

AJUSTAMENTO DE REDES GEODÉSICAS: ANÁLISE DAS DISTORÇÕES INERENTES AOS PROCESSOS DE DENSIFICAÇÃO E INTEGRAÇÃO. Maria Lígia Chuerubim, João Carlos Chaves. – Geociências - Engenharia Cartográfica - Departamento de Cartografia – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus de Presidente Prudente.

A revolução tecnológica marcada pelo advento de modernas tecnologias de posicionamento espacial como o GPS (*Global Positioning System*) e a conseqüente transição dos sistemas de referência de um sistema local para um geocêntrico, visando atingir níveis de acurácia compatíveis com os níveis internacionais, torna necessário estudos relacionados à integração e densificação de redes geodésicas, bem como das distorções inerentes a estes processos.

A estrutura de uma rede geodésica pode ser caracterizada por um conjunto de pontos materializados no terreno e conectados entre si, cujas posições foram determinadas por meio de observações e cálculos rigorosos. Isto possibilita a utilização destes resultados em diferentes aplicações geodésicas que necessitem de alta precisão como: monitoramento de movimentos da crosta terrestre (níveis globais, regionais ou locais); controle e segurança de estruturas, estudos relacionados à ionosfera, agricultura de precisão, entre outros.

No que concerne ao estabelecimento de redes geodésicas, a integração é considerada, em um sentido mais amplo, como a estrutura mínima necessária ao estabelecimento de futuros levantamentos, que podem ser adicionados a redes geodésicas já existentes a partir de métodos de ajustamento, ou ainda por processos de densificação de redes.

O problema existente na integração de uma rede geodésica decorre das mudanças de coordenadas das estações de referência, bem como de suas respectivas matrizes-covariância (MVC), isto é, se levantamentos adicionais realizados em épocas distintas, são incluídos a rede original ajustada, as coordenadas e a MVC das estações da nova rede serão, em geral, diferentes dos valores estimados para as mesmas, em função da presença de erros grosseiros e sistemáticos. As magnitudes destas diferenças dependem, fundamentalmente, da qualidade das redes primária e secundária.

À medida que as redes vão sendo implantadas, faz-se necessário sua vinculação àquelas já disponíveis, de modo que cada nova rede seja considerada uma extensão ou densificação das anteriores, o que requer ainda no planejamento do levantamento, que sejam ocupados vértices de redes contíguas, de modo a gerar uma conexão entre as mesmas.

A integração de dados de levantamentos executados por técnicas convencionais (triangulação, trilateração, pilogonação, entre outras) com levantamentos GPS, contribui tanto ao processo de atualização cartográfica quanto à minimização de custos e ao aumento da produtividade dos levantamentos geodésicos, com o aproveitamento dos marcos geodésicos pré-existentes, não sendo necessária a alocação de recursos para a construção e implantação de novos marcos.

A análise das distorções decorrentes do processo de densificação e integração de redes geodésicas por meio de modelos matemáticos de ajustamento, permite quantificar e avaliar a qualidade das observações obtidas por meio de técnicas convencionais e/ou espaciais de posicionamento, bem como detectar a propagação dos efeitos sistemáticos por toda a rede.

A solução deste problema é um dos objetivos da Geodésia, que busca minimizar ou mesmo eliminar tais distorções pelo processo de reajustamento, contribuindo para o desenvolvimento de inúmeras aplicações e pela manutenção e confiabilidade das estruturas geodésicas existentes.

Nesta perspectiva, realizou-se o ajustamento de uma rede horizontal composta por observações GPS, coletadas por dois receptores de simples frequência da marca Topcom 4600 pelo método de posicionamento relativo estático, rastreando-se simultaneamente dois vértices pertencentes ao IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), por um período de 20 minutos, e por observações angulares e lineares obtidas pela estação total SOKIA SET2100. Esta etapa envolveu o processamento e ajustamento dos dados no programa TGOOffice (*Trimble Geomatics Office*), com o intuito de avaliar a qualidade das observações, detectar e eliminar erros grosseiros, como também estimar e avaliar a precisão

de cada parâmetro envolvido nos processos de densificação e integração.

Esta etapa envolveu o processamento e ajustamento dos dados pelos métodos de sequencial, estações ponderadas e por injunções mínimas, com o intuito de avaliar a qualidade das observações, detectar e eliminar erros grosseiros, como também estimar e avaliar a precisão de cada parâmetro envolvido.

