

Rede Geodésica do Município de Paulínia: Integração com a Rede GPS do Estado de São Paulo e RBMC

Prof. Dr. João Francisco Galera Monico
Helton Ricardo Thomaz
Frederic Gomes da Silva
Vinicius Canholi Maldonado

UNESP/FCT - Departamento de Cartografia
 Câmpus de Presidente Prudente
 Rua Roberto Simonsen 305 CP 957
 Fone: (018) 221-5388 Fax: (018) 223-2227
 19060-900 - Presidente Prudente - SP
 ✉ galera@prudente.unesp.br

Conteúdo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introdução 2. Concepção da RGMP 3. Materialização dos Vértices e Coleta dos Dados 4. Programas, Observáveis e Efemérides envolvidas no Processamento dos Dados 5. Resultados Obtidos e Análise da Realização da RGMP 6. Comentários Finais e Conclusões 7. Referências Bibliográficas 8. Agradecimentos
-----------------	---

Resumo: A concepção e realização da Rede Geodésica do Município de Paulínia (RGMP) são apresentados neste artigo. A RGMP dará apoio a execução de atividades de mapeamento, cadastro e obras de engenharia em geral. Para sua realização fez-se uso da tecnologia GPS e a mesma foi integrada ao Sistema Geodésico Brasileiro, levando em consideração a estrutura passiva e ativa existente. Os resultados proporcionaram precisões melhores que 1 e 3 cm nas componentes horizontais (E, N) e vertical (h) respectivamente, atendendo as prescrições estipuladas na fase de concepção da rede.

Palavras Chaves: Integração de Rede GPS, Precisão, Confiabilidade

Abstract: The reference system and reference frame of the Geodetic network of Paulínia city are presented in this paper. It will support the activities related to mapping, cadastre and engineer work in general. GPS technology was used to set up the reference frame, which was connected to the Brazilian Geodetic System, taking into account the passive and active current structure. Results provided precision better than 1 and 3 cm in the horizontal (E, N) and vertical (h) components respectively, which agree with the prescriptions of the network.

Keywords: GPS Network Integration, Precision, Reliability

1. Introdução

O município de Paulínia pertence a XI Região de Governo do Estado de São Paulo, com sede em Campinas - SP. A área total do município é da ordem de 144 km² e população estimada, segundo o IBGE, de 44.440 habitantes. Face a grande concentração de indústrias ligadas ao setor petroquímico, é um dos municípios com maior arrecadação de ICMS no Estado de São Paulo.

No entanto, o sistema cadastral existente na Prefeitura Municipal de Paulínia SP, a exemplo da grande maioria dos municípios brasileiros, tem atribuições voltadas ao controle físico imobiliário da área urbana, constituindo-se principalmente num sistema de apoio à cobrança de tributos. Com a moderna concepção de administração pública municipal planejada, nota-se a necessidade de se ter um sistema cadastral mais consistente e poderoso, fornecendo informações confiáveis e de fácil acesso.

O atual sistema cadastral não possui as condições básicas para compor parte da base de dados necessária para a implantação de um Sistema de Informações Gerenciais Geograficamente Referenciadas - SIGGER, onde a premissa básica é a análise em Planejamento, cuja principal característica é a multidisciplinaridade. Desta forma, deve-se prever a integração de vários departamentos da administração municipal, com várias metas, diferentes entre si, convergindo para um objetivo comum. E as informações contidas num sistema cadastral com essas características devem satisfazer a condição de multidisciplinaridade com eficiência. Estas foram algumas das condições impostas na implantação do projeto SIGGER junto a Prefeitura do Município de Paulínia.

No que concerne a implantação do SIGGER, o estabelecimento de uma rede geodésica precisa para dar suporte as atividades cadastrais, de engenharia, dentre outras, foi considerado uma das atividades de relevante importância dentro do projeto. Ela possibilitará o georeferenciamento da base cartográfica, além de permitir que novos projetos sejam facilmente incorporados, o que auxiliará na manutenção da atualização da base.

