

## ANÁLISE DA ALTITUDE ELIPSOIDAL QUANDO INSERIDOS PARÂMETROS PRÓPRIOS DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GPS EM POSICIONAMENTOS DE ALTA PRECISÃO

RENATA MAGDA CAVALCANTE WERLICH<sup>1</sup>

CLAUDIA PEREIRA KRUEGER<sup>1,2</sup>

SUELEN CRISTINA MOVIO HUINCA<sup>1</sup>

Universidade Federal do Paraná – UFPR

Departamento de Geomática – DGEOM<sup>2</sup>

Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba – PR<sup>1</sup>

renatawerlich@gmail.com, {ckrueger; suelenhuinca}@ufpr.br

**RESUMO** – Para se obter alta precisão em posicionamentos GPS (*Global Positioning System*) é necessário a eliminação parcial ou total dos erros presentes nas observações, particularmente os sistêmicos. Um erro sistemático pertinente é o erro de centro de fase da antena GPS. Este erro é diretamente dependente da antena utilizada, porque cada antena tem suas características próprias de construção e recepção do sinal GPS. Portanto, é de extrema importância o conhecimento individual do centro de fase da antena (*Phase Center Offset – Phase Center Variation*). Existem parâmetros fornecidos pelos NGS (*National Geodetic Survey*), no entanto, esses valores são médios e não valores próprios das antenas usadas nos posicionamentos GPS. Os parâmetros individuais das antenas, neste trabalho, foram fornecidos pela BCAL/UFPR (Base de Calibração de Antenas GNSS na UFPR). Foram realizados posicionamentos GPS em nove pontos, escolhidos de forma que cada três pontos tivessem comprimentos de linha de base similares (9km, 45km e 105km). Para cada comprimento de linha de base os rastreios GPS seguiram simultâneos. Foi aplicado o Método de Posicionamento Relativo Estático, com um intervalo de gravação de dados de 15 segundos e máscara de elevação de 15°. Na comparação das altitudes elipsoidais, foram encontradas diferenças, quando não se utilizou os parâmetros, na ordem do centímetro. Salienta-se que, os resultados obtidos com os valores da BCAL/UFPR, são provenientes da utilização de parâmetros próprios, desta forma, fiéis às antenas utilizadas, enquanto que os fornecidos pelo NGS são valores médios.

**Palavras chave:** GPS, Alta precisão, Antena, Posicionamento Preciso.

**ABSTRACT** – To obtain high accuracy in GPS (*Global Positioning System*) positioning is necessary to partial or total elimination of the errors present in the observations, particularly systemic ones. A very pertinent systematic error is called error phase center of GPS antenna. This error is directly dependent on the antenna used because each antenna has its own design characteristics and GPS signal reception. Therefore, it is extremely important to know individual phase center antenna (*Phase Center Offset - Phase Center Variation*). There are parameters provided by the NGS (*National Geodetic Survey*), however, these values are average and not individual values of the antennas used in GPS positioning. Individual parameters in this work were supplied by BCAL / UFPR (*Base de Calibração de Antenas GNSS na UFPR*). Were made GPS positions in nine points, chosen so that three points have similar lengths baseline (9 km, 45 km and 105km). For each baseline length the GPS positions were simultaneous. Were applied the Method Static Relative Positioning with an interval of recording data of 15 seconds and mask elevation of 15°. Comparing the ellipsoidal heights, differences were found when the parameters are not used, the order of centimeters. It should be noted that the results obtained with the values of BCAL/UFPR are from the use of specific parameters, thus faithful to used antennas, while those provided by the NGS are average values.

**Key words:** GPS, High Accuracy, Antenna, Accuracy Positioning.

## 1 INTRODUÇÃO

O posicionamento GPS possibilita o conhecimento da localização, com informações de tempo e posição, de qualquer objeto sobre a superfície da Terra. Desta forma, torna-se possível determinar coordenadas geodésicas tridimensionais com precisão na ordem do milímetro.

Aplicações geodésicas que demandam alta precisão requerem uma atenção especial aos erros sistemáticos. Tais aplicações podem ser em redes de monitoramento contínuo, e.g. RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), ou em monitoramento de estruturas civis.

