



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Reajustamento Global da Rede Altimétrica de Alta Precisão - RAAP do SGB, utilizando o Sistema GHOST

XXII Congresso Brasileiro de Cartografia
Macaé - Setembro / 2005

Renato Rodrigues Pinheiro (renatopinheiro@ibge.gov.br)

Walter Humberto Subiza Pina (humbertopina@ibge.gov.br)

Claudia Cristina Cunha Santos (cccunha@ibge.gov.br)

Valéria Guimarães Carvalho (valeriamg@ibge.gov.br)

Nívia Régis di Maio Pereira (nivia@ibge.gov.br)

Diretoria de Geociências - DGC
Coordenação de Geodésia – CGED

Sumário

1 Introdução

1.1 Breve Histórico da RAAP

2 Ajustamento da Rede Altimétrica de Alta Precisão

2.1 Metodologia

2.2 Preparação dos dados

2.3 Resultados

2.4 Comparação das Altitudes

3 Conclusões

1 Introdução

O último ajustamento global da Rede Altimétrica de Alta Precisão - RAAP do SGB aconteceu no início da década de 90. Passado mais de 10 anos, foram inseridas novas observações através de nivelamento geométrico sendo necessário um reajustamento global agora simultâneo, de toda a rede. No último ajustamento a rede foi dividida em macrocircuitos e os mesmos foram ajustados individualmente devido a capacidade limitada de cálculo do programa utilizado, o que não ocorre com a utilização do GHOST.

1.1 Breve Histórico (1)

- Em 1945, a Seção de Nivelamento (SNI) da Divisão de Cartografia (DC) do IBGE, iniciava os trabalhos de Nivelamento Geométrico, que originou na Rede Altimétrica de Alta Precisão - RAAP do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB;
- EM 1946, foi efetuada a conexão com a Estação Maregráfica de Torres, permitindo o cálculo das altitudes das Referências de Nível já implantadas, para servir de suporte em obras como: construções de rede coletora de esgoto, drenagem de água, barragens, pontes, viadutos, etc.;
- Em 1958, quando a rede contava com mais de 30.000 km de linhas de nivelamento, o *datum* de Torres foi substituído pelo *Datum* de Imbituba, definido pela estação mareográfico instalado na cidade de mesmo nome no Estado de Santa Catarina. Tal substituição teve melhoras significativas na definição do sistema de altitudes uma vez

1.1 Breve Histórico (2)

- Em 1993, com o objetivo de aprimorar o *datum* altimétrico, o IBGE começou a operar a estação maregráfica de Copacabana, transformando-se em uma estação experimental para finalidades geodésicas. Hoje o IBGE opera 4 estações maregráficas (Salvador - BA, Macaé - RJ, Imbituba - SC e Santana - PA), formando a Rede Maregráfica Permanente para Geodésica - RMPG (figura 1);
- Com o objetivo de homogeneizar as altitudes da RAAP, é executado periodicamente o ajustamento das observações altimétricas oriundas das diversas campanhas de nivelamento.



Figura 1

2 Ajustamento da Rede Altimétrica de Alta Precisão - RAAP do SGB

2.1 Metodologia (1)

- Para a realização deste novo ajustamento, foi utilizado o sistema GHOST (*Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data*), que consiste numa série de programas escritos na linguagem Fortran na década de 80 pelo *Geodetic Survey Division of Canadá*, com a finalidade de realizar ajustamentos paramétricos pelo método dos mínimos quadrados (MMQ) (Gemael, 1994);
- O modelo matemático é descrito em (Steeves, 1983) e permite a combinação de dados observados em forma convencional como direções, distâncias, azimutes e diferenças de nível, assim como as observações da tecnologia por satélites. O ajustamento requer uma definição inicial de coordenadas em termos de latitude, longitude e altitude;

2.1 Metodologia (2)

- O sistema GHOST possibilita o ajustamento de redes geodésicas através de dois métodos diferentes, um método padrão para redes de porte médio e menores, onde não é necessário a decomposição em blocos e um ajustamento por *Helmert Blocking* para grandes redes. Neste estágio do projeto, a separação dos dados em blocos não foi necessária, processando-se os dados no método padrão.

