

# ANÁLISE DA QUALIDADE DAS COORDENADAS NO AJUSTAMENTO DE REDES GPS.

Heloísa Alves da Silva, João Francisco Galera Monico - Engenharia Cartográfica Departamento de Cartografia – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus de Presidente Prudente.

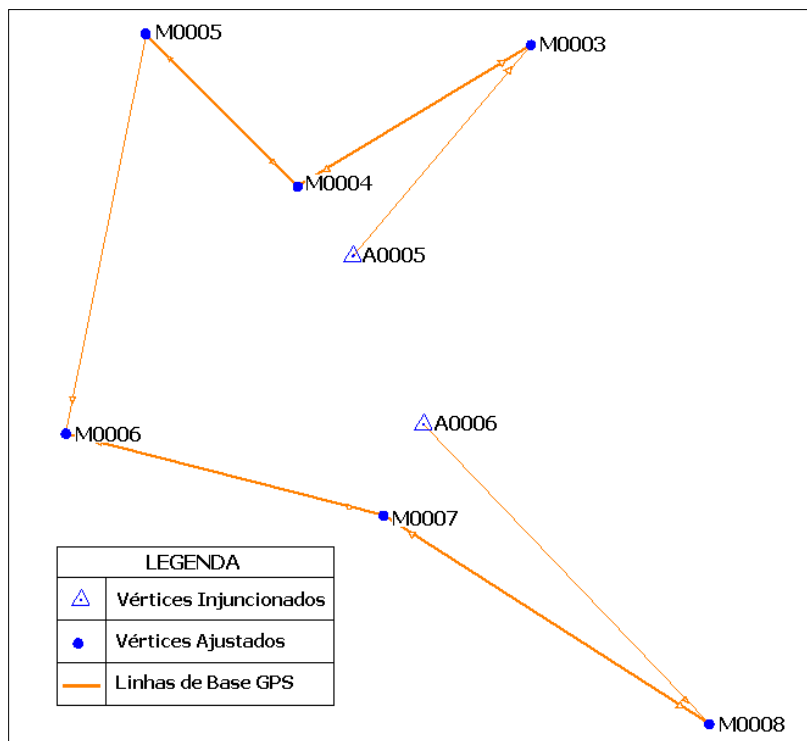
No Brasil, várias têm sido as aplicações do GPS, ampliando ainda mais com o advento da Lei 10.267/2001, que dentre outras disposições, trata do georreferenciamento de imóveis rurais. Porém, os resultados disponibilizados pela maioria dos *softwares* comerciais de processamento e ajustamento de dados GPS não permitem avaliar de forma confiável os seus resultados. Por exemplo, as injunções são em geral na forma absoluta, proporcionando assim resultados com precisões otimistas. Assim, neste trabalho foi implementado um *software* de ajustamento de redes GPS denominado AJURGPS, o qual realiza o ajustamento de linhas de base processadas no *software* GPSeq (FCT/UNESP) e em *softwares* comerciais como o GPSurvey e o TGO (*Trimble Geomatics Office*). Além do ajustamento, implementou-se o controle de qualidade através do teste global Qui-quadrado e a detecção de erros grosseiros (*Data Snooping*). Uma das vantagens do AJURGPS é que se pode considerar as variâncias e covariâncias das coordenadas dos pontos de controle da rede.

O principal objetivo deste trabalho é apresentar a conceituação adequada para o ajustamento de redes GPS, além de apresentar um aplicativo complementar aos *softwares* comerciais (desenvolvido na FCT/UNESP), o qual é possível ajustar uma rede GPS, além da realização do controle de qualidade do ajustamento. Ele utiliza o teste Qui-quadrado para testar a qualidade global do ajustamento e os testes *Data Snooping* e *Tau* para a detecção de erros grosseiros. Assim, com o AJURGPS foram realizadas análises dos ajustamentos de uma rede GPS com injunções absolutas e posicionais (considerando e não considerando as correlações).

A partir de dados processados no GPSurvey e no TGO uma rede GPS foi ajustada no AJURGPS. Esta rede foi obtida de um levantamento realizado no assentamento Florestan Fernandes na região do município de Presidente Bernardes (LEITE; SOUZA; ANJOLETE, 2005). A Tabela 1 mostra as linhas de base exportadas pelo *software* TGO, enquanto que a Figura 1 apresenta a configuração da rede.