De acordo com Wübbena *et al.* (1996), ao lado dos erros troposféricos e do efeito de multicaminho, a variação do centro de fase da antena é um fator limitante na determinação de coordenadas geodésicas precisas.

Segundo Kersten e Schön (2010), cada antena tem suas características individuais, conseqüentemente, as variações são singulares e desta forma, devem ser tratadas de forma particular.

No Brasil, diferentemente da Europa, não se tem o costume de aplicar os valores próprios de calibração da antena para minimizar o erro causado pelo seu centro de fase. Geralmente, utilizam-se valores médios fornecidos pelo NGS, este fato pode conduzir a erros sistemáticos no posicionamento de alta precisão.

Segundo Mader (1999), ignorar os valores das variações do centro de fase da antena, na determinação de coordenadas geodésicas precisas de um ponto, pode conduzir a erros na coordenada vertical de até 10 cm. Nas coordenadas horizontais pode-se introduzir erros de até 3 cm (SEEBER, 2000).

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Área de estudo

O presente estudo engloba a BCAL/UFPR, localizada no Campus Jardim das Américas do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, e uma área ao seu entorno com raio de até 100 km.

Esta área de estudo (Figura 1) foi subdividida em 3 grupos:

- 9 km de raio a partir da BCAL/UFPR;
- 45 km de raio a partir da BCAL/UFPR; e
- 105 km de raio a partir da BCAL/UFPR.

Os pontos de 9 km de raio (amarelo) são denominados 1, 2 e 3. Os pontos de 45 km de distância (verde) são denominados 4, 5 e 6. Os pontos de 105 km de raio (azul) são denominados 7, 8 e 9.

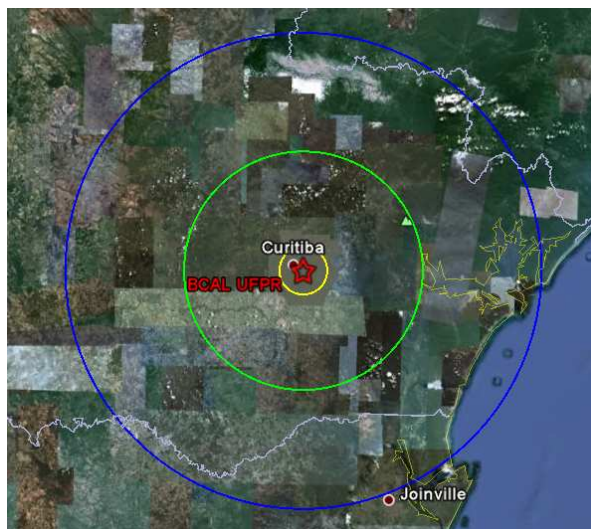


Figura 1 – Área de estudo.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2011).

### 2.2 Levantamentos de campo

Foram selecionados locais para a fixação das chapas metálicas de acordo com os seguintes pré-requisitos:

- Discrepância máxima nas linhas de base de:
  - 1,35 km para as de 9 km;
  - 6,75 km para as de 45 km; e
  - 15,75 km para as de 105 km;
- Altitude elipsoidal entre 1.225 e 600 m;
- Livre de obstruções; e
- Fácil acesso.

As observações GPS foram realizadas aplicando-se o Método de Posicionamento Relativo Estático. O intervalo de gravação dos dados foi de 15 segundos, máscara de elevação de 15° com duração dos rastreios de aproximadamente 6 horas.

### 2.3 Processamentos dos dados GPS

Para a determinação das coordenadas geodésicas dos pontos 1 a 9, utilizando diversos parâmetros de calibração foi usado o programa *Leica Geo Office*. A estação de referência foi o pilar 2000 (Norte), pertencente à BCAL/UFPR.

Foram realizados quatro processamentos com as mesmas configurações, somente mudando os parâmetros de calibração de antenas GPS. São eles:

- Sem parâmetros;
- NGS relativo;
- NGS absoluto; e
- BCAL/UFPR.