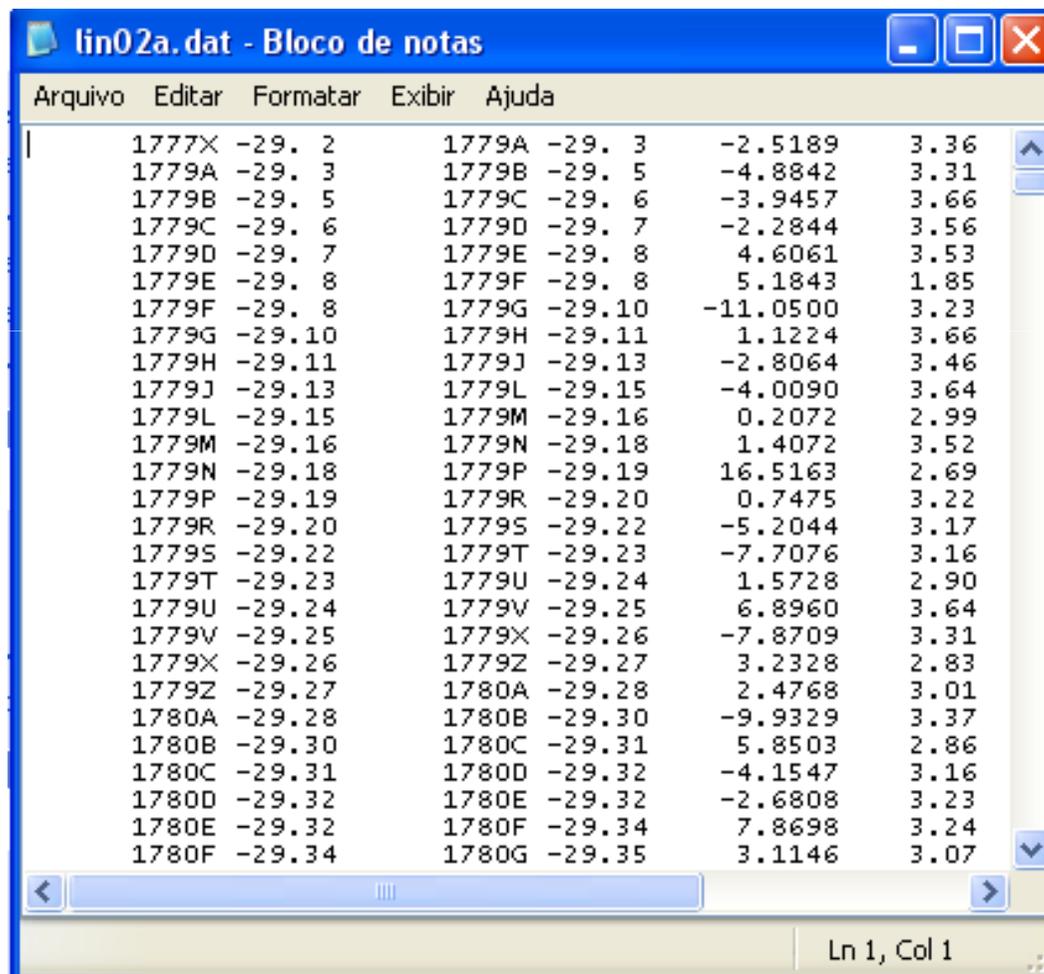
2.2 Preparação dos Dados (1)

Conversão de arquivos para formato de entrada no GHOST.

- Dois tipos de arquivos (AGP e BDG) foram formatados para entrada no GHOST. O arquivo com formato AGP (figura 2) está composto do desnível e a distância entre as estações e o formato BDG (figura 3) contém a estação e as suas respectivas coordenadas (latitude, longitude e altitude).

