

Capítulo 10

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Como se sabe, a implantação de redes geodésicas é o primeiro passo rumo à padronização, uniformização e organização do sistema de mapeamento de um Estado ou município. A partir das redes estaduais é possível implantar as redes de referência cadastral dos municípios, que servem para apoiar a elaboração e atualização contínua de plantas cadastrais municipais, referenciar todos os serviços topográficos e de obras de engenharia em geral.

A materialização de sistemas de referências com redes geodésicas nacionais, estaduais e municipais, torna o país, os estados e os municípios independentes de sistemas de referência associados a sistemas de satélites implantados e controlados por outros países.

O objetivo principal deste trabalho, a implantação de uma rede geodésica no estado de Minas Gerais, foi plenamente alcançado. No entanto, para que esta rede, como qualquer outra, sirva a um número maior de usuários, é necessário adensá-la, levando pontos aos municípios, juntamente com um projeto de implantação de sistemas cartográficos municipais.

Este trabalho contou com a participação efetiva de vários municípios mineiros nas fases de implantação dos marcos e de levantamento dos dados, verificando-se o interesse em organizar os seus sistemas de mapeamento.

A seguir serão relatadas as conclusões e recomendações para cada item analisado neste trabalho.

10.1- Quanto ao levantamento de dados

Na campanha de observação devem ser ocupadas simultaneamente estações mais próximas umas das outras, ou seja, ocupar polígonos de forma próxima da circular e não alongadas como, por diversas razões, o IBGE teve que seguir, na observação da Rede Minas. Isto deve ser feito não unicamente por uma preocupação com a geometria; mas para tentar correlacionar melhor os erros sistemáticos residuais

na formação das duplas diferenças de fases. A forma próxima da circular deve-se ao fato de esta proporcionar distâncias mais homogêneas.

10.2- Quanto ao processamento e ajustamento dos dados

Os programas de processamento de observações aos satélites de navegação, atualmente existentes, não permitem que se escolha as duplas diferenças de fases independentes entre as estações mais próximas, o que levaria a uma melhor eliminação dos erros sistemáticos residuais. Seria interessante que essa opção fosse incluída pelo menos em algum deles.

A eliminação de *outliers* através do ajustamento com inunção mínima é uma tarefa extremamente laboriosa, mas melhora sensivelmente os resultados. Com o ajustamento livre, não só diminui o número de *outliers* eliminados, como o sigma zero *a posteriori* converge mais rapidamente do que quando se emprega inunção mínima.

Os desvios padrão dos vetores resultantes do processamento dos dados da Rede Minas pelo OMNI são otimistas. Para tentar tornar estes desvios realistas foi adotado, como fator de escala, um sigma zero *a priori* igual a 9,98; no entanto, existem outras formas de escalar as variâncias das observações que podem ser objeto de trabalhos futuros.

10.3- Quanto a considerar ou não as covariâncias entre diferentes vetores

Antes de eliminar *outliers*, praticamente não há diferença entre os desvios resultantes do ajustamento que considera e do que não considera as covariâncias entre diferentes vetores de uma mesma sessão. No ajustamento da Rede Minas estes desvios (para os dois casos) ficaram em, aproximadamente, 3 cm para a latitude, 7 cm para a longitude e 16 cm para a altura, com um nível de confiança de 95%.

As diferenças entre as coordenadas determinadas pelos dois métodos, sem eliminar *outliers*, estão por volta de 4 cm em latitude, 12 cm em longitude e 12 cm em altura, nos piores casos.

Após eliminar *outliers*, a consideração das covariâncias, aumenta ligeiramente (1,5 vezes) a precisão interna.

No plano do horizonte topocêntrico, um ponto determinado sem considerar as covariâncias pode não estar contido na região de aceitação para as coordenadas determinadas ao considerá-las, com um nível de confiança de 95%, devido, principalmente, às diferenças em longitudes; o que não se verifica para as alturas. As diferenças encontradas no ajustamento da Rede Minas para as longitudes estão abaixo de 10 cm e para as latitudes e alturas abaixo de 4 cm.

Embora as diferenças sejam pequenas, o fato de não considerar as covariâncias entre os diferentes vetores, observados simultaneamente em uma mesma sessão, desconsidera informações relevantes sem razão plausível, uma vez que se dispõe de programa científico, de código aberto e livre de restrições proprietárias, que pode ser utilizado.

Recomenda-se, portanto, o uso desse ou de outro programa equivalente que permita a consideração das covariâncias entre os diferentes vetores.

10.4- Quanto à eliminação de *outliers*

A eliminação de vetores considerados *outliers* leva a uma menor variância de referência *a posteriori* e, conseqüentemente, a uma melhor precisão interna da rede.

