulada “Evolução tecnológica na determinação de altitudes”, na cidade do Rio de Janeiro/RJ;

2007

✓ Junho:

Reunión Comité Ejecutivo SIRGAS: “Atividades brasileiras referentes ao projeto SIRGAS” apresentada pela Dr.^a Sonia Maria Alves Costa na reunião do comitê executivo SIRGAS, realizado nos dias 07 a 09 de junho, na cidade de Bogotá/Colômbia;

✓ Julho:

II SBG e V CBCG: Artigo apresentado de forma oral denominado “Avaliação Preliminar das Realizações da Componente Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro”, no evento realizado no período de 24 a 27 de julho, na cidade de Presidente Prudente/SP;

✓ Outubro:

XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia (CBC): Artigo apresentado de forma oral, realizado no período de 21 a 24 de outubro, na cidade do Rio de Janeiro/RJ;

✓ Novembro:

Workshop: intitulado “Evolução tecnológica na determinação de altitudes”, em prosseguimento ao que foi discutido na mesa redonda da IV CONFEGE, onde foi apresentado o *status* atual do ajustamento da Rede Altimétrica e perspectivas futuras após o término deste ajustamento. Este evento foi realizado no dia 08 de novembro na cidade do Rio de Janeiro/RJ;

2008

✓ Maio:

Reunión SIRGAS 2008 y Celebración de los cien años de la Geodesia en Uruguay: “Atividades recentes do SIRGAS no Brasil” feita pela Dr.^a Sonia Maria Alves Costa e Dr. Luiz Paulo Souto Fortes na reunião do SIRGAS em comemoração aos 100 anos da geodésia no Uruguai, realizado nos dias 28 e 29 de maio, na cidade de Montevidéo/Uruguai;

✓ Novembro:

Evento interno da CGED: Apresentação sobre os resultados do ajustamento da Rede Altimétrica, realizada nas dependências da CGED, com a presença dos

representantes das Gerências de Geodésia e Cartografia (GGCs), no dia 18 de novembro na cidade do Rio de Janeiro/RJ;

2009

✓ Novembro:

Evento interno da CGED: apresentação sobre os resultados do ajustamento da Rede Altimétrica, realizado nas dependências da CGED, com a presença dos representantes das unidades de levantamento do IBGE - GGCs, no dia 30 de novembro, na cidade do Rio de Janeiro/RJ;

Reunión SIRGAS 2009, celebrada en el marco de la Asamblea Científica “Geodesy for Planet Earth de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG)”: contribuição para a apresentação “Atividades do GT-III/SIRGAS em 2008-2009-2010 ...” na reunião do SIRGAS, realizado de 31 de agosto a 04 de setembro, na cidade de Buenos Aires/Argentina;

2010:

✓ Maio:

XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia (CBC): Trabalho apresentado de forma oral no, realizado no período de 16 a 20 de maio, na cidade de Aracaju/SE;

✓ Agosto:

Evento interno da CGED: Apresentação sobre os resultados finais do ajustamento da Rede Altimétrica, no dia 04 de agosto de 2010, Rio de Janeiro/RJ;

Meeting of the Americas AGU (American Geophysical Union): Artigo em forma de pôster intitulado “*Current Stage of Adjustment of Rede Altimétrica (Rede Altimétrica de Alta Precisão - Altimetric Network of High Precision) of SGB (Sistema Geodésico Brasileiro - Brazilian Geodetic System)*”, realizado de 08 à 12 de agosto, na cidade de Foz do Iguaçu/PR;

Evento interno da CGED: Apresentação sobre os resultados finais do ajustamento da Rede Altimétrica, para os representantes das instituições (UFPR, UNESP, UFF e IME) no dia 27 de agosto, Rio de Janeiro/RJ;

✓ Novembro:

Reunión SIRGAS 2010, celebrada en el marco de la 42 Reunión del Consejo Directivo del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH): Conteúdo sobre os resultados do ajustamento da Rede Altimétrica, na apresentação feita pelo Dr. Luiz Paulo Souto Fortes, realizado nos dias 11 e 12 de novembro, na cidade de Lima/Peru.

Exemplificando a importância dessa iniciativa, a seguir destacam-se alguns trechos retirados das conclusões geradas no *Workshop* “Evolução Tecnológica na determinação de Altitudes”:

“ ...