2.2 Preparação dos Dados (2)

Formato AGP



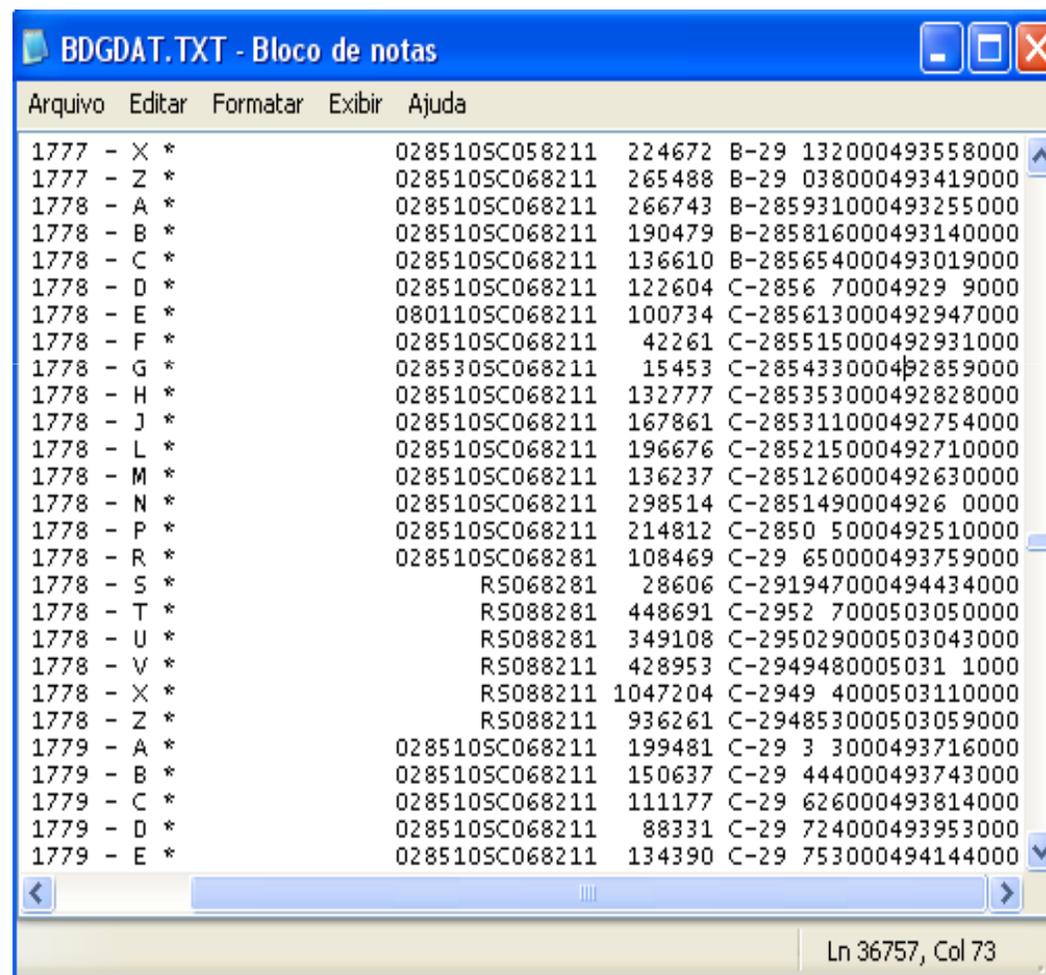
| Arquivo | | Editar | | Formatar | | Exibir | | Ajuda | |
|---------|--------|--------|--------|----------|--|--------|--|-------|--|
| 1777X | -29. 2 | 1779A | -29. 3 | -2.5189 | | 3.36 | | | |
| 1779A | -29. 3 | 1779B | -29. 5 | -4.8842 | | 3.31 | | | |
| 1779B | -29. 5 | 1779C | -29. 6 | -3.9457 | | 3.66 | | | |
| 1779C | -29. 6 | 1779D | -29. 7 | -2.2844 | | 3.56 | | | |
| 1779D | -29. 7 | 1779E | -29. 8 | 4.6061 | | 3.53 | | | |
| 1779E | -29. 8 | 1779F | -29. 8 | 5.1843 | | 1.85 | | | |
| 1779F | -29. 8 | 1779G | -29.10 | -11.0500 | | 3.23 | | | |
| 1779G | -29.10 | 1779H | -29.11 | 1.1224 | | 3.66 | | | |
| 1779H | -29.11 | 1779J | -29.13 | -2.8064 | | 3.46 | | | |
| 1779J | -29.13 | 1779L | -29.15 | -4.0090 | | 3.64 | | | |
| 1779L | -29.15 | 1779M | -29.16 | 0.2072 | | 2.99 | | | |
| 1779M | -29.16 | 1779N | -29.18 | 1.4072 | | 3.52 | | | |
| 1779N | -29.18 | 1779P | -29.19 | 16.5163 | | 2.69 | | | |
| 1779P | -29.19 | 1779R | -29.20 | 0.7475 | | 3.22 | | | |
| 1779R | -29.20 | 1779S | -29.22 | -5.2044 | | 3.17 | | | |
| 1779S | -29.22 | 1779T | -29.23 | -7.7076 | | 3.16 | | | |
| 1779T | -29.23 | 1779U | -29.24 | 1.5728 | | 2.90 | | | |
| 1779U | -29.24 | 1779V | -29.25 | 6.8960 | | 3.64 | | | |
| 1779V | -29.25 | 1779X | -29.26 | -7.8709 | | 3.31 | | | |
| 1779X | -29.26 | 1779Z | -29.27 | 3.2328 | | 2.83 | | | |
| 1779Z | -29.27 | 1780A | -29.28 | 2.4768 | | 3.01 | | | |
| 1780A | -29.28 | 1780B | -29.30 | -9.9329 | | 3.37 | | | |
| 1780B | -29.30 | 1780C | -29.31 | 5.8503 | | 2.86 | | | |
| 1780C | -29.31 | 1780D | -29.32 | -4.1547 | | 3.16 | | | |
| 1780D | -29.32 | 1780E | -29.32 | -2.6808 | | 3.23 | | | |
| 1780E | -29.32 | 1780F | -29.34 | 7.8698 | | 3.24 | | | |
| 1780F | -29.34 | 1780G | -29.35 | 3.1146 | | 3.07 | | | |