Neste trabalho apresenta-se o processo de concepção e implantação de Rede Geodésica Básica do Município de Paulínia (RGMP), a qual utilizou-se da tecnologia GPS, levando em consideração alguns aspectos de qualidade; quais sejam: precisão/acuracidade e confiabilidade. No que se refere a parte altimétrica, apenas a componente geométrica será apresentada. A componente ortométrica será objeto de outro trabalho.

2. Concepção da RGMP

A RGMP deve dar suporte as atividades de mapeamento do município (escalas 1:2000 a 1:10.000), bem como a maioria das obras de engenharia. Desta forma, em sua concepção, foi estipulada que a precisão (2σ) da rede deveria atingir valor melhor que 3cm em cada uma de suas componentes horizontais, e 5cm na vertical. Tais valores atendem a maioria das atividades vinculadas a uma rede geodésica. No que concerne a confiabilidade (capacidade da rede em detectar erros grosseiros), estipulou-se que, face as características do GPS, em que erros observacionais são facilmente identificados (Van der Marel, 1990), a medida de altura da antena GPS deve passar por um processo de detecção de erros. Além disto, estabeleceu-se que cada estação deve ter intervisibilidade com pelo menos uma das outras estações da rede.

Realizado o planejamento e reconhecimento, decidiu-se pela implantação de 31 estações. A Figura 1 ilustra a distribuição das estações da RGMP. A distância média entre as estações é da ordem de 4,516 km, sendo a distância mínima e máxima iguais a 0,623 e 11,097 km respectivamente.

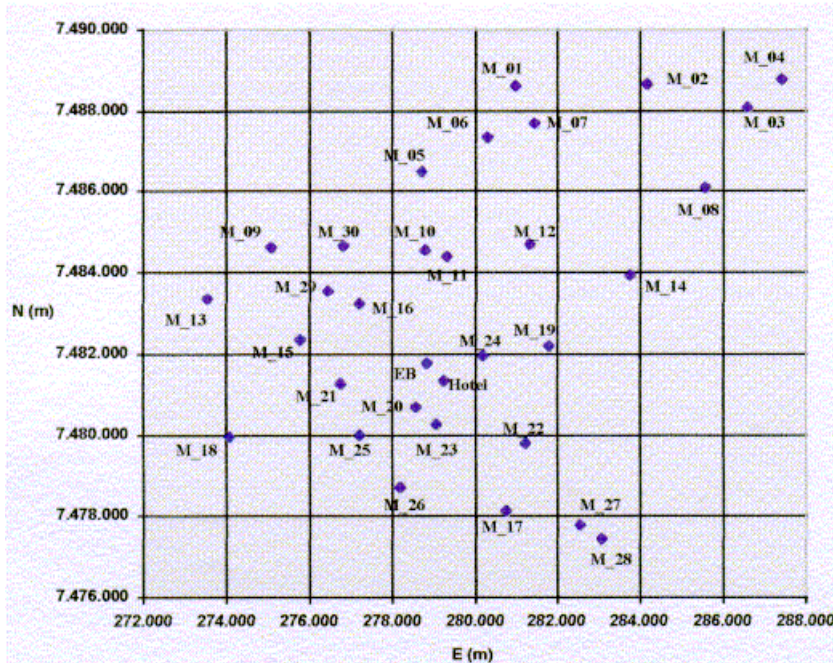


Fig. 1: Distribuição Espacial das Estações da RGMP

No que concerne a integração da RGMP ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), considerou-se que atualmente a estrutura geodésica disponível no Brasil permite realizar levantamentos a partir de redes ativas e passivas. Enquanto que nas redes passivas há a necessidade de ocupar as estações que a compõem, o mesmo não ocorre no caso de uma rede ativa. Um exemplo de rede ativa é a Rede Brasileira de Monitoramento do Continuo dos satélites GPS (RBMC), recentemente instalada pelo IBGE (Fortes, 1997). As redes passivas abrangem, em geral, dois tipos de estrutura geodésica:

- a rede clássica, resultante do ajustamento de triangulação, poligonação e pontos Doppler e GPS,
- rede GPS, tal como as do Estado de São Paulo (Fonseca, 1996).