**Tabela 1** – Observações do levantamento e respectivas precisões

Estação	Visada	$\Delta X$ (m)	$\sigma_{\Delta X}$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\sigma_{\Delta Y}$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$\sigma_{\Delta Z}$ (m)
A0005	M0003	646,34	$7,21 \times 10^{-04}$	145,06	$1,20 \times 10^{-03}$	647,48	$1,13 \times 10^{-03}$
A0005	M0003	646,34	$7,35 \times 10^{-04}$	145,07	$1,21 \times 10^{-03}$	647,48	$1,15 \times 10^{-03}$
A0005	M0003	646,34	$7,21 \times 10^{-04}$	145,06	$1,20 \times 10^{-03}$	647,48	$1,13 \times 10^{-03}$
A0006	M0008	524,36	$1,94 \times 10^{-03}$	881,97	$2,18 \times 10^{-03}$	-937,94	$1,07 \times 10^{-03}$
A0006	M0008	524,36	$1,93 \times 10^{-03}$	881,97	$2,17 \times 10^{-03}$	-937,94	$1,07 \times 10^{-03}$
A0006	M0008	524,36	$1,93 \times 10^{-03}$	881,97	$2,19 \times 10^{-03}$	-937,94	$1,08 \times 10^{-03}$
M0003	M0004	-733,77	$1,06 \times 10^{-03}$	-334,89	$1,37 \times 10^{-03}$	-435,39	$8,89 \times 10^{-04}$
M0003	M0004	-733,77	$1,07 \times 10^{-03}$	-334,89	$1,37 \times 10^{-03}$	-435,39	$8,89 \times 10^{-04}$
M0004	M0005	-277,26	$9,95 \times 10^{-04}$	-472,21	$1,04 \times 10^{-03}$	471,27	$5,29 \times 10^{-04}$
M0005	M0006	-531,48	$8,83 \times 10^{-04}$	240,46	$1,03 \times 10^{-03}$	-1236,96	$8,89 \times 10^{-04}$
M0005	M0006	-531,48	$8,72 \times 10^{-04}$	240,46	$1,02 \times 10^{-03}$	-1236,96	$8,89 \times 10^{-04}$
M0005	M0006	-531,48	$8,72 \times 10^{-04}$	240,46	$1,02 \times 10^{-03}$	-1236,96	$8,89 \times 10^{-04}$
M0006	M0007	776,61	$7,28 \times 10^{-04}$	737,22	$8,83 \times 10^{-04}$	-257,65	$6,08 \times 10^{-04}$
M0007	M0008	697,42	$1,48 \times 10^{-03}$	880,82	$2,65 \times 10^{-03}$	-651,29	$1,02 \times 10^{-03}$



**Figura 1** – Rede GPS ajustada no AJURGPS

No ajustamento da rede, os vértices A0005 e A0006 (Figura 1) foram injuncionados de maneira que a rede foi ajustada considerando injunções absolutas, injunções relativas sem covariâncias e finalmente injunções relativas com covariância. As variâncias e covariâncias das estações injuncionadas são mostradas na Tabela 3:

**Tabela 2** – Variâncias e covariâncias dos vértices injuncionados

Vértice	$\sigma_X$ (m)	$\sigma_{XY}$ (m)	$\sigma_Y$ (m)	$\sigma_{XZ}$ (m)	$\sigma_Z$ (m)	$\sigma_{YZ}$ (m)
A0005	0,08	$-4,04 \times 10^{-3}$	0,10	$-9,14 \times 10^{-4}$	0,05	$1,87 \times 10^{-3}$
A0006	0,08	$-3,81 \times 10^{-3}$	0,10	$-8,66 \times 10^{-4}$	0,05	$1,77 \times 10^{-3}$

Depois de realizados todos os ajustamentos, obtiveram-se as informações relacionadas ao controle de qualidade a partir do Teste Qui-quadrado, como pode ser visto na Tabela 3.

**Tabela 3** – Qualidade dos ajustamentos realizados

Experimentos	Fator de variância a posteriori ( $\hat{\sigma}_0^2$ )	$\chi^2_{\text{calculado}}$	$\chi^2_{\text{tabelado}}$	Ajustamento aceito ao nível de confiança de 95%?
Injunção Absoluta	4,00	95,96	36,42	NÃO
Injunção Relativa Sem Correlação	0,02	0,47	36,42	SIM
Injunção Relativa Com Correlação	0,02	0,55	36,42	SIM

Na Tabela 3 pode-se observar que o fator de variância a posteriori teve o valor de 4,00 com a utilização de injunção absoluta, sendo que com o uso de injunção relativa este valor reduziu para 0,02

sem correlação e com correlação. Nota-se também que somente nos casos com injeção relativa o ajustamento foi aceito no Teste Qui-quadrado a um nível de confiança de 95% de probabilidade. As precisões posicionais obtidas a partir da MVC das coordenadas (X, Y e Z) ajustadas podem ser visualizadas na Tabela 4.

**Tabela 4** – Precisão posicional das coordenadas ajustadas pelo AJURGPS

<b>Vértices</b>	<b>Injeção absoluta (mm)</b>	<b>Injeção relativa s/ covariância (mm)</b>	<b>Injeção relativa c/ covariância (mm)</b>
A0005	3,14	13,61	13,74
A0006	3,14	13,61	13,74
M0003	3,60	13,61	13,74
M0004	4,22	13,61	13,74
M0005	4,74	13,61	13,74
M0006	4,85	13,61	13,74
M0007	5,00	13,61	13,74
M0008	4,33	13,61	13,74

Ao analisar a Tabela 4, verifica-se que ao utilizar injeções absolutas, a precisão posicional das coordenadas ajustadas teve o valor máximo de 5,00 mm e o mínimo de 3,14 mm. No caso da injeção relativa sem covariância, esses valores ficaram em torno de 13,61 mm. Já para injeção relativa considerando a covariância a precisão posicional ficou em torno de 13,74 mm. Dessa forma, confirma-se que ao utilizar injeções absolutas, embora os valores das precisões posicionais das coordenadas ajustadas sejam mais atraentes, esses são muito otimistas. Já na utilização de injeções relativas, seja com ou sem covariância, os valores das precisões posicionais após o ajustamento são mais condizentes com a realidade.

#### **Referências Bibliográficas**

LEITE, C. C. P., SOUZA, C, R. R., ANJOLETE JÚNIOR, N. **Metodologias para Levantamentos de Propriedades Rurais para Atender a Lei 10.267/2001**. 2005. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Cartográfica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP, 2005.

**Bolsa:** FAPESP