

# RESULTADOS PRELIMINARES DO AJUSTAMENTO DA REDE PLANIMÉTRICA DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

SONIA MARIA ALVES COSTA  
LUIZ PAULO SOUTO FORTES  
Departamento de Geodésia - DGC - IBGE  
Av. Brasil 15.671 - Parada de Lucas  
Rio de Janeiro - RJ - CEP 21.241  
Brasil

## RESUMO

Nos últimos dez anos, o Departamento de Geodésia do IBGE vem desenvolvendo as atividades do projeto de ajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) a partir de um tratamento homogêneo e global às observações constituintes. Este trabalho tem por objetivo descrever os tipos de observação utilizados no ajustamento, o software empregado para desenvolver o ajuste através do método Helmert Blocking e as etapas de preparação dos dados, incluindo a elaboração dos blocos para o ajuste parcial e global. Por fim, são apresentados os primeiros resultados obtidos nos ajustes.

## ABSTRACT

For the past ten years the Department of IBGE Geodesy has been involved in a project to adjust the Brazilian Horizontal Network in a homogeneous way utilizing a global treatment of observations. The purpose of this paper is to describe the different types of observation, the software used to do that adjustment utilizing a Helmert Blocking technique and the steps required to prepare and analyze the data. The blocking strategy for both the global and partial adjustment is described. Finally, the first results obtained from the adjustment are presented.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o início da implantação da Rede Planimétrica de Alta Precisão, na década de 40 os métodos e instrumentos utilizados na obtenção das coordenadas planimétricas vem sofrendo grandes evoluções, principalmente no que diz respeito a precisão. A necessidade de processar todos estes dados em um único ajuste sempre foi um grande desafio para o IBGE, pelos seguintes motivos:

. armazenagem de todas as observações em meio magnético e sua posterior crítica, e;

. implantação de um software capaz de ajustar essa imensa massa de dados em uma máquina com memória fisicamente limitada.

As observações terrestres clássicas (direções horizontais, bases geodésicas e azimutes de Laplace), coletadas no procedimento de triangulação, foram as primeiras a serem preparadas para o ajuste. Atualmente estão sendo processadas as observações associadas às poligonais de alta precisão. Serão também analisadas as observações oriundas da geodésia espacial (DOPPLER e GPS), visando sua posterior inclusão no ajuste.

Paralelamente a estas etapas, já de posse de todos os dados correspondentes em meio magnético, a rede de triangulação foi submetida à dois ajustes, parcial e global.

O ajuste parcial consistiu basicamente na divisão da rede em blocos, ajustando-os isoladamente e

independentemente uns dos outros. No ajuste de cada bloco foram consideradas apenas injunções mínimas. Esta etapa teve como objetivo a eliminação dos erros grosseiros nas observações. No ajuste global aplicou-se a técnica de Helmert Blocking para o processamento simultâneo de toda a rede.

O presente trabalho refere-se apenas aos resultados da rede de triangulação.

## 2. HISTÓRICO

Contando atualmente com 5988 pontos, a Rede Planimétrica do SGB possui coordenadas geodésicas obtidas através do uso de diferentes métodos e instrumentos, tais como: triangulação, poligonação, DOPPLER e GPS. Além disso, é importante ressaltar que no decorrer dos anos essas coordenadas foram ajustadas considerando diferentes métodos e sistemas geodésicos[Sonia & al, 1991]

O primeiro ajuste com auxílio do computador foi executado pelo Inter American Geodetic Survey (IAGS) na década de 70. Já nesta época o sistema de referência adotado era o SAD-69 (South American Datum 69) e tendo sido utilizado o sistema denominado HAVOC (Horizontal Adjustment by Variation of Coordinates). Em uma etapa posterior, a parte restante da rede clássica foi ajustada pelo IBGE empregando-se o programa USHER (Users System for Horizontal Evaluation and Reduction). A metodologia empregada considerava a rede subdividida em áreas, com a manutenção das coordenadas das estações de junção, provenientes de um ajuste anterior, nas etapas subsequentes. Tal procedimento evidentemente inseriu distorções nas coordenadas das estações, mas foi necessário adotá-lo face à limitada capacidade de processamento do sistema utilizado no ajuste e à indisponibilidade de memória do sistema adotado, impossibilitando o processamento simultâneo de uma extensa massa de dados.

## 3. SISTEMA GHOST

O sistema GHOST (Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data) é formado por um conjunto de programas que utilizam a modelagem tri-dimensional para o ajuste por mínimos quadrados de redes geodésicas [GHOST, 1987]. Sua principal característica é o emprego da técnica de Helmert Blocking na decomposição e ajuste de redes geodésicas de dimensões continentais, tal como a brasileira [Steeves & AL,1983].

Este sistema foi utilizado pelo Canadá no Projeto NAD-83. No IBGE, a partir de convênio existente entre as instituições correspondentes, este sistema encontra-se implantado em microcomputador PC nos sistemas DOS e OS2 e em máquinas HP e SUN, no sistema operacional UNIX.

