

## ANÁLISE DO CÁLCULO DE UMA REDE COM AS OBSERVÁVEIS L1 E L1/L2 UTILIZANDO EFEMÉRIDES PRECISAS

Prof. Msc. MARCONI ANTÃO DOS SANTOS  
ALYNE CAVALCANTI DA SILVA  
ANDRÉA KARLA GOUVEIA CAVALCANTI  
JULIANA PESSOA DA ROCHA  
KARLA KARINE DA SILVA

Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba-CEFET-PB  
{marconi}@cefetpb.edu.br

**RESUMO** - Este artigo apresenta um estudo comparativo das discrepâncias entre as coordenadas cartesianas de uma rede geodésica calculadas com a observável L1 e a observável L2 utilizando efemérides precisas, no levantamento com o GPS, através do cálculo de uma rede materializada na Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. A rede foi referenciada a partir de duas estações (Crato e Recife) da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Para o processamento e ajustamento dos vetores obtidos utilizou-se o software Trimble Geomatics Office (TGO). A partir dos resultados analisou-se a discrepância entre os dados e as possíveis vantagens e desvantagens na utilização de cada observável.

**Palavras-chave:** efemérides precisas, coordenadas cartesianas, rede geodésica.

**ABSTRACT** – This paper presents a comparative study of discrepancies between the cartesian coordinates of a geodetic network calculated with the observable L1 and L2 observable using precise ephemerides in the survey with GPS, by calculation of a network materialised at the Federal University of Pernambuco. The network was referenced from two stations (Crato and Recife) of the Brazilian Network Monitoring Continue. For the processing and adjustment of vectors obtained the software used to Trimble Geomatics Office (TGO). From the results looked up the discrepancy between the data and the possible advantages and disadvantages in the use of each observable.

**Keywords:** cartesian coordinates, precise ephemerides, geodetic network.

### 1 INTRODUÇÃO

Uma rede geodésica é constituída por um conjunto de pontos materializados no terreno, com suas posições referenciadas a um sistema de coordenadas. A utilização de técnicas e método relativo diferencial por GPS vem sendo aplicada principalmente no estabelecimento de redes geodésicas.

Os sinais GPS são transmitidos pela frequência das ondas portadoras, a observáveis L1 e L2. Ambas as portadoras carregam a mensagem de navegação, que consiste em uma seqüência de dados destinados a informar aos usuários sobre a saúde e a posição dos satélites (efemérides transmitidas). Estas efemérides nem sempre satisfazem a necessidade de todos os usuários, por isso, para obter melhora na precisão final das coordenadas da rede, há a opção de acessar, via *internet*, as efemérides pós-processadas, denominadas efemérides precisas, produzidas por diversos centros de análises.

O objetivo deste trabalho é estabelecer comparações das discrepâncias entre as coordenadas

cartesianas de uma rede calculada com as observáveis L1 e L1/L2 e analisar as vantagens e desvantagens na utilização de efemérides precisas.

### 2 EFEMÉRIDES PRECISAS NO CÁLCULO DE UMA REDE GEODÉSICA

Segundo Monico-2005 geralmente, realiza-se o levantamento de uma rede geodésica no modo pós-processado, no qual se utilizam *softwares* comerciais ou científicos de processamento de dados GPS. Primeiramente, são processadas todas as linhas de bases individualmente e, posteriormente, pode-se realizar o ajustamento de uma rede GPS, quando o *software* fornece tal opção. A maioria dos *softwares* comerciais não permite que se introduzam as incertezas das coordenadas dos pontos de controle (injunção absoluta), seja no processamento das linhas de base ou no ajustamento de redes GPS. Logo, os resultados fornecidos por esses *softwares* são extremamente otimistas, visto que as incertezas das coordenadas dos pontos de controle não são propagadas para as coordenadas a serem determinadas.

Claro que outros problemas ocorrem, como por exemplo, modelo estocástico não adequado.

As efemérides pós-processadas, denominadas efemérides precisas produzidas pelo IGS (*International GPS Service*) são uma opção para os usuários que não necessitem de posição instantânea do ponto, e desejam uma melhor precisão, e estes também podem utilizar os dados referentes as correções dos relógios dos satélites.