Na Rede Minas a raiz quadrada da variância de referência *a posteriori* caiu de 29,14 para 9,98, após eliminar 69 dos 261 vetores independentes observados. Uma vez que a rede é formada por 43 estações, o número de graus de liberdade do ajustamento final ficou em 450, o que ainda propicia uma boa confiabilidade. Os desvios, de todas as coordenadas, foram reduzidos à metade, aproximadamente.

Com a eliminação de *outliers* as coordenadas ajustadas se alteram. Na Rede Minas a maior alteração verificada, nos pontos de controle, foi da ordem de 13 cm para as três coordenadas. Será interessante mais adiante verificar a variação de todas as coordenadas.

Embora a eliminação de *outliers* seja uma tarefa laboriosa, ela é necessária não só para melhorar a precisão interna da rede, mas, principalmente, para dar maior

confiabilidade ao ajustamento, adequando as observações ao modelo estatístico adotado.

10.5- Quanto ao sistema de referência dos vetores

Considerar os vetores no ITRF97 ou no WGS84, não produz alteração significativa nos resultados estatísticos, ou seja, o sigma zero *a posteriori*, o rol de observações consideradas *outliers* e os desvios padrão resultantes não se modificam.

O efeito de não considerar os vetores no ITRF97 é maior nas alturas, sendo a maior diferença encontrada no ajustamento da Rede Minas, entre as estações de controle, igual a 5,2 cm, verificada na estação VICO. Para as latitudes e longitudes estes valores não chegaram a 2 cm.

Embora as diferenças sejam pequenas, os vetores processados com a utilização de efemérides precisas estão no ITRF97 e não se justifica a não transformação destes vetores quando se deseja ajustá-los no WGS84, uma vez que qualquer bom programa de ajustamento faz esta transformação.

10.6- Quanto à escolha de diferentes conjuntos de vetores

Antes de eliminar *outliers*, os vetores da estratégia com o maior número de estações de referência ajustam-se melhor em rede. A variância de referência e os desvios padrão diminuem. No entanto, o número de *outliers* eliminados para se chegar a um sigma zero adequado é praticamente o mesmo, e o grau de liberdade não é alterado substancialmente.

Após eliminar os vetores que provavelmente contêm erros grosseiros diminuem-se as diferenças existentes entre os desvios padrão obtidos com o ajustamento dos dois diferentes conjuntos de vetores. Para a Rede Minas a maior razão entre os desvios do primeiro ajustamento e aqueles obtidos com a maximização do número de estações de referência na formação das duplas diferenças, foi de 1,33. Para a estação BRAZ-1200, o semi-eixo maior da elipse dos erros aumentou 5 mm e para a estação LIMO-1610, diminuiu 7 mm. As demais variações, quando ocorreram, estão em torno de 2 mm.

Nas coordenadas verificam-se diferenças para as latitudes e longitudes de até 6 cm, como é o caso da estação LIMO-1610. Estas diferenças para BRAZ-1200 são da ordem de 2 cm para a latitude e longitude. Para as alturas geométricas as diferenças são menores.

Em princípio, se os erros sistemáticos e grosseiros são eliminados, ou bem modelados, e o modelo estocástico empregado representa efetivamente a precisão das observações, o resultado do processamento é independente das diferenças de fases escolhidas, uma vez que as fases observadas e utilizadas no processamento, serão as mesmas. No entanto, devido a dificuldades em modelar precisamente todas as fontes de erros, haverá erros residuais e estes podem ser eliminados diferenciando as observações. Partindo do princípio de que entre estações mais próximas estes erros são melhor correlacionados, as melhores duplas diferenças de fases serão aquelas entre as estações mais próximas e para obter mais duplas diferenças entre estações mais próximas, variam-se as estações de referência no processamento de diferentes sessões de um mesmo polígono.

As alterações verificadas nos desvios padrão e nas coordenadas das estações da Rede Minas, neste trabalho, por não serem sistemáticas nem significativas, não permitem afirmações conclusivas quanto a melhorias com a maximização do número de estações de referência.

10.7- Quanto à qualidade dos pontos adotados como controle

No ajustamento da Rede Minas com injunção mínima (qualquer que seja a estação fixada) os semi-eixos menor e maior da elipse dos erros, com 95% de confiança, estão por volta de 1,5 e 2,5 cm, respectivamente, e, para a altura, por volta de 8,5 cm, de onde se verifica a boa precisão interna da rede.

Ao fixar apenas CHUÁ verificam-se diferenças entre as coordenadas determinadas e as oficiais da estação BRAZ, por exemplo. Fixando apenas BRAZ verificam-se as mesmas diferenças para a estação CHUÁ, só que com sinais contrários. O mesmo se verifica para as demais estações de controle; o que leva a concluir pela boa rigidez da Rede Minas.