Referenciar uma rede qualquer a partir de mais de uma destas estruturas pode levar a resultados conflitantes, em especial quando uma delas diz respeito a rede clássica. Muito embora a rede clássica brasileira tenha sofrido uma nova realização, incluindo dados resultantes de observações do sistema NNSS (Doppler) e GPS, (Oliveira et al., 1997), ela não se apresenta totalmente compatível com uma rede realizada apenas com observações GPS. Já uma rede GPS passiva é compatível com uma rede de alta precisão, tal como a RBMC, ao nível exigido para a maioria das atividades de engenharia (Monico, 1996).

A RGMP foi referenciada a partir de três estações da RBMC (UEPP, PARA e VICO) e uma estação da Rede GPS do Estado de São Paulo (VALI). Enquanto que as estações da RBMC estão localizadas a aproximadamente 456, 365 e 495 km da região central da RGMP, a estação VALI encontra-se a aproximadamente 30 km.

3. Materialização dos Vértices e Coleta dos Dados

Dos 31 vértices da RGMP, 4 foram materializados com chapa de identificação, a qual foi fixada em local apropriado. Nos demais 27 vértices utilizou-se marcos de concreto, construídos no próprio local, conforme normas estabelecidas pelo IBGE (IBGE 1994 a; IBGE 1994 b). As figuras 2 e 3 ilustram cada uma das situações.



Fig. 2: Tipos de Vértices da RGMP (Marco e Chapa)

Na coleta dos dados da RGMP optou-se pelo irradiamento a partir de um ponto central, conjugado com observações de linhas de base que permitissem o fechamento de figuras internas a rede. Sendo n o número de vértices, tem-se $(2n-2)$ linhas de bases observadas. Isto permite detectar qualquer erro que possa ser cometido na leitura da altura da antena, desde que o mesmo não seja cometido da mesma forma numa mesma estação. Cada linha base foi observada por um intervalo de tempo da ordem de 50 minutos, utilizando um par de receptores Trimble 4600 SL, de uma frequência. A taxa de coleta foi de 15 segundos.

O vértice central, a partir do qual realizou o irradiamento para as demais estações (HOTEL), é localizado sobre uma caixa d'água de fácil acesso, não exigindo a presença de um membro da equipe na estação durante a fase de realização dos irradiamentos. A ligação à Rede GPS do Estado de São Paulo se deu a partir deste vértice e a estação VALI, localizada no município de Valinhos, a aproximadamente 30 km de distância. A coleta de dados foi realizada com o mesmo par de receptores descrito acima, mas por um intervalo de 2 horas e taxa de coleta de 15 segundos.

A coleta de dados visando a ligação da rede com a RBMC foi realizada a partir de 3 estações da RGMP: HOTE, M13 e M28. Neste caso, por se tratar de distâncias longas, utilizou-se 1 receptor de dupla frequência, no caso o ZXII da Ashtech. A estação HOTE foi ocupada durante 5 horas, ao passo que as outras duas tiveram ocupações de 2 horas, todas com 15 segundos de taxa de coleta. A ocupação da primeira foi mais longa devido somente a facilidades advindas de sua localização.

4. Programas, Observáveis e Efemérides envolvidas no Processamento dos Dados

O processamento dos dados da RGMP envolveu a utilização de dois programas de processamento de dados GPS. Tratam-se do GPSurvey da Trimble (Trimble 1996) e o GAS (GPS Analysis Software), desenvolvido na Universidade de Nottingham, UK (Monico, 1995). Enquanto que a versão disponível do programa GPSurvey está licenciada apenas para o processamento das observáveis associadas a portadora L1, o GAS permite o processamento de dados associados as duas portadoras (L1 e L2).

O processamento da RGMP, incluindo sua ligação a Rede GPS do Estado de São Paulo, foi realizado utilizando o programa GPSurvey, haja vista tratar-se de linhas bases relativamente curtas, as quais não devem ser influenciadas de forma significativa por efeitos oriundos da ionosfera (Monico, 1996). Neste caso, a observável básica foi a fase da onda portadora L1 e as efemérides utilizadas foram as transmitidas pelos satélites (broadcast ephemerides).