Estas efemérides são produzidas e disponibilizadas de 7 a 10 dias após a coleta de dados o que é uma desvantagem em relação ao seu uso e fornecem precisão da ordem de 5 cm para as posições e de 0.3 nano segundos (ns) para os erros dos relógios.

As efemérides estão disponibilizadas no site do IGS num formato padrão em ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), chamado SP3 (*Standard Product #3*). As órbitas são referenciadas num referencial fixo a Terra, no caso, um dos ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) e ao tempo GPS. Marques et.al (2003).

As informações das efemérides precisas chegam a ser 100 vezes melhor que os dados obtidos com as efemérides transmitidas e o sistema adotado para referência tanto das efemérides transmitidas quanto das efemérides precisas é o *World Geodetic System de 1984 (WGS84)*.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Pré-Processamento

Os dados para o processamento da rede foram obtidos de estudos anteriores e foram coletados em seis pontos situados no Campus da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) localizado em Recife-PE(Figura 01). Esta rede geodésica é considerada como pequena, devido as distancias não ultrapassarem 20km segundo Galera 2000.

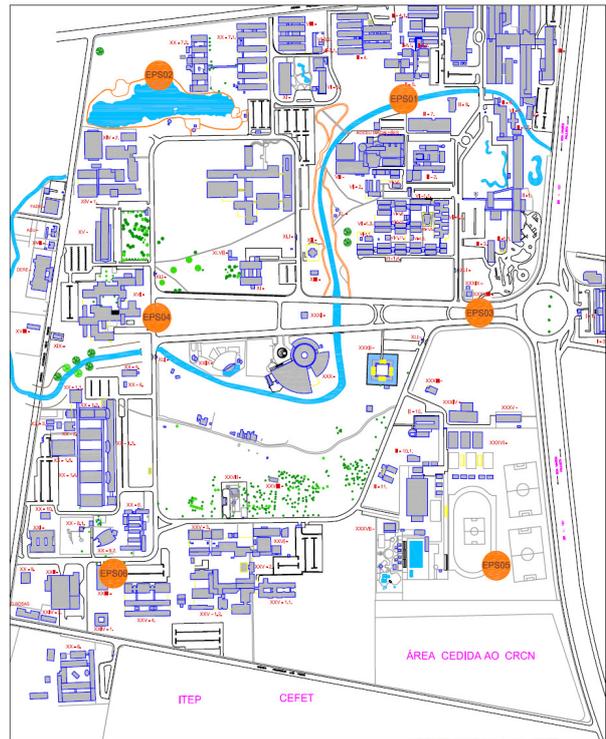


Figura 01 – Croqui dos pontos rastreados

A coleta dos dados foi dividida em dois dias de rastreamento, com dois equipamentos Trimble 4000SST denominados por A e B. (Quadro 01)

O software Trimble Geomatics Office (TGO), foi utilizado para o processamento das observáveis associadas à portadora L1 e a portadora L2. Para o desenvolvimento da pesquisa também foi necessário o software TcGeo onde as coordenadas foram transformadas de WGS84 para coordenadas cartesianas.

Quadro 01 - Distribuição dos pontos utilizados em cada dia de rastreamento e suas respectivas alturas de antena.

	Equipamento	PONTO	Alt.Antena
1º dia de rastreamento	B	PT02 (Base)	0.190
	A	PT01	0.186
	A	PT03	0.187
	A	PT04 (Base)	0.186
	B	PT06 (Base)	0.188
	A	PT05 (Base)	0.196
	B	PT04	0.191

	B	PT03	0.189
2º dia de rastreo		PT01	0.187
		PT04	0.186
		PT03	0.188

### 3.2 Preparação e transporte de coordenadas

Os dados utilizados foram previamente separados por dia de rastreo e pelo equipamento utilizado. Para o transporte de coordenadas foram importados os dados de duas estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), a estação do Crato-CE e a estação de Recife-PE, e o ponto 02 para que então o transporte pudesse ser efetuado, e ajustado para que a parti deste ponto se processasse as linhas de base .