A opção pelo modelo matemático tridimensional foi feita em decorrência do grande esforço computacional exigido pelos softwares que utilizam a modelagem clássica (bi-dimensional), nos quais as observações são reduzidas à superfície matemática (elipsóide), antes do ajuste. Utilizando-se o modelo tridimensional reduz-se consideravelmente o tempo de processamento, o que foi comprovado através de um teste feito com um trecho da rede de 245 pontos em um PC 386 de 20 MHz submetido no programa USHER (o qual faz uso do modelo clássico) e no GHOST. Na primeira situação, o processamento consumiu cerca de 5 horas, enquanto que com o sistema GHOST foram consumidos cerca de 25 minutos.

Este software também fornece duas opções para o processamento de redes geodésicas: o padrão e o que faz uso da técnica de Helmert Blocking.

No ajustamento padrão, as redes são ajustadas como um todo, não havendo partição em blocos menores. Este processo consiste na execução sequencial dos principais programas que compõem o sistema.

O processamento de uma rede através da técnica de Helmert Blocking consiste na sub-divisão de grandes matrizes

de equações normais em outras menores que são resolvidas parcialmente[Sonia & al, 1991]. Este procedimento é desenvolvido por um programa utilitário, que em função das coordenadas dos vértices de um polígono separador faz a divisão de um bloco de um nível superior ("parent") em dois no nível inferior ("sibling"). Este programa também faz a identificação das estações de ligação entre blocos chamadas de estações de junção. Neste caso é feita a opção para a solução parcial das equações normais, ou seja, as estações de junção têm seus parâmetros resolvidos a priori em um nível superior ("parent") para posterior resolução dos parâmetros internos de cada bloco em um nível inferior ("sibling").

A figura 1 mostra a subdivisão da rede de triangulação brasileira em níveis "parent" e "sibling" com vistas ao ajuste por Helmert Blocking.

#### **4. CRÍTICA E ELABORAÇÃO DOS ARQUIVOS DE DADOS**

Para que um conjunto de dados seja ajustado com êxito, a crítica e análise são tarefas indispensáveis antes do ajustamento. As observações utilizadas no ajuste parcial e global da rede de triangulação são cerca de 60302 direções horizontais armazenadas em 114 arquivos, 412 estações de Laplace e 275 bases geodésicas, que foram tratadas nos seguintes projetos de suporte : CDH (Crítica das direções horizontais), PROASTRO (reprocessamento das estações de Laplace) e REBASE (reprocessamento das bases). O máximo de cuidado foi tomado para que fossem utilizadas todas as observações na ligação entre cadeias. Para tanto, estas observações foram controladas através da representação gráfica de cada arquivo de direções horizontais nos esquemas da rede geodésica por unidade da federação .

Esta etapa do projeto consumiu cerca de 5 anos e somente no segundo semestre de 1992 ( término dos projetos suporte) é que foi iniciado o ajustamento da rede de triangulação.

Deste modo, foi elaborado um programa que realiza a junção dos arquivos

de direções horizontais, bases e azimutes, para a montagem do arquivo de dados no formato do sistema GHOST. Como o sistema é não linear devem ser fornecidas coordenadas e altitudes preliminares para todas as estações envolvidas . Para tanto, estão sendo utilizados os resultados dos ajustes anteriores.

#### **5. RESULTADOS DO AJUSTAMENTO PARCIAL**

O ajustamento parcial teve como objetivos principais a eliminação dos erros grosseiros ainda existentes nas observações e uma avaliação geral do comportamento de toda rede de triangulação. Os problemas concentraram-se nas áreas de reocupação ou replantação, cuja identificação dos pontos era dificultada face à carência de informações . Outro problema encontrado foi quanto ao instrumental e ao método de observação utilizado nas cadeias mais antigas, datadas de 1948.

Para alcançar o objetivo proposto, a rede foi dividida em 13 blocos. Cada bloco contém cerca de 300 estações. Quando estas atividades foram iniciadas, os ajustes ainda eram feitos em apenas microcomputador, justificando o reduzido tamanho adotado para cada bloco.

Neste ajustamento foram feitas as seguintes considerações(os elementos calculados referem-se aos obtidos a partir das coordenadas preliminares):

- As diferenças entre as direções horizontais calculadas e observadas não devem exceder 10".
- As diferenças entre as distâncias calculadas e as observadas não devem exceder 10 ppm.
- As diferenças entre os azimutes astronômicos calculados e observados não devem exceder 10".
- Caso as diferenças excedam os limites pré-estabelecidos acima , as referidas observações são analisadas, depuradas e se for o caso, excluídas do ajustamento , quando possível. Caso contrário a sua ponderação é revisada.

- O limite de convergência é de 0.00001".
  - A variância da unidade de peso a priori é 1.00.
  - O desvio-padrão de uma observação é dada em função do instrumental e do método utilizado na observação. Conforme as especificações e normas gerais para triangulação contidas no Boletim de Serviço n° 1602 (quadro II)[IBGE, 1983], foram adotados os seguintes desvios-padrão para as observações:
    - . Direções horizontais: 3ppm (ou 0.61879")
    - . Bases geodésicas: 1ppm (ou 1 cm)
    - . Azimutes astronômicos: 1ppm (ou 0.20626").
  - As observações cujos resíduos normalizados que excedam o valor de TAU, são eliminadas do ajuste.
- A opção de ajuste neste caso foi a padrão.
- Todos os blocos convergiram na terceira iteração.
- A tabela abaixo apresenta o resumo dos resultados de cada bloco no ajustamento parcial.