Ln 1, Col 1

Figura 2

2.2 Preparação dos Dados (3)

Formato BDG



The screenshot shows a Notepad window titled "BDGDAT.TXT - Bloco de notas". The window contains a list of data entries, each consisting of a line number, a letter, an asterisk, a code, a number, and a string. The entries are as follows:

| | | | | | |
|------|-------|----------------|---------|----------------------|-----------------|
| 1777 | - X * | 028510SC058211 | 224672 | B-29 | 132000493558000 |
| 1777 | - Z * | 028510SC068211 | 265488 | B-29 | 038000493419000 |
| 1778 | - A * | 028510SC068211 | 266743 | B-285931000493255000 | |
| 1778 | - B * | 028510SC068211 | 190479 | B-285816000493140000 | |
| 1778 | - C * | 028510SC068211 | 136610 | B-285654000493019000 | |
| 1778 | - D * | 028510SC068211 | 122604 | C-2856 | 70004929 9000 |
| 1778 | - E * | 080110SC068211 | 100734 | C-285613000492947000 | |
| 1778 | - F * | 028510SC068211 | 42261 | C-285515000492931000 | |
| 1778 | - G * | 028530SC068211 | 15453 | C-285433000492859000 | |
| 1778 | - H * | 028510SC068211 | 132777 | C-285353000492828000 | |
| 1778 | - J * | 028510SC068211 | 167861 | C-285311000492754000 | |
| 1778 | - L * | 028510SC068211 | 196676 | C-285215000492710000 | |
| 1778 | - M * | 028510SC068211 | 136237 | C-285126000492630000 | |
| 1778 | - N * | 028510SC068211 | 298514 | C-2851490004926 0000 | |
| 1778 | - P * | 028510SC068211 | 214812 | C-2850 | 5000492510000 |
| 1778 | - R * | 028510SC068281 | 108469 | C-29 | 650000493759000 |
| 1778 | - S * | RS068281 | 28606 | C-291947000494434000 | |
| 1778 | - T * | RS088281 | 448691 | C-2952 | 7000503050000 |
| 1778 | - U * | RS088281 | 349108 | C-295029000503043000 | |
| 1778 | - V * | RS088211 | 428953 | C-2949480005031 1000 | |
| 1778 | - X * | RS088211 | 1047204 | C-2949 | 4000503110000 |
| 1778 | - Z * | RS088211 | 936261 | C-294853000503059000 | |
| 1779 | - A * | 028510SC068211 | 199481 | C-29 | 3 3000493716000 |
| 1779 | - B * | 028510SC068211 | 150637 | C-29 | 444000493743000 |
| 1779 | - C * | 028510SC068211 | 111177 | C-29 | 626000493814000 |
| 1779 | - D * | 028510SC068211 | 88331 | C-29 | 724000493953000 |
| 1779 | - E * | 028510SC068211 | 134390 | C-29 | 753000494144000 |

The status bar at the bottom right of the window indicates "Ln 36757, Col 73".

Figura 3

2.2 Preparação dos Dados (4)

- Foi construído um programa que converte os dois arquivos (AGP e BDG) num arquivo no formato GHOST (figura 4);
- Este arquivo contém uma lista de estações e alguns códigos específicos para ajustamento de dados altimétricos.

2.2 Preparação dos Dados (5)

Formato GHOST

```

RAAP.txt - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
C
C REDE DE CONTROLE VERTICAL BRASILEIRA - IBGE
C DEPARTAMENTO DE ALTIMETRIA
C 27 JUNHO 2005
C
C MACRO CIRCUITOS 01,02,03,04,11,12 - Linhas principais 01-17,18-21 22-25, 26-28
C Macro circuitos 13,14,15,16 -
C Macro circuitos 17,18,19 - LP 40,41,45,46,48,49
C COORDENADAS INICIAIS
C Estacao vinculada ao Datum Imbituba
4      4X      -28 14 8      - 48 39 26      8.6362
C Estacoes nodais da rede principal
4      9049C    -27 42 0      - 48 40 0      19.6584
4      1900S    -27 28 41     - 53 24 8      546.3097
4      1719B    -24 6 18      - 54 14 17     271.0169
4      2015S    -25 4 54      - 50 11 26     945.9466
4      2050Z    -26 1 42      - 48 51 37     43.3092
4      1777X    -29 1 32      - 49 35 58     22.4672
10
C Macro circuito 01
C LP01
4      1900S    -27 28 41     - 53 24 8      546.309
4      1900T    -27 28 59     - 53 23 54     551.521
4      1900U    -27 29 39     - 53 23 24     552.613
4      1900V    -27 30 57     - 53 22 34     545.363
4      1900X    -27 32 26     - 53 21 57     547.682
4      1900Z    -27 34 1      - 53 21 8      558.985
C FIM DE COORDENADAS INICIAIS
C
C COMECAM LEITURAS DE DESNIVEIS
54t55 0.00020      0.0 0.0
C
C      Linha LP01.01
14t    1900S      1900T      5.2111      0.824
14t    1900T      1900U      1.0923      1.567
14t    1900U      1900V     -7.2499      1.773
14t    1900V      1900X      2.3196      1.845
14t    1900X      1900Z     11.3043      1.686
14t    1900Z      1901A      6.5648      1.773
14t    1901A      1901B     12.0024      1.776
C
99
  
