

Análise temporal do Centro de Fase de uma Antena GPS e sua Correlação com Variáveis ambientais

Suelen Cristina Movio Huinca¹
Prof^a. Dr^a. Claudia Pereira Krueger²

Universidade Federal do Paraná - UFPR
Setor de Ciências da Terra
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Curitiba PR

¹ suelenhuinca@ufpr.br

² ckrueger@ufpr.br

Resumo: O centro de fase de uma antena GNSS (Global Navigation Satellite System) é o ponto de recepção do sinal que chega a antena receptora, sendo considerada de grande importância sua determinação para obter precisão com posicionamento por satélites artificiais. A determinação exata do centro de fase das antenas é realizada por procedimentos de calibração das mesmas. As antenas devem ser tratadas de forma individual, pois cada uma conduz a seu próprio parâmetro de calibração sendo então necessária realizar a calibração individual da mesma. No Brasil até o ano de 2008 somente era possível minimizar essa fonte de erro utilizando parâmetros médios de calibração fornecidos pelo IGS (*International Geodetic Service*), foi então que se implantou a BCAL/UFPR. Essa que é pioneira na América Latina e estudos realizados já produzem resultados satisfatórios. Visando aprimorar a metodologia proposta nessa base de calibração estudos são continuamente realizados. O propósito desse trabalho apresentar uma análise temporal do centro de fase de uma antena GPS e correlacionar esses valores com variáveis ambientais observadas no dia de cada experimento. Com esses indicadores pretende-se realizar o controle dessas variáveis e produzir novos estudos.

Palavras chaves: Centro de Fase, Calibração, Variáveis Ambientais.

Abstract: The phase center of antenna GNSS (Global Navigation Satellite System) is the point of receipt of the signal reaches the receiving antenna, and is considered of great importance for determining high precision to satellites positioning. Accurate determination of the phase center of antennas is carried out by calibration procedures. The antennas should be treated individually, each antenna has a individual characteristic, should be calibrated individually, leading to its own calibration parameters. In Brazil until the year 2008 was only possible to minimize this source of error using medium calibration parameters provided by the IGS (International Geodetic Service), therefore it implanted the BCAL / UFPR. This basis is a pioneer in Latin America and studies have produced satisfactory results. In order to improve the methodology this basis the calibration studies are continuously conducted. The purpose from this work is present a temporal analysis of the phase center of a GPS antenna and to correlate these values with environmental variables observed on each experiment. With these indicators we intend to perform the control of these variables and produce new studies.

Keywords: Phase Center, Calibration, Environmental Variables.

1 Introdução

Visando contribuir com a comunidade brasileira usuária de posicionamento por satélites de alta precisão implantou-se a BCAL/UFPR, que consiste de uma base de calibração de antenas GNSS construída no Campus da Universidade Federal do Paraná. Nessa base de calibração está sendo desenvolvidos vários

experimentos para minimizar erros advindos do posicionamento por satélites e posteriormente disponibilizar esses serviços à comunidade. Esses erros devem ser minimizados para que seja possível realizar posicionamento de alta precisão. O centro de fase das antenas receptoras GNSS consiste em um erro sistemático e está ligado pela falta do conhecimento do ponto de recepção do sinal vindo das antenas dos satélites. Para determinar a posição do centro de fase das antenas é necessário calibrá-las.

Ressalta-se que a BCAL/UFPR é pioneira na América Latina, sendo esse fato de extrema importância visto que diversos trabalhos (FREIBERGER JUNIOR, J, 2007) concluem que as antenas devem ser tratadas individualmente, conduzindo a seus próprios parâmetros de calibração, isto é antenas do mesmo modelo conduzem a parâmetros de calibração diferentes, sendo necessária a calibração individual das mesmas.