- *Para o estabelecimento de uma rede de referência vertical única para a América do sul é necessário solucionar alguns problemas como: falta de dados (gravimétricos, altimétricos e de GPS) em grandes áreas do país, conexão altimétrica de todas as estações SIRGAS e conexão da rede vertical brasileira com os países vizinhos (nesse ano foi dado início a conexão (Santana do Livramento/Brasil – Rivera/Uruguai);*
- *O ajustamento simultâneo da rede que está sendo desenvolvido é um compromisso da Instituição com a comunidade usuária em gerar um conjunto de altitudes com maior consistência possibilitando a disponibilização do desvio padrão e/ou erro relativo e, assim, não existir mais a classificação dos valores da altitude, como alta precisão ajustada, fora das prescrições ou preliminar. Logo, é necessário que o IBGE mantenha um equilíbrio entre o caráter científico e o de atendimento aos usuários, visto que não existem somente estações sem uma precisão associada, mas também estações que foram medidas e nunca tiveram altitude, e por isso a ênfase no tratamento e reajustamento da rede.*
- *Ficou claro que o importante nesse momento não é definir qual será a altitude adotada pelo Brasil, mas sim o ajustamento da rede vertical com gravidade e determinação do número geopotencial.*

- *É de grande importância a visita e manutenção das estações geodésicas com objetivo de manter a integridade da rede e atualização do Banco de Dados Geodésicos e assim planejar melhor novos levantamentos. E, para isso, é necessário maior compromisso da Instituição e até conscientização e parceria de outros órgãos como o DNIT, por exemplo.*
- *Foi constatada a importância de continuar investindo na rede de marégrafos com GPS contínuo e eventualmente gravímetro, para estudo de movimentos da crosta e se chegar a conclusão de como o nível do mar está variando...”*

7. CONCLUSÕES , RECOMENDAÇÕES E AÇÕES FUTURAS

Realizou-se no IBGE o ajustamento da Rede Altimétrica do SGB com todas as informações calculadas simultaneamente.

Esse ajustamento apresentou algumas limitações, das quais as mais importantes são: a dependência em apenas duas estações fixas (uma no Datum Santana e outra no Datum Imbituba), ausência de injunções, falta de redundância nas observações, ou seja, o grau de liberdade da rede é muito pequeno em relação à quantidade de observações, dificultando a análise dos resultados; e a aceitação de observações com baixa qualidade (ainda existem algumas poucas seções com resíduos entre 2 e 3 cm) no intuito de não perder vinculações ou consistência na rede. Além disso, algumas seções foram desconsideradas do ajustamento por apresentarem problemas nos desníveis, sendo necessária a sua remedição. Os respectivos valores das altitudes dessas estações com inconsistências serão desativados do Banco de Dados Geodésicos e, como foi dito anteriormente, as RRNN provenientes de ramais (linhas abertas, sem fechamento de circuito), serão disponibilizadas no BDG com um texto explicativo e sem o valor do desvio padrão da altitude.

Os resultados finais concordam com os desvios padrão estimados *a priori* de 2,5 mm \sqrt{k} nos desníveis ajustados e desvios padrão máximo de 24 cm nas altitudes obtidas. As diferenças entre as altitudes que estão no BDG, classificadas como Ajustada Alta Precisão, e as determinadas no ajustamento foram de, no máximo, 71 cm, sendo que em 70% das RRNN essa diferença não ultrapassa 20 cm.

Encontrar diferenças de altitudes em ajustamentos é totalmente aceitável, pela metodologia aplicada (antes particionado e agora simultâneo) e a introdução de novas observações. Como exemplo de diferenças encontradas, cita-se o ajustamento do *Datum Vertical Norte Americano (NAVD 88)*, onde em análises preliminares, as diferenças entre as alturas ortométricas referidas ao *NAVD 88* para o *National Geodetic Vertical Datum de 1929 (NGVD 29)*, variaram entre -40 a 150 cm, sendo que no Alasca as diferenças variaram de 94 a 240 cm.

Recomendações e ações futuras:

- Planejamento para renivelamento de linhas e circuitos rejeitados no ajustamento; densificação de vazios de informações; solução de linhas sem controle de erro de fechamento;
- Devido ao pouco grau de liberdade, são necessárias remedições para o aumento de redundância nas observações e melhoria da análise do ajustamento
- Testes com a utilização das estações pertencentes à RMPG (injunções) para controle e detecção de inconsistências na rede;
- Planejamento para viabilização do ajustamento da rede com gravidade para fins de cálculo dos números geopotenciais, considerando a necessidade de dados gravimétricos sobre a Rede Altimétrica; e
- Conforme dito anteriormente, na Região Amazônica, a Rede Altimétrica tem sua geometria prejudicada pela falta de alternativas para estabelecimento de circuitos. Com isso, as grandes linhas envolvidas são mais vulneráveis à incidência de problemas não detectáveis pelos controles de qualidade usuais. Assim, recomenda-se a adoção de cuidados adicionais em trabalhos nessa região, tais como a utilização de um número maior de RRNN para validação dos respectivos desníveis (renivelamento).