### 3.3 Processamento e ajuste dos dados

Foram geradas nove linhas de base que foram processadas individualmente no software TGO, utilizando as portadoras L1 e L2 com efemérides precisas e logo depois se gerou relatórios das coordenadas ajustadas a partir da portadora L1 e a portadora L2. Para o calculo do segundo dia utilizou-se as coordenadas da linha de base do PT02-PT03.

### 3.4 Ajuste e comparação dos dados

Após o processamento das linhas de base, todas estas foram importadas para o software para que se ajustasse a rede.

As coordenadas em WGS84 foram transformadas em coordenadas cartesianas, através do software TCGEO, disponibilizado pelo IBGE, para enfim comparar as discrepâncias entre as coordenadas obtidas com a portadora L1 e L2.

## 4 RESULTADOS

A partir das coordenadas geradas após os ajustes em L1 e L2 e tendo em vistas que o software resulta as coordenadas em WGS84 , as mesmas forma transformadas em coordenadas cartesianas.

Por meio das coordenadas cartesianas foram gerada as diferenças entre as coordenadas L2(Quadro 02) e as coordenadas oficiais (Quadro 03) e entre L1(Quadro 04) e as oficiais.

Quadro 02 – Coordenadas transformadas em cartesianas

Coordenadas L2 calculadas com Efemerides Precisas			
Pontos	X	Y	Z
PT01	5176820,368	-3617875,734	887056,398
PT02	5176556,777	-3618279,531	886959,523
PT03	5176821,494	-3617772,186	887486,723
PT04	5176459,644	-3618302,382	887433,927
PT05	5176751,308	-3617750,322	887966,575
PT06	5176324,032	-3618379,992	887903,009

Quadro 03 – Coordenadas oficiais

Coordenadas Oficiais			
Pontos	X	Y	Z
PT01	5176820,428	-3617875,717	887056,398
PT02	5176556,830	-3618279,500	886959,521
PT03	5176821,426	-3617772,073	887486,697
PT04	5176459,600	-3618302,283	887433,907
PT05	5176751,360	-3617750,301	887966,572
PT06	5176324,090	-3618379,978	887903,011

Quadro 04 – Coordenadas transformadas em cartesianas

Coordenadas L1 calculadas com Efemerides Precisas			
Pontos	Y	Z	X
PT01	5176820,360	-3617875,728	887056,395
PT02	5176556,777	-3618279,531	886959,523
PT03	5176821,500	-3617772,192	887486,724
PT04	5176459,649	-3618302,386	887433,928
PT05	5176751,314	-3617750,328	887966,577
PT06	5176324,037	-3618379,996	887903,010

A partir das da variação das diferenças observou-se que a variação entre os resultados foi dentro do esperado devido ao tamanho da rede adotada. Vale destacar que entre comparações entre L1 e L2 a diferença é irrelevante, mas ao comparar as coordenadas calculadas e as oficiais, a diferença já aparece na ordem do decímetro.

Para uma melhor análise da amostra, calculou-se o desvio padrão para X, Y e Z (Quadros 05, 06 e 07); para este é possível observar que o desvio padrão é menor quando se compara as coordenadas L2 e L1 dos dados calculados, e percebe-se também um aumento deste parâmetro na comparação destes dados com as coordenadas oficiais.

Quadro 05 – Desvio padrão calculado a partir da diferença das coordenadas da rede

Desvio padrão da diferença entre as coordenadas L1 e L2			
Pontos	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
PT01	0,008	-0,006	-0,003
PT02	0,000	0,000	0,000
PT03	-0,006	0,006	0,001
PT04	-0,005	0,004	0,001
PT05	-0,006	0,006	0,002
PT06	-0,005	0,004	0,001
	0,006	0,005	0,002

Quadro 06 – Desvio padrão calculado a partir da diferença entre a coordenadas oficiais e L1.