A metodologia mais empregada para calibração de antenas na Europa é a calibração absoluta visto que com esse método é possível minimizar erros advindos do entorno da estação, porém essa tecnologia é muito cara visto que a antena a ser calibrada é acoplada a um braço mecânico que acompanha o movimento dos satélites para determinar os parâmetros de calibração. Na BCAL/UFPR aplica-se o método de calibração relativo em campo, que consiste em calibrar antenas a partir de uma antena de referência e realizando rotação da mesma. Desde o ano de 2008 realizam-se experimentos com esse método e mediante uma análise temporal dos resultados alcançados pode-se verificar que os parâmetros determinados (centro de fase) de uma mesma antena são variáveis em função da época de observação e dos anos (HUINCA et al., 2010). Diante deste fato tornou-se fundamental observar algumas variáveis que podem estar influenciando na determinação destes parâmetros de calibração para conduzir parâmetros de calibração confiáveis a comunidade usuária. A investigação dessas variáveis faz-se necessária, visto que elas podem estar correlacionadas (HUINCA e KRUEGER, 2011).

O método de calibração relativo é empregado em campo e está sujeito as influências do entorno. Estas influências são ainda fatores limitante na calibração de antenas aplicando a metodologia em campo (LÖFGREN et al., 2009), sendo difíceis de minimizar, sendo então considerado como um fator limitante na precisão das coordenadas geodésicas, especialmente na determinação da altitude elipsoidal (SCHMITZ, 2001). Alguns estudos que buscaram correlacionar algumas variáveis ambientais (precipitação, neve e temperatura) indicam que a umidade na antena causada por períodos de precipitação, mudanças bruscas na temperatura e multicaminho ocasionado por efeito de reflexão, podem ser um fator limitante na determinação de coordenadas geodésicas com precisão (WÜBBENA, et al., 2008). Wanninger e May (2000), em uma pesquisa conduzida para analisar o multicaminho em algumas estações de referência pelo período de um ano mostraram que, em dias de inverno, que as antenas que eram cobertas por neve tiveram uma ocorrência maior do efeito do multicaminho, conduzindo assim a coordenadas errôneas para estas estações.

Neste trabalho tem-se uma análise temporal dos valores de calibração (PCO) da antena (TRM22020.00+GP), posteriormente essa análise verifica-se a correlação desses valores com variáveis ambientais observadas na época de cada experimento.

2 Centro de Fase das Antenas GNSS

Antes de iniciar a definição do centro de fase das antenas GNSS é importante conhecer as dimensões nominais das antenas os quais irão dar suporte ao entendimento da mesma. São consideradas dimensões nominais das antenas (FIGURA 1) o eixo de simetria vertical, centro mecânico, plano de terra (TGP- top of ground plane) e o ponto de referência da antena ARP (antenna reference point).

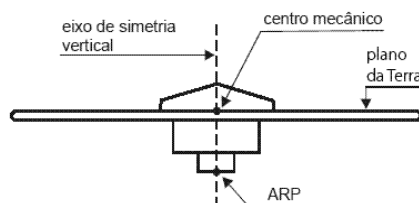


Figura 1 : Dimensões Nominais das Antenas Receptoras GNSS

Fonte: Adaptado de Freiburger Junior, J (2004)

O ponto de referencia das medidas de altura dessa antena, bem como a definição do centro de fase é

denominado de ARP. Definido mecanicamente como sendo a intersecção do eixo de simetria vertical com a superfície mais inferior do corpo da antena.

A característica mais importante das antenas de recepção GNSS consiste em conhecer o centro de fase dessas antenas. Denomina-se centro de fase eletrônico (ou simplesmente centro de fase) o ponto observado em uma antena GNSS durante a recepção de um sinal vindo de um satélite (FIGURA 2). Segundo Mader (1999) e Rabbany (2002), o centro de fase da antena não coincide com o centro mecânico (geométrica) físico da antena. Ela varia de acordo com a elevação e o azimute do satélite GNSS, bem como a intensidade (frequência) do sinal observado. O centro de fase das antenas GNSS é diferente para as ondas portadoras L1 e L2. Essas diferenças podem afetar a precisão da combinação linear livre da ionosfera, principalmente quando se observa uma linha de base curta.