8. REFERÊNCIAS

Alencar, J. C. M. 1968. Sistema Nacional de Nivelamento de 1ª Ordem. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/canal_artigos>.

Alencar, J. C. M. 1990. Datum Altimétrico Brasileiro. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/canal_artigos>.

Barda, W. 1967. *Statistical Concepts in Geodesy. Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, New Series, Vol. 2, Nº 4*

Barda, W. 1968. *A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks. Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, New Series, Vol. 2, Nº 5*

Beattie, D. S. 1987. Program GHOST User Documentation. Geodetic Survey of Canada, Ottawa.

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

Beserra, H. 1952. Ajustamento da Rede de Nivelamento. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/canal_artigos>.

Brazilian Journal of Geophysics - Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro Vol.19,N.3,p.325-328.

Gemael, C. 1994. Introdução ao ajustamento de observações, Editora UFPr, Curitiba – PR, Brasil, 319 páginas.

Heiskanen, W.; Moritz, H. 1985. Geodesia Física, Instituto Geográfico Nacional, Espanha, 371 páginas.

IBGE, 1983. Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos. Resolução do Presidente (R. PR) n. 22 de 21/julho/1983. Boletim de Serviço n. 1602. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_normas.shtm>.

IBGE, 1991. Relatório Técnico nº1: Resultados preliminares do ajustamento global da Rede Altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 31 páginas.

IBGE 2005a. Breve histórico da Rede Altimétrica do IBGE, em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/altimetrica.shtm?c=3>, 08/08/2005.

IBGE 2005b. Relatório do Ajustamento da Rede Planimétrica do IBGE, em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/REL_sad69.pdf, 08/08/2005.

IBGE, 2008. Padronização de Marcos Geodésicos. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_normas.shtm>.

Luz, R. T.; Guimarães, V. M. 2001. Realidade e Perspectivas da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/canal_artigos>.

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. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/canal_artigos>.

Luz, R. T. 2008. Estratégias para modernização da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e sua integração ao SIRGAS. Editora UFPR, Curitiba/PR, 2008, 228 páginas. Também disponível em: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Roberto_Teixeira_Luz_Tese_de_Doutorado.pdf>.

Luz, R. T., Freitas, S. R. C., Goldani, D., Di Maio, N. R., Subiza Piña, W. H., Pinheiro, R.R., Santos, C. C. S. 2007. Avaliação Das Realizações Da Componente Vertical Do Sistema Geodésico Brasileiro. Presidente Prudente/SP. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/canal_artigos>.

Mattos, A. H. 1948. Ajustamento Preliminar de uma Rede de Nivelamento. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/canal_artigos>.

Pope, A. J. 1976. *The Statistics of Residuals and the Detection of Outliers.* NOAA Technical Report NOS 65 NGS 1, U. S. Dept. of Commerce, Rockville, U.S.A.

Ribeiro, G.P. 1989. Ajustamento altimétrico desenvolvido através do método das equações de observação e com análise estatística dos resultados, Editora UFPR, Curitiba – PR, Brasil, 245 páginas.

Ribeiro, G. P.; Luz, R. T. 1991. Resultados Preliminares do Ajustamento Global da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/canal_artigos>.

Subiza Piña, W. H. e Sousa, M. A., 2001. O Estado da Base de Dados Gravimétricos do Observatório Nacional (BDG-ON) Situação em junho, 2001. Brazilian Journal of Geophysics (Soc. Bras. Geofísica, Rio de Janeiro Vol.19, N. 3, p. 325-328.

Steeves, R. 1983. *Mathematical models for use in the readjustment of the North American geodetic networks, Technical Report 1, GSD, Canada, 33 páginas.*

Steeves, R. R., Fraser, C. S. 1987. *Statistical Post-Analysis of Least Squares Adjustment Results. Papers for the CISM Adjustment and Analysis Seminars, Canadian Institute of Geomatics, Krakiwsky, E.J., editor.*

Zilkoski, D. B., Richards J. H. and Young, G. M. 1992. *Special Report Results of the General Adjustment of the North American Vertical Datum of 1988, presented at American Congress on Surveying and Mapping Surveying and Land Information Systems, Vol. 52, No. 3, pp.133-149.*

Equipe técnica

Diretoria de Geociências

Coordenação de Geodésia

Maria Cristina Barboza Lobianco

Técnicos responsáveis

Claudia Cristina Cunha Santos da Silva

Daniel Goldani

Nívia Régis Di Maio Pereira

Renato Rodrigues Pinheiro

Walter Humberto Subiza Piña

Marcus Alves de Vargas

Wanderley Santos da Silva