No que concerne a ligação à RBMC, realizou-se o processamento envolvendo cada uma das 3 estações da RGMP (HOTE, M13 e M28) com as 3 da RBMC (PARA, UEPP e VICO), utilizando o programa GAS. Por se tratar de distâncias longas, utilizou-se como observável a combinação linear livre dos efeitos da ionosfera (ION-FREE) e as efemérides produzidas pelo IGS (International GPS Geodynamics Service). Os efeitos da refração troposférica foram tratados mediante a adoção do modelo Hopfield com estimativa de um fator de escala para cada estação baseado num polinômio de ordem 1 (Monico, 1995).

5. Resultados Obtidos e Análise da Realização da RGMP

No processamento envolvendo o programa GPSurvey, primeiramente estimou-se as coordenadas do vértice HOTE, a partir da estação VALI, pertencente a Rede GPS do Estado de São Paulo. A partir de então, as coordenadas deste vértice foram injuncionadas como conhecidas em todo processamento. A Tabela 1 contém informações concernentes aos desvios-padrão (1σ) máximo (Máx.), mínimo (Mín.) e médio das componentes horizontais (E, N) e vertical (h), de todas as linhas bases envolvidas. Além disto, constam também desta tabela informações sobre os erros de fechamento (EF) das várias figuras envolvidas na rede; perfazendo um total de 12, com o correspondente perímetro (Dsit. (km)) para os valores máximo, mínimo e médio.

Tabela 1: Informações sobre as componentes das linhas de bases processadas com o GPSurvey

Componente	σ_{Max} (mm)	σ_{Min} (mm)	$\sigma_{médio}$ (mm)	EF (mm) / Dist. (km)		
				Max.	Mín.	Médio

E	40	0,3	3	20/9,1	0,1/31,7	9/23,2
N	10	0,4	1	55/25,5	0,5/15,9	15/23,2
h	13	1,0	3	20/24,9	1,6/11,7	9/23,2

Das 66 linhas bases envolvidas no processamento, a solução da ambigüidades não se concretizou em 4 casos. Em geral, estas linhas bases são responsáveis pelos maiores desvios-padrão e erros de fechamento.

A associação dos desvios-padrão com os erros de fechamento de cada uma das figuras da rede mostra que o segundo é, em geral, maior, mesmo levando em consideração o número de linhas bases envolvidas em cada figura. Por exemplo, no caso em que o EF máximo é igual a 55mm na componente N, tem-se como desvio-padrão máximo 10 mm e 6 linhas bases envolvidas. Da propagação de covariância (Gemael, 1994) obtém-se EF igual a 25 mm, aproximadamente 2 vezes inferior ao valor resultante. Isto se deve ao fato de que no cálculo do EF envolve não apenas as incertezas das observações GPS, mas também erros advindos da instalação do equipamento e leitura da altura da antena GPS.

No que concerne ao ajustamento da rede, obteve-se precisão média da ordem de 2mm, 3mm e 7mm respectivamente em N, E e h. Tratam-se de valores formal da precisão, que são muitos otimistas.

O processamento com o software GAS envolveu 3 estações da RBMC e 3 da RGMP. Cada uma destas 3 estações da RGMP foi processada a partir das 3 estações da RBMC. A Tabela 2 contém os desvios-padrão (1σ) de cada uma das componentes (E,N e h) de cada estação da RGMP.

Tabela 2: Precisão das Coordenadas das Estações Ligadas a RBMC

Estação	E (mm)	N (mm)	h (mm)
HOTE	4	9	17
M13	2	4	10
M28	2	14	13

As coordenadas das 3 estações estimadas a partir da RBMC, face as observáveis e modelos utilizados, podem ser consideradas de melhor qualidade que aquelas estimadas no processamento descrito anteriormente (GPSurvey), muito embora apresentem precisão inferior. No entanto, esta precisão deve ser mais condizente com a realidade. Desta forma, a simples comparação entre as duas séries de coordenadas pode fornecer uma indicação da exatidão esperada para a RGMP, além de mostrar a compatibilidade entre a RBMC e Rede GPS do Estado de São Paulo. A Tabela 3 apresenta os valores necessários à análise.