As configurações utilizadas nos processamentos foram:

- Efemérides finais;
- Máscara de elevação de 15°;
- Para as linhas de base de até 45 e 105 km:
  - Modelo *Hopfield*, (SEEBER, 2003); e
  - Combinação linear *Ion-free* (L3).

- Para a linha de base de até 9 km:
  - Sem modelo troposférico e ionosférico;
  - Combinação linear L1+L2.

### 3 RESULTADOS E ANÁLISES

Após o processamento dos dados GPS, verificou-se que os pré-requisitos foram atendidos. Desta forma, obtiveram-se as altitudes elipsoidais com a inserção de diferentes parâmetros.

Diante de trabalhos publicados (HUINCA, 2009; HUINCA e KRUEGER, 2011), os quais compravam a correta determinação dos parâmetros na BCAL/UFPR, eles foram tomados como referência visando a determinação das coordenadas geodésicas precisas dos pontos.

As análises serão realizadas conforme a precisão do método utilizado. De acordo com Kahmen<sup>1</sup> (1997) apud Krueger (2007), a precisão do Método de Posicionamento Relativo Estático varia de 1,5 à 5 mm + (0,01 à 1 ppm), para linhas de base de até 40 km. Isto foi admitido visto que, os levantamentos aqui tratados são de alta precisão e que houvera longos rastreios (6 horas) para a determinação das coordenadas geodésicas dos pontos.

Com o objetivo de comparar as altitudes elipsoidais, foram calculadas as diferenças entre Sem parâmetros e a BCAL/UFPR; entre o NGS relativo e a BCAL/UFPR e entre o NGS absoluto e a BCAL/UFPR.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para as linhas de base curtas (até 9 km). São apresentadas as altitudes elipsoidais dos pontos 1, 2 e 3 e as diferenças calculadas entre os resultados obtidos.

Tabela 1 – Altitudes elipsoidais e as diferenças calculadas para os pontos situados até 9 km de linha de base.

	Parâmetros	Altitude elipsoidal (m)	Diferença (m)
Ponto 1	Sem parâmetros	904,4513	0,0869
	NGS relativo	904,3601	-0,0043
	NGS absoluto	904,3601	-0,0043
	BCAL/UFPR	904,3644	-----
Ponto 2	Sem parâmetros	903,5725	0,0632
	NGS relativo	903,5095	0,0002
	NGS absoluto	903,5096	0,0003
	BCAL/UFPR	903,5093	-----
Ponto 3	Sem parâmetros	900,3961	0,0574
	NGS relativo	900,3384	-0,0003
	NGS absoluto	900,3385	-0,0002
	BCAL/UFPR	900,3387	-----

<sup>1</sup> KAHMEN, H., 1997. *Vermessungskunde*. Berlin, New York, Walter de Gruyter, 19º Auflage, 600p.

Observando a Tabela 1 verifica-se que, as diferenças obtidas entre as altitudes obtidas sem parâmetros e com parâmetros da BCAL/UFPR é da ordem de centímetros, sendo que o maior valor foi alcançado para o ponto 1 e é de 8,69 cm.

Também percebe-se que a maior discrepância entre as altitudes obtidas com os parâmetros da BCAL/UFPR com os do NGS é de -4,3 mm para o ponto 1.

Diante dos resultados da Tabela 1, deve-se salientar a importância da utilização dos parâmetros próprios das antenas, visto que a diferença média obtida foi de 6,92 cm, quando comparadas as coordenadas obtidas sem parâmetros de calibração.

A Figura 2 apresenta, de forma gráfica, os valores das diferenças indicadas na Tabela 1. Nota-se claramente a discrepância existente entre a não utilização de parâmetros de calibração e quando há a aplicação deles.