```

Figura 4

2.1 Preparação dos dados (6)

- Uma vez completo o arquivo de entrada, o software usa uma série de programas seqüenciais para ler os dados, preparar e minimizar a matriz de equações normais, ajustar, listar os resíduos e analisar os resultados obtidos, em termos de coordenadas ajustadas e desvios padrão;
- Cada linha de nivelamento foi submetida previamente ao programa CRITCOOR (Crítica de Coordenadas) para identificação e eliminação de erros em coordenadas e descontinuidade na seqüência das estações geodésicas; Após a primeira análise das linhas no Critcoor, os arquivos foram convertidos para o formato de entrada no GHOST, onde o desvio-padrão à priori é de 2,5 mm, uma vez que a variância de peso é uma questão arbitrária e não influi no vetor das incógnitas (Gemael, 1994, 7.6);

2.1 Preparação dos dados (7)

- Após a análise das linhas, foram montados os macrocircuitos num único arquivo, incorporados um a um e verificada em cada etapa a existência de erros;
- Foi realizada também, a correção do não paralelismo das equipotenciais, pela fórmula (Ribeiro, 1989):

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

H_m = altitude média da seção de nivelamento considerada
 = latitude média da seção

φ_m = diferença de latitudes entre os extremos da seção

$\Delta\varphi$ e C_2 = coeficientes do campo de gravidade normal, sendo os valores: $C_1 = 0,0053023655$ e $C_2 = -0,00000059$.

2.1 Preparação dos dados (8)

- A correção do não paralelismo das equipotenciais, permitiu a redução na ordem de 2 cm no desvio-padrão final das estações;
- A estatística do arquivo de entrada é a seguinte:

| | |
|------------------------------|-------|
| Estações de ajustamento | 14569 |
| Estações fixas | 38 |
| Diferenças de nivelamento | 14588 |
| Equações normais | 14530 |
| Graus de liberdade do ajuste | 58 |

- As estações fixas são os nodais que formam os 20 macrocircuitos da rede (figura 5), na qual foram ajustados com referência à estação 4 X que é a origem do *Datum*.



Figura 5 - Macrocircuitos da RAAP

2.3 Resultados (1)

- O fator de variância calculado no ajustamento foi de 0,8546, indicando que a variância do peso inicial foi adequada;
- Foi realizada a análise da discrepância da variância *a priori* e *a posteriori* das observações, executando um teste de hipótese baseado na distribuição χ^2 num intervalo de confiança de 95%;

$$\chi^2_{S, 1-\frac{\alpha}{2}} < \chi^{*2} < \chi^2_{S, \frac{\alpha}{2}}$$

- O χ^2 é calculado através da fórmula do $\frac{V^T P V}{S}$ na qual V é a matriz dos resíduos e P a matriz dos pesos;
- O valor obtido (49,566), foi comparado com os valores na tabela de distribuição do χ^2 fornecendo os seguintes resultados:

2.3 Resultados (2)

$31,877 < 49,566 < 79,156$ para $S = 58$

- A hipótese básica não foi rejeitada ao nível de significância de 95%, o que mostra a ausência de erros grosseiros nas observações.
- Na figura 6, observamos os respectivos desvios-padrão das estações geodésicas que compõem a RAAP.