Desvio padrão da diferença entre as coordenadas oficiais e L1			
Pontos	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
PT01	0,060	0,017	0,000
PT02	0,053	0,031	0,002
PT03	-0,068	0,113	0,026
PT04	-0,044	0,099	0,020
PT05	0,052	0,021	0,003
PT06	0,058	0,014	-0,002
	0,058	0,045	0,012

Quadro 07 – Desvio padrão calculado a partir da diferença entre as coordenadas oficiais e L2.

Desvio padrão da diferença entre as coordenadas oficiais e L2			
Pontos	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
PT01	0,068	0,011	-0,003
PT02	0,053	0,031	0,002
PT03	-0,074	0,119	0,027
PT04	-0,049	0,103	0,021
PT05	0,046	0,027	0,005
PT06	0,053	0,018	-0,001
	0,061	0,047	0,012

Através dos erros norte e leste foi calculado o erro total das coordenadas para cada ponto, observado uma maior variação no PT06 tanto para L1 como para L2(Quadro 08)

Quadro 08 - Erro total calculado a partir do erro norte e leste

Erro total das Coordenadas		
Coordenadas	L1/L2 com Efe. Precisas	L1 com Efe. Precisas
PT01	0,012	0,011
PT02	0,000	0,000
PT03	0,010	0,009
PT04	0,010	0,011
PT05	0,011	0,013
PT06	0,014	0,015

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As aplicações da tecnologia GPS requerem que se conheça a posição (órbitas) dos satélites. Logo, a determinação dessas posições é de extrema importância, e a avaliação de sua qualidade, um assunto de grande interesse.

O IGS fornece órbitas de satélites GPS para melhorar a qualidade dos resultados do processamento, ou seja, tem precisão de alguns centímetros para cada coordenada, além de dados brutos do rastreamento dos satélites, parâmetros de orientação da Terra, e os parâmetros do relógio dos satélites.

Como vantagens as efemérides precisas nos permitem obter melhor precisão nos resultados, no entanto não podem ser utilizadas em um trabalho que necessite de resultados imediatos devido a demora no pós-processamento destas efemérides.

Assim, de acordo com os dados de cada ponto de rastreamento com as portadoras de frequência L1 e L2 calculadas com efemérides precisas, as discrepâncias entre ambas mostraram-se dentro do padrão no que diz respeito à rede adotada, por ser esta de pequeno porte, podendo ser observado que os resultados obtidos estão na precisão esperada cumprindo, assim, com o objetivo deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

MARQUES, Haroldo Antonio; SANTANA, Márcia Reis; MONICO, João Francisco Galera. **Avaliação da qualidade das efemérides transmitidas dos satélites GPS.** Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba – PR, 2003. Disponível em: <[http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/GeoColoq\\_2003/artigos/T059.pdf](http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/GeoColoq_2003/artigos/T059.pdf)>

online/arquivo/GeoColoq\_2003/artigos/T059.pdf.>

Acesso em: 10 de julho de 2008.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo: Editora UNESP, 2000.

MONICO, João Francisco Galera. **Ajustamento das observáveis GPS no contexto de posicionamento geodésico**, Tese de Livre Docência, - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2005.

RIBAS, Wanderley Kampa. **Efemérides precisas.** Esteio-Engenharia e aerolevantamentos S.A. Curitiba-PR. Disponível em: <[http://www.esteio.com.br/downloads/pdf/efemerides\\_precisas.pdf](http://www.esteio.com.br/downloads/pdf/efemerides_precisas.pdf)> Acesso em: 15 de julho

SILVA, Heloísa Alves da; MONICO, João Francisco Galera. **Análise das Precisões das Coordenadas no Ajustamento de Redes GPS.** COBRAC 2006 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis · 2006. Disponível em: [http://www.geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac\\_2006/195.pdf](http://www.geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2006/195.pdf), Acesso em : 12 de julho de 2008.

TEXEIRA, Niel Nascimento; FERREIRA, Luiz Danilo Damasceno. **Análise da Confiabilidade de Redes Geodésicas.** Universidade Federal do Paraná. Boletim de Ciências Geodésicas, sec. Artigos, Curitiba, v. 9, nº 2, p. 199-216, jul - dez, 2003.