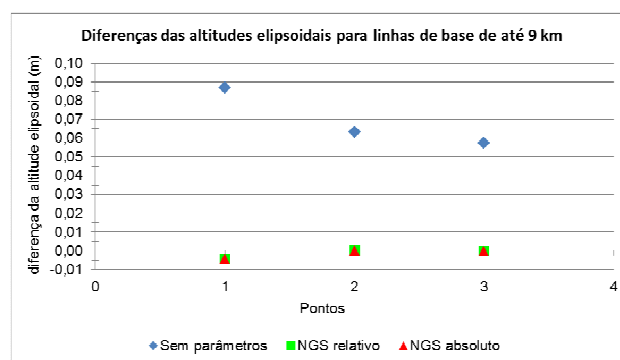


Figura 2 – Diferenças das altitudes elipsoidais para linha de base de até 9 km.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para as linhas de base médias (até 45 km). São apresentadas as altitudes elipsoidais dos pontos 4, 5 e 6, assim como as diferenças calculadas entre os resultados obtidos.

Tabela 2 – Altitudes elipsoidais e as diferenças calculadas para os pontos situados até 45 km de linha de base.

	Parâmetros	Altitude elipsoidal (m)	Diferença (m)
Ponto 4	Sem parâmetros	817,5420	0,1120
	NGS relativo	817,4618	0,0318
	NGS absoluto	817,4614	0,0314
	BCAL/UFPR	817,4300	-----
Ponto 5	Sem parâmetros	914,5697	0,0604
	NGS relativo	914,5079	-0,0014
	NGS absoluto	914,5080	-0,0013
	BCAL/UFPR	914,5093	-----
Ponto 6	Sem parâmetros	1097,5839	0,0575
	NGS relativo	1097,5224	-0,0040
	NGS absoluto	1097,5245	-0,0019
	BCAL/UFPR	1097,5264	-----

Na Tabela 2, observa-se que a maior diferença entre NGS relativo e BCAL/UFPR e entre NGS absoluto e BCAL/UFPR, encontra-se no ponto 4, esses valores são respectivamente 3,18 cm e 3,14 cm. Atenta-se que, para estes valores mencionados a precisão do método, para a situação de 1,5 mm + 0,01 ppm, não é alcançada quando são inseridos os PCO-PCV do NGS. Nota-se que, para o ponto 6, a diferença entre NGS relativo e BCAL/UFPR foi de -4 mm.

É possível, através da Figura 3, visualizar os valores, das diferenças calculadas, exibidos na Tabela 2. Constata-se, novamente, a diferença, para o ponto 4, em relação a aplicação dos parâmetros do NGS absoluto e relativo, na ordem do centímetro.

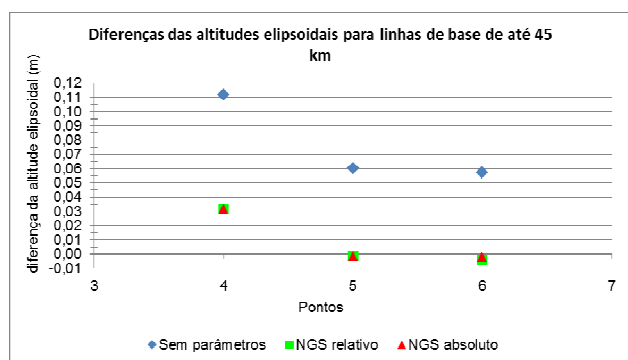


Figura 3 – Diferenças das altitudes elipsoidais para linha de base de até 45 km.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para as linhas de base longas (até 105 km). São apresentadas as altitudes elipsoidais dos pontos 7, 8 e 9, assim como as diferenças calculadas entre os resultados obtidos.

Tabela 3 – Altitudes elipsoidais e as diferenças calculadas para os pontos de até 105 km de linha de base.

	Parâmetros	Altitude elipsoidal (m)	Diferença (m)
Ponto 7	Sem parâmetros	678,6005	0,0579
	NGS relativo	678,5407	-0,0019
	NGS absoluto	678,5416	-0,0010
	BCAL/UFPR	678,5426	-----
Ponto 8	Sem parâmetros	807,4647	0,0934
	NGS relativo	807,3830	0,0117
	NGS absoluto	807,3829	0,0116
	BCAL/UFPR	807,3713	-----
Ponto 9	Sem parâmetros	806,5812	0,0558
	NGS relativo	806,5169	-0,0085
	NGS absoluto	806,5189	-0,0065
	BCAL/UFPR	806,5254	-----

Através da Tabela 3, nota-se que a diferença entre NGS relativo e BCAL/UFPR; NGS absoluto e BCAL/UFPR, para o ponto 8, é de respectivamente de 11,7 mm e 11,6 mm. Observa-se que, na mesma Tabela 3, a diferença, para o ponto 9, entre os mesmos parâmetros anteriormente citados, foi respectivamente de -8,5 mm e -6,5 mm. A precisão do método, para a situação de 1,5 mm + 0,01 ppm, não é alcançada quando são inseridos os valores dos PCO-PCV do NGS, para os pontos 8 e 9.