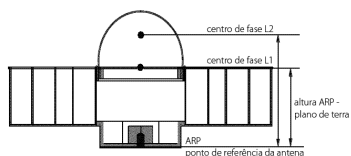


Figura 2 : Centro de fase de uma antena
Fonte: Adaptado de ALEMU (2008)

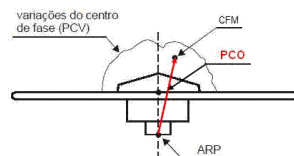


Figura 3 : PCO e PCV das antenas
Fonte: Adaptado de Freiburger Junior, J (2004)

O conhecimento da posição do centro de fase possibilita realizar a conexão deste ponto com o ARP, visando determinar as coordenadas geodésicas no ponto de interesse. O fato de ignorar a posição do centro de fase pode conduzir a erros na componente vertical de até 10 cm (MADER,1999).

A variação do centro de fase com relação ao ARP é denominada de offset do centro de fase. As coordenadas verticais dos offsets tanto para a portadora L1 quanto para a portadora L2 em relação ao ARP são fornecidos pelos fabricantes, para a maioria dos modelos de antenas GNSS. Contudo cada antena tem características próprias e elas devem ser tratadas individualmente, ou seja, seus próprios parâmetros de calibração devem ser conhecidos.

Conforme Freiburger Junior (2004), o offset do centro de fase é condicionado por uma parte mecânica e outra parte eletrônica (FIGURA 3). A primeira, denominada offset do centro de fase (PCO), consiste no vetor (\vec{P}) com origem no ARP e extremidade no centro de fase média (CFM); a segunda distância, denominada variação do centro de fase (PCV), que consiste de um deslocamento adicional do centro de fase, de caráter sistemático, que se comporta conforme o ângulo de incidência do sinal do satélite na antena.

O PCO exprime as coordenadas cartesianas do centro de fase nas componentes horizontais: N (direção norte) e E (direção leste) e na componente vertical (h) (equação 1).

$$\vec{P} = \begin{pmatrix} N \\ E \\ h \end{pmatrix} \quad (1)$$

Visando a determinar os valores do PCV faz-se necessário conhecer a direção do sinal proveniente do satélite, que é descrita em função do azimute (Az) e da elevação (e) deste satélite (FIGURA 4).

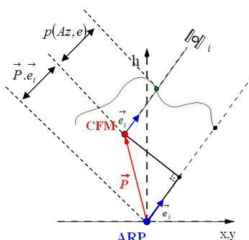


Figura 4 : Dedução das variações do centro de fase
Fonte: Adaptado de Freiburger Junior, J (2007)

O termo de correção dependente da direção do sinal é determinado através da equação 2:

$$dr(Az, e) = P \cdot e_i + p(Az, e) \quad (2)$$

Onde o termo $P \cdot e_i$ é a medida algébrica da projeção do vetor P sobre a direção do vetor unitário e na direção de um satélite i . A soma da medida da projeção com as correções fornece a correção procurada (VENTURI, 1990 apud FREIBERGER JUNIOR, 2007).

Conforme Menge (2003), os valores do PCV representam as distâncias entre o diagrama de fase efetivo (real) e o diagrama de fase médio (ideal) que mais se aproxima do comportamento real (FIGURA 5 e FIGURA 6).

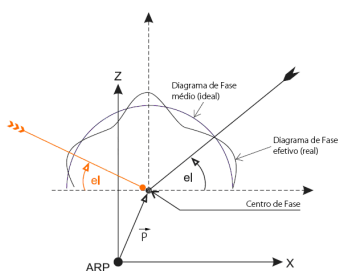


Figura 5 : Dedução do PCV
Fonte: Autoras (2012)

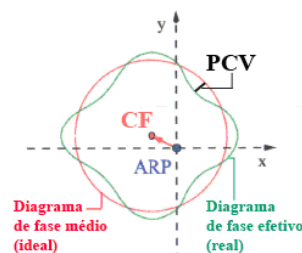


Figura 6 : Retardo ou adiantamento da Fase (PCV)
Fonte: Adaptado de Freiburger Junior, J (2007)

Os valores do PCV descrevem o estado de retardo ou adiantamento da fase da onda portadora em relação ao diagrama de fase médio (ideal), o qual é vinculado ao centro de Fase. Essas variações denominadas de PCV podem obtidas conforme a elevação e azimuth dos satélites.