**BLOCOS COMPONENTES DO AJUSTE PARCIAL DA REDE PLANIMÉTRICA BRASILEIRA**

NÚMERO DE PONTOS	ESTADOS	NÚMERO DE DIREÇÕES	NÚMERO DE BASES	NÚMERO DE AZIMUTES	NÚMERO DE INCÓGNITAS	$s_0^2$ (Variância a posteriori)	TAU
322	RS	5029	29	33	1858	2.060	4.75
251	SC , RS , PR	4480	17	21	1738	4.288	4.72
338	SP	5309	21	24	2061	2.837	4.76
333	MT , MS	4608	18	28	1871	1.908	4.73
252	MG , ES	3774	14	17	1526	2.955	4.69
290	RJ , MG , ES	5391	13	16	1954	2.926	4.76
332	DF , GO	5439	17	18	2062	2.621	4.79
246	GO , MG	3955	20	23	1539	2.455	4.70
330	GO , MG	4713	17	21	1872	1.910	4.73
309	MG , BA	4555	12	12	1862	1.684	4.73
287	BA , PI , PE	3972	18	18	1606	2.241	4.70
374	NORDESTE	4925	32	32	1995	2.135	4.74
283	TO , MA , PI	4080	21	17	1639	2.230	4.70

## 6. RESULTADOS DO AJUSTAMENTO GLOBAL

Esta etapa objetiva a realização do ajuste global simultâneo de toda rede planimétrica da alta precisão do SGB. Em função do volume de dados envolvidos prevê-se evidentemente a utilização da técnica de Helmert Blocking no processo de ajustamento.

Na figura 1 é apresentado o diagrama de blocos proposto para o ajustamento global. Neste ajuste, a rede será dividida em 8 blocos gerando desta forma 4 níveis. Na figura 2 é apresentada a configuração dos blocos.

As estratégias adotadas para elaboração dos blocos foram as seguintes:

- Manter a integridade das ligações entre blocos. Para seu cumprimento, a rede foi sub-dividida através do programa BLOCK

- Deve-se adotar um número mínimo de estações de junção (ligação) na divisão dos blocos. Para tanto, foram feitos estudos para escolha dos vértices dos polígonos que separam os blocos.

O vértice Chuá (ponto origem do sistema SAD-69) foi o único ponto fixo no ajustamento.

As considerações iniciais adotadas neste ajustamento foram as mesmas do ajustamento parcial.

Foram ajustados 3575 estações, 58468 direções horizontais, 226 bases geodésicas e 251 azimutes astronômicos. O ajuste obteve convergência na terceira iteração após 15 minutos de processamento. A variância a posteriori obtida foi de 3.699.

## 7. CONCLUSÃO

As etapas desenvolvidas até o momento evidenciaram a necessidade de se melhorar a rigidez da rede em algumas

poucas áreas. Considerando a agilidade e precisão fornecida pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS), estão sendo utilizadas os métodos a ele associados com ajuste fim. O Distrito Federal e o estado do Rio de Janeiro foram as primeiras áreas da rede a serem reocupadas.

Pelo cronograma de desenvolvimento do projeto, prevê-se para o início do próximo ano a conclusão das atividades, com inclusão das observações DOPPLER e GPS, e consequente disponibilidade à comunidade usuária.

Considerando a tendência mundial de adoção de sistemas geodésicos de referência geocêntricos impulsionada pela necessidade crescente de integração das redes geodésicas implantadas por cada país, e a viabilidade técnica proporcionada pelo GPS para esta realização, pretende-se ainda, numa fase posterior, ajustar a rede tomando por referência sistema WGS-84 ou o mais adequado na ocasião.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Steeves, R.R & Junkins - Accumulation of the Cholesky Square Root in Helmert Blocking. Geodetic Survey Division, Surveys and Mapping Branch, Ottawa, 1983.
- Costa, S.M.C. & Fortes, L.P.S. - Ajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro. Trabalho apresentado no XV Congresso Brasileiro de Cartografia, São Paulo, 1991.
- Vincenty, T. & Bowring, B.R. - Application of three - Dimensional Geodesy to Adjustments of Horizontal Networks. Proceedings of the Second International to the Redefinition of North American Geodetic Network, Arlington, Virginia, USA, April 24 to 28, 1978.
- Geodetic Survey Data Dictionary - GHOST documentation - user instructions, 1987.

- IBGE, Boletim de Serviço nº1602 (suplemento), ano XXXII. Rio de Janeiro, 1 de janeiro de 1983. 11p.

## **9. AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de expressar nossos agradecimentos pela colaboração de Donald S. Beattie (autor do GHOST) na implantação do sistema no IBGE e ao Departamento de Documentação e Informação (DEPIN) quanto ao uso da estação SUN.