A Figura 4 apresenta, de forma gráfica, os valores das diferenças calculadas e indicadas na Tabela 3. Assim, como para os comprimentos de linhas de base curtas e médias, para as linhas de base longas observa-se a diferença centimétrica entre a não utilização dos parâmetros e a aplicação dos PCO-PCV da BCAL/UFPR.

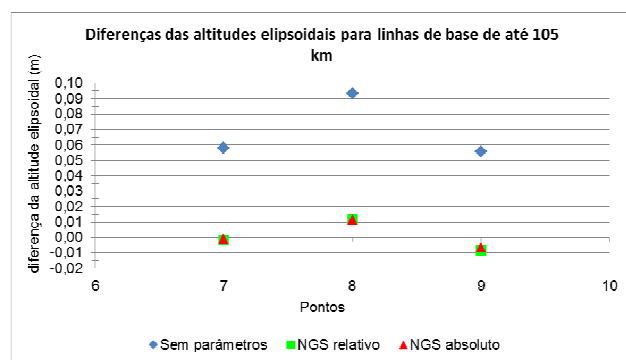


Figura 4 – Diferenças das altitudes elipsoidais para linha de base de até 105 km.

#### 4 CONCLUSÕES

Mediante os resultados alcançados para as altitudes elipsoidais, pode-se afirmar que os parâmetros de calibração de antenas GPS são de suma importância na obtenção da alta precisão em posicionamentos GPS. Foram encontradas diferenças na ordem de centímetros, quando não se utilizou parâmetros, o que contribui para degradação da precisão do posicionamento realizado.

Verificou-se diferenças de milímetros à centímetros em alguns pontos (1, 4, 6, 8 e 9) quando da comparação das altitudes elipsoidais com o emprego dos parâmetros próprios da BCAL/UFPR com os parâmetros médios do NGS (NGS absoluto e relativo).

Ressalta-se que, os resultados da BCAL/UFPR, advêm da utilização de parâmetros individuais, portanto fiéis às antenas utilizadas. Enquanto que, os PCO-PCV, oriundos do NGS, são parâmetros médios de cada modelo de antena.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (PPGCG), ao Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH) e à Universidade Federal do Paraná (UFPR).

## REFERÊNCIAS

HUINCA, S. C. M. **Calibração Relativa de Antenas GNSS na BCAL/UFPR**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2009.

HUINCA, S. C. M.; KRUEGER, C. P. **Determinação de Parâmetros de Calibração Relativos em Nível Absoluto de Antenas de Receptores GPS**. Revista Brasileira de Cartografia, n° 63 Ed. Especial – Geodésia e Topografia. 2011.

KERSTEN, T.; SHÖN, S. **Towards Modelling Phase Center Variations for Multi-Frequency and Multi-GNSS**. In 5<sup>th</sup> ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing. 2010.

KRUEGER, C. P. **Apostila Geodésia Celeste**. Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007. Em prelo.

MADER, G. **GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey**. GPS Solutions, Vol. 3, N°1, p.50-58, 1999.

SEEBER, G. **Real-Time Satellite Positioning on the Centimeter Level in the 21st Century using Permanent Reference Stations**. Institut für Erdmessung, University of Hannover, 2000.

SEEBER, G., **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications**. Berlin: Walter de Gruyter, 589 p., 2003.

WÜBBENA, G.; MENGE, F.; SCHMITZ, M.; SEEBER, G.; VÖLKSEN, C. **A New Approach for Field Calibration of Absolute Antenna Phase Center Variations**. Presented at ION GPS-96, Kansas City, Missouri, USA, 1205-1214.