A determinação da variação do centro de fase (PCO e PCV) das antenas GNSS refere-se à calibração destes instrumentos.

3 BCAL/UFPR

O interesse em ter uma base de calibração de antena GNSS na UFPR surgiu pela inexistência deste serviço nos países da América Latina, inclusive no Brasil, já que cada vez mais o posicionamento por GNSS vem sendo difundido e utilizado para diversas aplicações.

O desenvolvimento desta base de calibração no Brasil é inovador e a idéia é fruto de uma cooperação internacional existente com o do Programa PROBRAL (CAPES/DAAD) (Brasil/Alemanha). A implantação desta base de calibração no ano de 2007 com uma tese de doutorado (FREIBERGER JUNIOR, 2007). Atualmente realizam-se estudos visando determinar os parâmetros de calibrações com confiabilidade para as antenas GNSS aplicando o método de calibração relativa em campo e minimizar das influencias advindas do entorno principalmente do efeito do multicaminho.

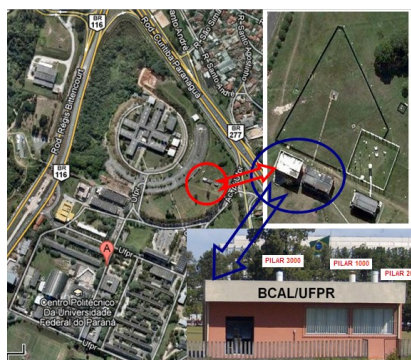


Figura 7 : BCAL/UFPR
Fonte: Adaptado de Google Earth (2012)

A BCAL/UFPR (FIGURA 7) encontra-se no Campus do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, no município de Curitiba, estado do Paraná. Instalou-se essa base na laje do observatório Astronômico Camil Gemael, anexo ao auditório e ao lado do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH). Ela é composta por três pilares denominados de Pilar 1000(Oeste), Pilar 2000(Norte) e Pilar 3000(Sul). Os equipamentos utilizados nessa base de calibração pertencem ao LAGEH e de outros laboratórios do departamento de Geomática da UFPR. O suporte necessário para desenvolvimento de equipamentos e suprimentos para os estudos que estão sendo realizados nessa base de calibração é fornecido pelo LAGEH.

4 Metodologia

Visando determinar uma análise temporal dos parâmetros de calibração (PCO) da antena TRM22020.00+GP realizaram-se alguns experimentos desde do ano de 2008, aplicando a metodologia de calibração relativa em campo na BCAL/UFPR.

Primeiramente determinou os parâmetros de calibrações dessa antena, onde se analisou a variação desses parâmetros obtidos em diferentes épocas e posteriormente observou-se a variação desses parâmetros obtidos com diferentes condições atmosféricas.

A antena realizada nesses experimentos é da marca Trimble, modelo TRM22020.00+GP, tem aproximadamente 11 anos, é uma antena microstrip, acoplada a um amplificador e a um plano de terra.

Os parâmetros de calibração das antenas foram obtidos de acordo com a metodologia de calibração relativa em campo e adotou-se a antena LEIAT504 como referência. Os dados foram processados com o programa WaSoft/Kalib 2, onde aplicou-se uma máscara de elevação de 10° , visando diminuir a influência do multicaminho provocado por sinais advindo de satélites abaixo da linha do horizonte.

4.1 Aplicação do Método de Calibração Relativa em Campo na BCAL/UFPR

Observa-se na FIGURA 8 a disposição da BCAL/UFPR, os pilares, as antenas e os receptores. Percebe-se que os receptores e computadores ficam locados no auditório situado abaixo desta base de calibração. Os três pilares, o Pilar 1000 e o Pilar 3000 são utilizados como referência e no Pilar 2000 é acoplada a antena de recepção GNSS a ser calibrada. A maior fonte de erro na determinação dos parâmetros de calibração das antenas GNSS é o multicaminho. Estudos conduzidos mostraram que o Pilar 2000 é menos afetado pelo efeito de multicaminho, sendo então escolhido como aquele em que a antena a ser calibrada será instalada (HUINCA, et al., 2009).