2.3 Resultados (3)

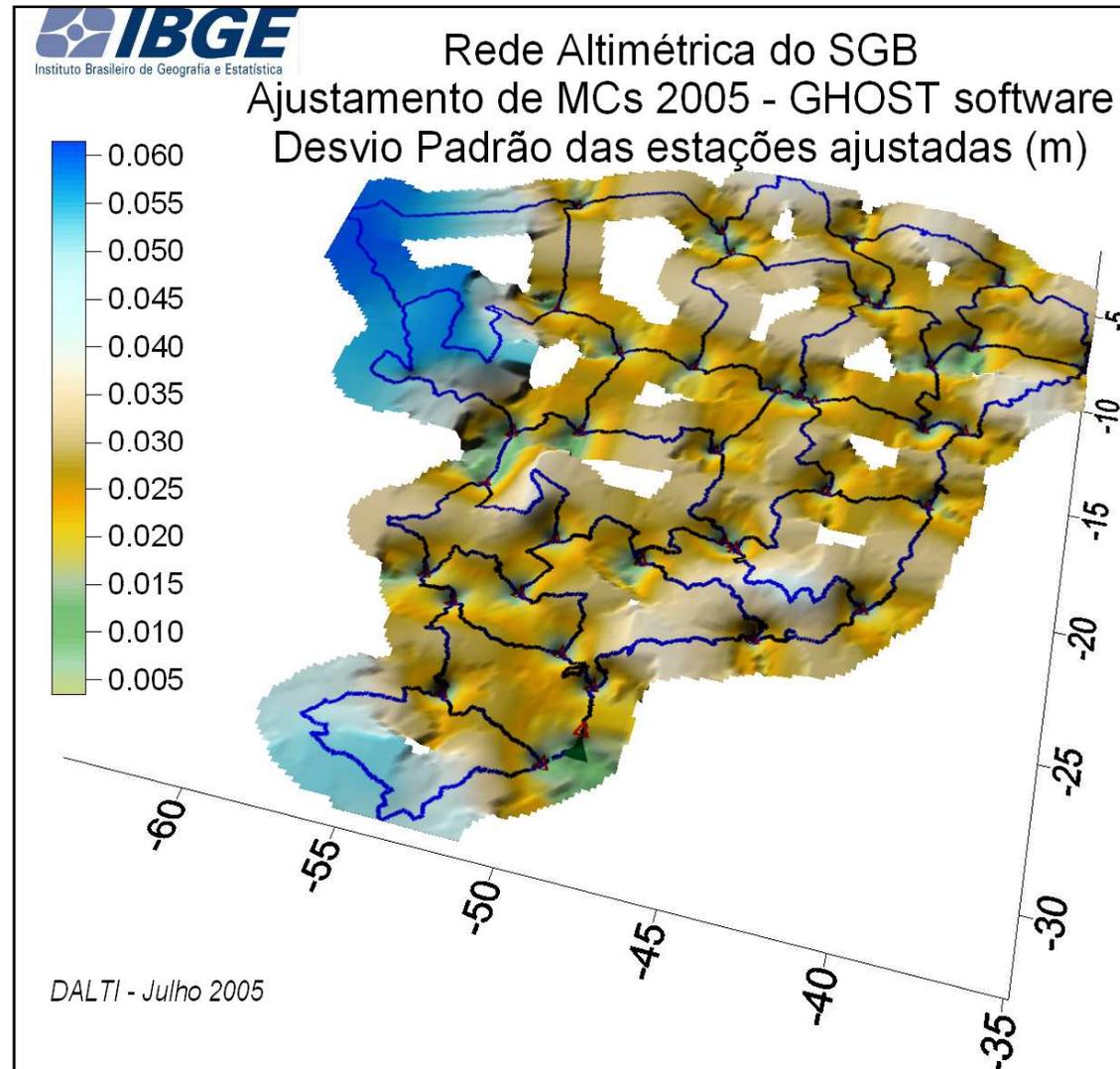


Figura 6

2.3 Resultados (4)

- O Ajustamento gerou os dados estatísticos contidos na tabela 1 (desvio-padrão das altitudes ajustadas) e na tabela 2 (resíduos das observações em metros) :

| Desvio Pad (m) | |
|----------------|--------|
| Média | 0,0288 |
| DP | 0,0128 |
| Mín | 0,0002 |
| Máx | 0,0616 |

Tabela 1

| | Resíduos | DPapriori | DPapost |
|---------------|----------|-----------|---------|
| Média | -0,027 | 4,126 | 3,807 |
| DP | 0,246 | 0,675 | 0,622 |
| Mínima | -0,857 | 0,250 | 0,231 |
| Máxima | 1,687 | 7,788 | 7,091 |

Tabela 2

2.3 Resultados (5)

A Tabela 1 é representada no Gráfico 1.

