

ANÁLISE DAS DISTORÇÕES PRESENTES NOS PROCESSOS DE INTEGRAÇÃO E DENSIFICAÇÃO DE REDES GEODÉSICAS

Maria Lígia Chuerubim¹, João Carlos Chaves²

¹Universidade Estadual Paulista/ Cartografia, mchuerubim@gmail.com

²Universidade Estadual Paulista/ Cartografia, jcchaves@fct.unesp.br

Resumo: Este trabalho apresenta métodos alternativos de ajustamento utilizados na análise das distorções inerentes aos processos de integração e densificação de redes geodésicas. Neste contexto, experimentos envolvendo diferentes técnicas de posicionamento, como GPS (*Global Positioning System*), têm sido realizados, com o intuito de verificar a viabilidade de cada método, no que concerne ao ajustamento das equações de observação, de forma a propiciar informações necessárias às aplicações geodésicas como o monitoramento de movimentos da crosta terrestre (níveis globais, regionais ou locais), controle e segurança de estruturas e, em especial, no estabelecimento de redes geodésicas de alta precisão em território nacional.

Palavras chaves: Ajustamento de redes, Integração e Densificação.

Área do Conhecimento: Matemática (Ciências Exatas e da Terra)

Introdução

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 decorrentes 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, redes geodésicas de alta precisão passivas ou ativas, 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.

Nesta perspectiva, adotaram-se os métodos de ajustamento por estações ponderadas e seqüencial, como métodos alternativos de integração, visando a manutenção de coordenadas estáticas e a minimização da propagação de distorções por toda a rede, e ainda o método de ajustamento por injunções mínimas para análises de densificação contribuindo, portanto, ao processo de avaliação das distorções (*misfits*) presentes no processo de reajustamento de redes geodésicas.

Materiais e Métodos

As observações utilizadas nesta pesquisa foram coletadas pelo GPS da marca Topcom 4600, utilizando-se o método de posicionamento relativo estático, rastreado-se simultaneamente dois vértices pertencentes ao IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), por um período de 20 minutos, visando posteriormente, recalculando as coordenadas da estação UEPP pertencente a RBMC (Rede Brasileira Contínua), com a finalidade de se verificar as distorções presentes no processo de integração e densificação de redes.

Esta etapa envolveu o processamento e ajustamento dos dados pelos métodos de seqüencial, estações ponderadas e por inunções 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 seqüencial baseia-se na divisão do conjunto de observações em grupos, com os quais se executa um tratamento seqüencial 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 inunções mínimas quatro inunções mínimas são consideradas: coordenadas da origem (φ_0, λ_0), que impedem a translação; azimute (A_0), que evita a rotação e, finalmente, a distância (b_0) que impõem a escala. A adoção de tais inunções equivale a amarrar a rede ao sistema de coordenadas adotado.

Resultados

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

Discussão

O método seqüencial é recomendado para identificar causas de distorções em redes já que neste método, as parcelas da densificação, ou controle de redes, podem ser seqüencialmente 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 inunções 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.

Conclusão

Atualmente, em função dos diferentes sistemas de referência existentes tanto nacional quanto internacionalmente, surge à necessidade de compatibilização dos levantamentos realizados, de tal forma que se atenda tanto níveis internacionais de precisão, como também contribua para a manutenção de coordenadas estáticas (estações de controle) disponíveis a todos os usuários desta tecnologia.

Este trabalho contemplou o estudo dos diferentes métodos de ajustamento envolvidos nos processos de densificação e integração de redes geodésicas, visando a análise e identificação das distorções inerentes aos processos de densificação e integração de redes geodésicas.

Ressalta-se que estudos e testes mais refinados estão sendo realizados no que concerne à experimentação e implementação destes métodos, envolvendo o processamento de dados coletados por diferentes técnicas e métodos de posicionamento como, por exemplo, o GPS.

Estatísticas indicadas na literatura recomendam o método das estações ponderadas como o mais indicado ao processo de integração de redes geodésicas e ainda o ajustamento pelo método seqüencial pela eficiência computacional apresentada, enquanto que para análises de densificação, indica-se o ajustamento por injunções mínimas, em função de sua praticidade e por ser amplamente empregado em *software* de processamento de dados GPS.

Referências

- ANTUNES, C. Método seqüencial 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.
- 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. UNESP, São Paulo, 2000.
- STEEVES, R. R.; PENTON, C. R. Guidelines for the integration of geodetic networks in Canada. **The canadian surveyor**. V..39, n. 3, p. 197-210, 1985.