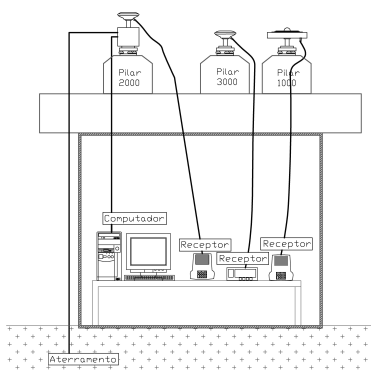


Figura 8 : Aplicação da metodologia de calibração na BCAL/UFPR

Nesta base de calibração adotam-se duas antenas como referência do modelo *Choke Ring*: LEIAT504 (Pilar 3000) e LEIAR25 (Pilar 1000), pois posteriormente os dados advindos das duas antenas poderão ser analisados, porém nesse trabalho somente irá se analisar os parâmetros de calibração obtidos com a antena de referência LEIAT504. A nomenclatura adotada para referenciar as antenas é a mesma utilizada pelo NGS. Esse órgão preconiza desde 2006 que a antena adotada como referencia para calibrar outras antenas seja do modelo “AOAD/M-T (*Allen Osborne Associates Dorne Margolin T*)” (KOUBA, 2009), sendo a mais comum desse modelo a “*Choke Ring*”.

Visando obter sinais GNSS em torno de todo hemisfério da antena utiliza-se o mecanismo DRB

(*Drehrumbum*). O Instituto de Geodésia da Universidade de Dresden desenvolveu esse mecanismo, visando diminuir a quantidade de observações GNSS necessárias para cobrir todo o hemisfério da antena durante o procedimento de calibração delas. Com esse equipamento é possível rotacionar a antena em quatro direções programadas em um período de um minuto, logo necessita-se de apenas de um dia de observação. A antena é orientada para a direção Norte antes do procedimento de rotação, após 15 segundos a antena é rotacionada para a direção Sul (Norte-Sul), mais 15 minutos para a direção Oeste (Sul-Oeste), decorridos mais 15 minutos para a direção Leste (Oeste-Leste) e decorridos mais 15 minutos para a direção Norte (Leste-Norte), completando a rotação em 1 minuto.

O intervalo de gravação dos dados é de 15 segundos e o tempo de observação é de 24 horas. Os dados GNSS obtidos em campo com método de calibração relativo são processados com o programa WaSoft/Kalib. Com esse programa faz-se o processamento de observações geradas a partir de rotações automáticas da antena em observações de 24 horas e determina-se o centro de fase das antenas (PCO e PCV) de interesse para sinais GPS e GLONASS.

5 Resultados

Nesse capítulo são apresentadas análises dos resultados preliminares aplicando a metodologia de calibração de antenas relativa em campo (seção 4.1). Essas análises são advindas da comparação dos parâmetros de calibração (PCO) para o sistema GPS obtidos em épocas e condições atmosféricas distintas, para a antena TRM22020.00+GP.

5.1 PCO - Antena TRM22020.00+GP

Na Tabela 1 são apresentados os valores do PCO (componentes norte, leste e vertical), para ambas as portadoras (L1 e L2), da antena TRM22020.00+GP obtidos utilizando a LEIAT504 como antena de referência.

TABELA 1 – TRM22020.00+GP - PCO (norte, leste e vertical) –mm – Antena de Referência LEIAT504