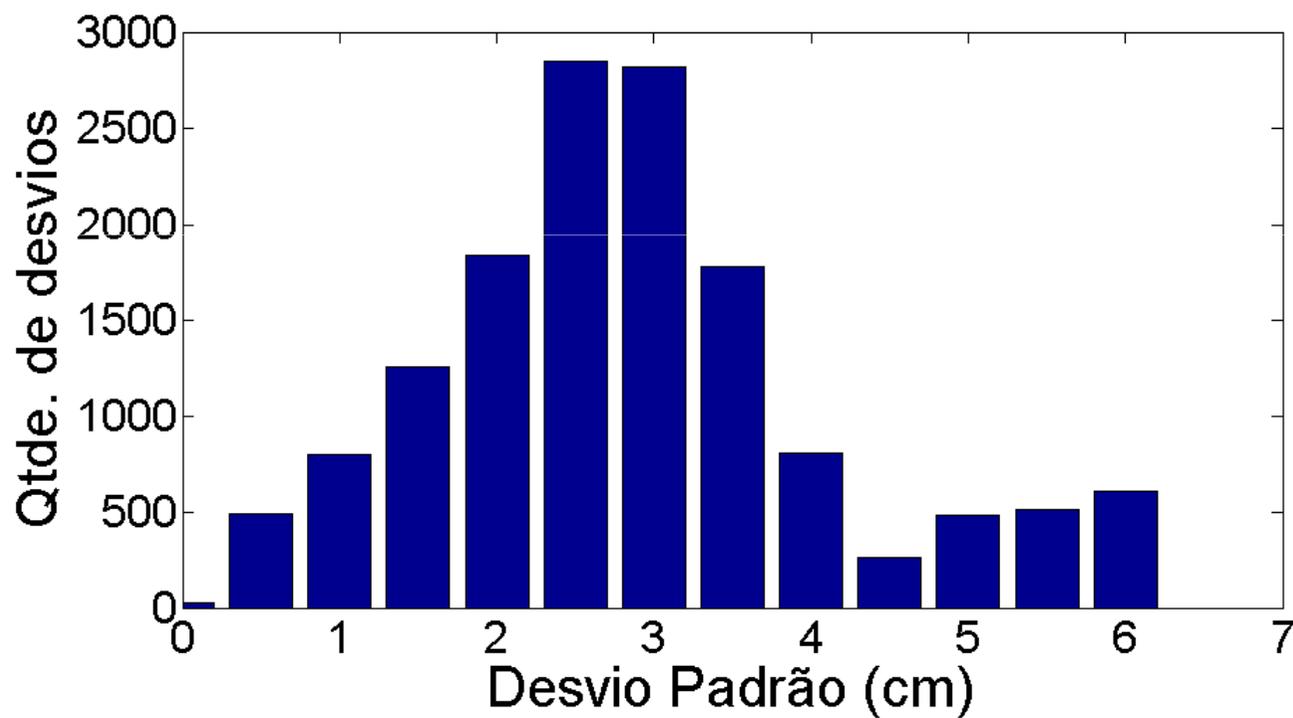


Gráfico 1

2.3 Resultados (6)

A Tabela 2 é representada no Gráfico 2.

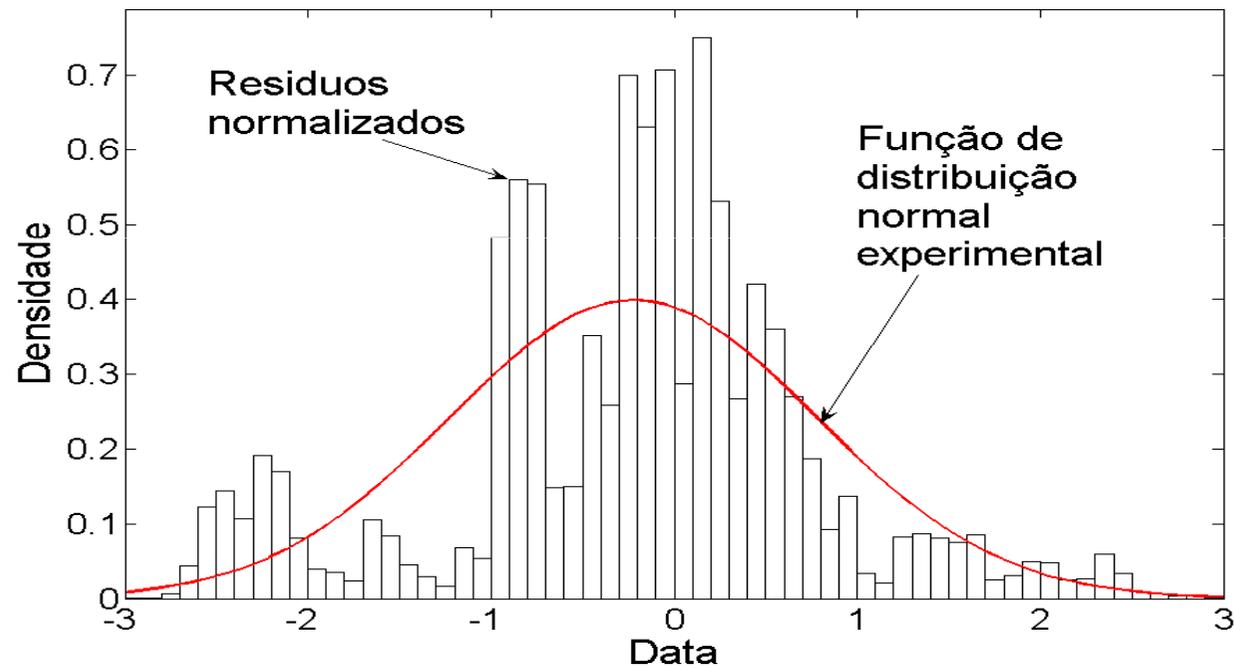


Gráfico 2

2.4 Comparações das Altitudes (1)

- Foram realizadas comparações entre o último ajustamento (Ajustamento Altimétrico Global Preliminar - AAGP) e o realizado no GHOST;
- Diferenças de altitudes superiores a 1 cm são representadas em vermelho na figura 7. A linha principal 57 já havia sido rejeitada no ajuste no AAGP, mas verificou-se com a integração das altitudes num único ajuste, que o problema pode realmente encontrar-se na linha principal 54.