Tabela 3: Discrepâncias entre as Coordenadas Estimadas a partir da RBMC e Rede GPS do Estado de São Paulo

Estação	N (mm)	E (mm)	h (mm)
HOTE	-7	-89	-114
M13	-14	-82	-74
M28	-21	-114	-69

Da análise da tabela 3, levando em consideração a precisão das coordenadas obtidos nos processamentos com o GPSurvey e GAS, fica claro que há efeitos sistemáticos significativos nas componentes E e h. No que se refere a componente N, o efeito não é muito acentuado e praticamente confundem-se com a própria precisão obtida. O efeito sistemático deve refletir o nível de compatibilidade entre a Rede GPS do Estado de São Paulo e a RBMC.

Objetivando manter a RGMP compatível com o referencial da RBMC, as coordenadas das estações HOTE, MA13 e MA28 obtidas a partir da RBMC foram injuncionadas como conhecidas no ajustamento final. Isto permite reduzir os efeitos sistemáticos detectados acima. As coordenadas finais da RGMP apresentaram precisões média da ordem de 9, 9 e 28 mm em E, N e h respectivamente. Estes valores atendem as prescrições estabelecidas na concepção da RGMP.

6. Comentários Finais e Conclusões

Aspectos relacionados a concepção, processamento e análise dos resultados da RGMP foram apresentados, com especial destaque a integração, precisão e confiabilidade da rede. Os resultados indicam que o nível da precisão estipulado na concepção da rede foi alcançado. No que se refere a confiabilidade, é altamente provável que erros relacionadas a medida da altura da antena não tenham ocorridos.

A RGMP foi concebida e realizada, e está dando suporte as atividades de mapeamento e engenharia em desenvolvimento no Município. Isto permitirá que todas as atividades necessitando de posicionamento sejam ligadas a um mesmo referencial, o qual é compatível com o Sistema Geodésico Brasileiro ao nível de poucos centímetros.

7. Referências Bibliográficas

Van der Marel H. *Statistical Testing and Quality Analysis of GPS Networks*, Proceedings of GPS'90 Symposium, Ottawa, September, 1990.

Van der Marel H.; Köster A. J. M. *Statistical Testing and Quality Analysis in 3-D Networks (part II) Application to GPS*, Proceedings of GPS'90 Symposium, Ottawa, September, 1990.

Fonseca E. S. *Rede GPS do Estado de São Paulo*, Dissertação de Mestrado, EPUSP, 1996.

Fortes L. P. S. *Operacionalização da RBMC*, Dissertação de Mestrado, IME, 1997.

Gemael C. *Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas*, Editora da Universidade Federal do Paraná, 196 p., 1994.

IBGE *Especificações e Normas Gerais para levantamentos GPS, Parte 1*, Revista Fator GIS, V.2, n. 5, p.29-32, 1994 a.

IBGE *Especificações e Normas Gerais para levantamentos GPS, Parte 2*, Revista Fator GIS, V.2, n. 6, p.31-34, 1994 b.

Monico J. F. G. *Posicionamento GPS no Contexto do Sistema Geodésico Brasileiro*, Encontro de Usuários .. , 1996

Monico J. F. G. *High Precision Interncontinental GPS Network*, PhD Thesis, The University of Nottingham, 1995

Oliveira L. C., Monico J. F. G., Santos, M. C., Blitzkow D. *Some Consideration related to the realization of SAD69 in Brazil*, IAG Scientific Assembly, Rio de Janeiro, 1997.

Trimble *GPSurvey Operation Manual*, 1996.

8. Agradecimentos

A implantação de RGMP derivou-se de um projeto entre a Prefeitura Municipal de Paulínia e a FUNDACTE, onde constava apenas a integração com a Rede GPS do Estado de São Paulo. A ligação com a RBMC visou dar suporte as atividades do projeto "Apoio a Geodésia na Região de Presidente Prudente e Rede GPS Global", inserido no programa Jovem Pesquisador da FAPESP, processo 1995/8775-1.