Dia GPS/Ano	Experimentos	PCO (norte, leste, vertical) – mm					
		L1			L2		
		Norte	Leste	Vertical	Norte	Leste	Vertical
245_08	1	0,1	-2,1	51,9	-0,3	2,7	60,8
247_08	2	0,2	-2,0	51,9	-0,5	2,5	60,6
248_08	3	0,3	-2,0	51,8	-0,6	2,6	60,4
072_09	4	0,7	-1,8	51,5	-1,4	2,2	61,3
073_09	5	0,8	-1,8	51,2	-1,7	2,2	61,5
075_09	6	0,8	-1,8	51,1	-1,5	2,3	61,1
078_09	7	0,9	-1,9	51,4	-1,5	2,2	61,5
079_09	8	0,2	-2,0	51,2	-0,6	2,6	61,1
107_09	9	-0,1	-2,1	49,7	-0,1	2,6	60,4
108_09	10	-0,1	-2,1	49,4	-0,4	2,6	60,0
112_09	11	-0,1	-2,1	50,6	-0,4	2,7	60,8
278_10	12	-0,4	2,3	53,9	0,9	-2,3	64,5
279_10	13	-0,4	2,4	54,7	1,1	-2,5	64,9
280_10	14	-0,8	2,2	53,3	1,3	-2,0	64,4
281_10	15	-3,3	-3,0	57,5	-3,6	1,1	68,9
283_10	16	-2,4	-3,5	58,4	-3,4	0,3	67,1
045_11	17	-0,1	2,2	54,8	0,3	-2,4	64,5
047_11	18	-0,1	2,2	54,8	0,3	-2,4	64,5
050_11	19	0,0	2,3	55,9	0,5	-2,4	66,0
054_11	20	0,2	2,1	53,9	0,1	-2,6	64,1
284_11	21	-0,7	2,0	51,2	1,4	-2,0	62,8
285_11	22	-1,1	2,2	51,1	1,3	-2,2	63,4
286_11	23	-1,2	2,2	50,3	1,0	-1,9	63,6
287_11	24	-1,0	1,9	50,5	1,7	-1,8	62,9
290_11	25	-1,0	2,0	49,3	1,7	-2,0	62,5

Valor Médio	-0,3	-0,1	52,5	-0,2	0,1	62,9
Desvio Padrão	0,9	2,2	2,4	1,4	2,3	2,3
Valor Máximo	0,9	2,4	58,4	1,7	2,7	68,9
Valor Mínimo	-3,3	-3,5	49,3	-3,6	-2,6	60,0

FONTE: Autoras(2011)

Observa-se na Tabela 1 que foram realizados vinte e cinco experimentos ao longo de 4 anos, tendo sido conduzidos nos anos de 2008, 2009, 2010 e 2011. Apresentam-se os valores médios, desvio-padrão, os valores máximos e mínimos para este conjunto de resultados. Os valores das componentes: norte, leste e vertical, para ambas as portadoras são variáveis para ambas as portadoras. Percebe-se que o menor desvio-padrão calculado (0,9 mm) é para a componente norte da onda portadora L1, os demais desvios-padrão são de aproximadamente 2,0 mm para outras componentes (leste e vertical). Pode-se ainda verificar que os desvios-padrão para a componente norte são inferiores a 1,5 mm para as portadoras L1 e L2. Verifica-se também que a componente vertical para as ambas portadoras existem as maiores variações.

Na FIGURA 9 e na FIGURA 10 têm-se os valores da componente vertical para as portadoras L1 e L2, respectivamente. Percebe-se que em ambas as portadoras a amplitude da variação é de 9 mm. Visualiza-se que as menores variações ocorrem quando se comparam os experimentos realizados nos anos de 2008 e 2009.