2.4 Comparações das Altitudes (2)

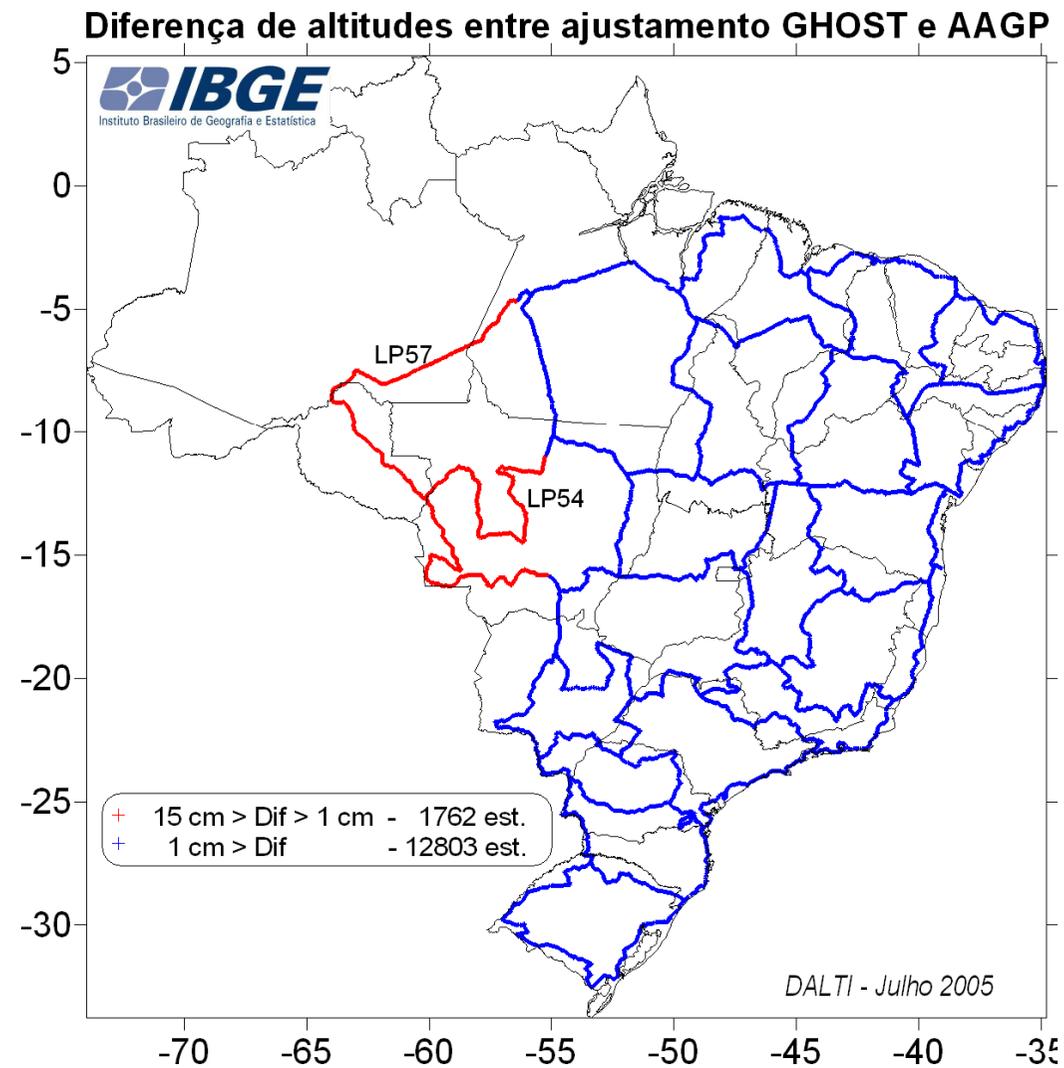


Figura 7

2.4 Comparações das Altitudes (3)

- A inclusão no ajustamento das linhas internas dos macrocircuitos, será outra etapa do trabalho a ser executada na seqüência pelo projeto DALTI.

3 Conclusões

- Pela primeira vez, realizou-se no IBGE um ajustamento simultâneo de toda a Rede Altimétrica de Alta Precisão - RAAP a nível de linhas principais dos macrocircuitos;
- Os resultados finais concordam com os desvios padrão estimados *priori* de $2,5 \text{ mm} \sqrt{k}$ nos desníveis ajustados e desvios padrão máximo de 6 cm nas altitudes obtidas;
- Utilização futura das estações pertencentes a RMPG para controle e detecção de erros na rede;

3 Conclusões

- Pela primeira vez, realizou-se no IBGE um ajustamento simultâneo de toda a Rede Altimétrica de Alta Precisão - RAAP a nível de linhas principais dos macrocircuitos;
- Os resultados finais concordam com os desvios padrão estimados *priori* de $2,5 \sqrt{k}$ mm nos desníveis ajustados e desvios padrão máximo de 6 cm nas altitudes obtidas;
- Utilização futura das estações pertencentes a RMPG para controle e detecção de erros na rede;

**Missão do IBGE : Retratar o Brasil, com informações
necessárias ao conhecimento da sua realidade e ao
exercício da cidadania**

Coordenação de Geodésia - CGED

- informações do BDG
- consultas técnicas
- publicações
- cooperação técnico-científica

Banco de Dados Geodésicos:

**<http://www.ibge.gov.br/> GOECIÊNCIAS -> GEODÉSIA
BANCO DE DADOS do item SGB**

geodesia@ibge.gov.br - fax 21-2142-4859