Ao fixar as seis estações consideradas como de controle neste trabalho, constata-se que a pior precisão relativa externa é de 1/1.400.000, entre as estações BRAZ e PARA. Liberando BRAZ a pior precisão relativa externa passa a ser 1/1.670.000, entre as estações CHUÁ e FRAN.

A fixação das coordenadas oficiais da estação BRAZ-91200 - divulgadas pelo IBGE no banco de dados de coordenadas geodésicas no SAD69 e nos arquivos com extensão rtf de informações da RBMC – deteriora a precisão da rede. O ajustamento da Rede Minas indica uma incorreção nas coordenadas desta estação de aproximadamente, 20 cm para oeste, 10 cm para o norte e 20 cm para cima. Em comunicação pessoal, o IBGE informou que de fato essa coordenada foi determinada com poucos dados, no início do funcionamento da mesma.

Com as coordenadas desta estação, constantes no relatório SIRGAS e que se presume que seja melhor, verifica-se que a sua posição, em relação a VICO, deslocou-se 5 cm para leste, 5 cm para o sul e 20 cm para cima, o que, de acordo com ajustamento feito neste trabalho, corrige parte dos erros na latitude e na longitude (por ser no sentido contrário da incorreção acima mencionada) e aumenta a incorreção na altura geométrica para 40 cm.

Ao liberar qualquer outra estação, o desvio padrão *a posteriori* da rede mantém-se praticamente o mesmo, sendo que para o caso de CHUÁ, há uma redução ligeiramente maior.

No ajustamento da Rede Minas, constatam-se também fortes indícios de que a altura geométrica da estação FRAN-1612 esteja cerca de 25 cm menor do que realmente é.

Fixando as coordenadas das estações da RBMC do relatório SIRGAS, constata-se que a rede se desloca cerca de 60 cm para oeste, 20 cm para o sul e 30 cm para cima (função dessa mudança de *datum*) e a pior precisão externa relativa fica na casa de 1/1.800.000 entre as estações CENT e CHAL, ao passo que fixando as coordenadas oficiais divulgadas no banco de dados do IBGE, a pior precisão foi de 1/1.400.000 entre estas mesmas estações.

O ajustamento realizado ponderando as coordenadas dos pontos de controle conduz a resultados melhores, porém, este método tem o inconveniente de alterar as coordenadas destes pontos.

Embora as coordenadas oficiais das estações BRAZ, CHUÁ e a altura de FRAN aparentam problemas da ordem de 10 a 25 cm, a precisão externa da Rede Minas, obtida fixando todos os pontos adotados como controle neste trabalho, é melhor que 1 ppm e, uma vez que a alteração de coordenadas já divulgadas causa transtornos aos usuários e aos órgãos que as divulgam e que está em andamento proposta de alteração do sistema de referência oficial do País, não se recomenda nenhuma alteração nas coordenadas oficiais do Sistema Geodésico Brasileiro.

Ao finalizar este trabalho, vale ressaltar que as coordenadas oficiais das estações da Rede Geodésica por GPS do Estado de Minas Gerais, serão aquelas divulgadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Vale destacar, de qualquer forma, que erros da magnitude do decímetro podem parecer grandes em termos absolutos e quando se pensa em trabalhos científicos. Mas muda de figura quando se pensa em termos de erros relativos, que são bastante pequenos e estão atingindo os limites da precisão do atual sistema GPS e são suficientes para os problemas da engenharia.

Nesse contexto, pode ser interessante e preferível divulgar essas coordenadas com uma certa presteza, pensando no benefício dos usuários, do que dilatar essa publicação esperando pela melhora de alguns milímetros ou mesmo centímetros.

10.8- Considerações finais

Outras análises foram feitas, como por exemplo a da pequena variação de coordenadas com a introdução mais precisa do valor da temperatura em cada estação.

Muitas variantes de ajustamentos poderiam ter sido testadas, inclusive com a fixação de outras estações, como por exemplo as dos estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo que tenham coordenadas oficiais divulgadas pelo IBGE. É de fato um tema que merece aprofundamentos.

Espera-se que este trabalho seja um considerável passo rumo à criação da infra-estrutura de vértices e à organização dos diversos mapeamentos, sistemáticos ou não, do Estado de Minas Gerais e que possa contribuir para uma maior interação entre as empresas e órgãos públicos que produzem e utilizam informações geográficas. Ter-se-á dado então uma contribuição à cartografia, principalmente aquela voltada para a engenharia, área em que se enquadra o presente trabalho.