A solução pelo método sequencial baseia-se na divisão do conjunto de observações em grupos, com os quais se executa um tratamento sequencial de ajustamento, ou seja, acrescenta-se aos grupos já ajustados, dos quais resulta uma estimativa da solução, um novo grupo de observações. O acréscimo de observações ao grupo original, implica numa correção da estimativa da solução já existente, o que conduz a uma nova estimativa, matendo-se a correlação entre os grupos considerados.

No método das estações ponderadas a MVC é introduzida junto às coordenadas das estações de controle e as observações da densificação, dentro dos rigorosos critérios do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). As novas coordenadas e as coordenadas estimadas são disponibilizadas para todas as estações incluídas.

Finalmente, no ajustamento por injunções mínimas quatro injunções mínimas são consideradas: coordenadas da origem, que impedem a translação; azimute, que evita a rotação e, finalmente, a distância, que impõem a escala. A adoção de tais injunções equivale a amarrar a rede ao sistema de coordenadas adotado.

Dentre os métodos de ajustamento estudados verificou-se que o método sequencial é recomendado para identificar causas de distorções em redes já que neste método, as parcelas da densificação, ou controle de redes, podem ser sequencialmente adicionadas, e assim analisadas separadamente, durante a integração.

Já o ajustamento pelas estações ponderadas é o mais indicado ao processo de integração de redes, já que utiliza a MVC de uma faixa de controle ao redor da densificação (esta faixa deve incluir estações comuns em ambas às redes). Este método apresenta algumas desvantagens, uma vez que depende de informações estatísticas para finalidades de análise, porque não permite a identificação de mudanças significativas nas variações de coordenadas, e ainda é limitado pelo tamanho da faixa (extensão da rede), o que implica em uma maior complexidade se as distorções forem significativas.

Por conseguinte, o ajustamento pelo método das injunções mínimas é muito utilizado em análises de densificação de levantamentos, porém não é indicado para se realizar o processo de integração. Neste método, selecionadas as estações e as observações que farão parte do ajustamento e atribuídos os valores às tolerâncias para que as observações sejam, ou não, consideradas *outliers*, é necessário ainda que se escolha uma estação cujas coordenadas serão mantidas fixas em todo o processo de ajustamento. Contudo, este método apresenta problemas decorrentes tanto de definição do datum quanto ao que se refere à singularidade.

No ajustamento das equações de observação, verificou-se que as novas coordenadas obtidas para, pelos métodos de ajustamento descritos, apresentam níveis estatisticamente aceitáveis, o que torna a implementação destes métodos viável aos propósitos em questão.

Estudos desta natureza são de extrema relevância ao Brasil em função de fatores como vasta extensão territorial e das dificuldades de acesso às regiões remotas; limitação do comprimento das redes geodésicas em decorrência das variações das distâncias físicas, que determinam as tolerâncias finais dos vetores ajustados, e da deficiência de redes ativas em território nacional, o conduz a necessidade de um tratamento adequado das observações por meio de métodos de ajustamento que permitam detectar e/ou minimizar as distorções inerentes aos processos de integração e densificação de redes, de forma que atenda às necessidades dos levantamentos geodésicos.

Referências Bibliográficas

- ANTUNES, C. **Método sequencial de ajustamento no tratamento de observações GPS**. Conferência de Cartografia e Geodésia: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 1996.
- CAMIL, G. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: UFPR, 1994.
- COSTA, S. M.; LIMA, M. A. A. **Ajustamento da rede planimétrica brasileira em SIRGAS2000**. IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas – IV CBCG. CBCG, Curitiba, 2005.
- DONALD, B. T. **Combination of the geodetic networks**. Technical Report nº 30. Canada: Department of Surveying Engineering: University of New Brunswick, 1976.
- MONICO, J. F.G. **Ajustamento e análise estatística de observações aplicados na detecção de deformações**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Dissertação (mestrado), Curitiba, 1998.
- MONICO, J. F.G. **Integração de redes GPS**. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba: v.3, p.82-84, 1998.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo, UNESP, 2000.
- STEEVES, R. R.; PENTON, C. R. **Guidelines for the integration of geodetic networks in Canada**. The canadian surveyor, vol.39, no. 3, p. 197-210, 1985.
- Trimble Geomatics Office DTLINK**. Software User Guide. Part number 36170-30-ENG. Revision A. U. S. A.: Trimble, 1999.

Bolsa: PROEX/ UNESP.