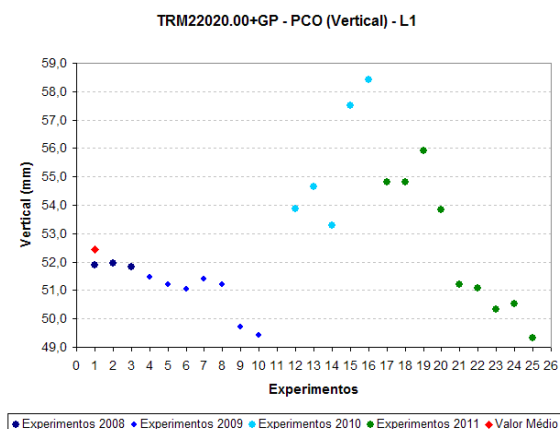


Figura 9 : Componente Vertical – L1

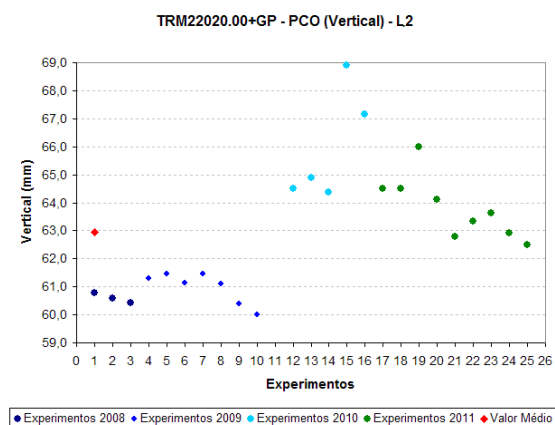


Figura 10 : Componente Vertical – L2

Os valores das diferenças tridimensionais obtidas a partir dos valores médios, máximos e mínimos para ambas as portadoras, podem ser observadas nas FIGURAS 11 e 12, respectivamente.

Na FIGURA 11 percebem os valores da diferença tridimensional para a portadora L1. Observa-se que a amplitude dessa variação é de aproximadamente 9 mm. Analisando-se as diferenças tridimensionais obtidas com os valores médios visualiza-se que as maiores variações são obtidas para os experimentos 15 e 16. As menores diferenças tridimensionais ocorrem para os experimentos 23, 24 e 25.

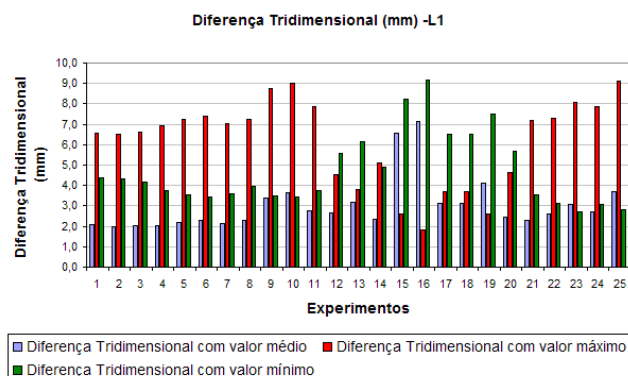


Figura 11 : TRM22020.00+GP- Diferença Tridimensional – L1

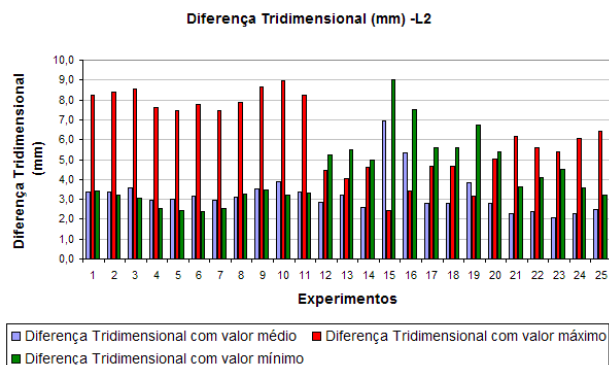


Figura 12 : TRM22020.00+GP- Diferença Tridimensional – L2






Os valores da diferença tridimensional para a portadora L2 pode ser observados na FIGURA 12. Percebe-se que a maior diferença observada é de 9 mm, o qual ocorre quando se compara os valores dos experimentos realizados com o valor máximo observado (experimento 10) e com o valor mínimo observado (experimento 15).

5.2 Comparação dos Valores PCO (Vertical) Versus Variáveis Meteorológicas (TRM22020.00+GP)

Mediante as análises realizadas na seção 5.1 detectou-se que os valores do PCO (componente norte, leste e vertical), para ambas as portadoras, obtidos com a antena de referência LEIAT504, são variáveis quando realiza-se uma análise temporal, obtidos em épocas distintas e sob diferentes condições atmosféricas. A componente vertical é a que mostrou uma maior variação, por esse motivo, esta seção irá correlacionar algumas variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) com a componente vertical (L2) e analisá-las.

Para realizar essa análise escolheu-se cinco dias consecutivos de experimentos, conduzidos no ano de 2011. Observa-se no QUADRO 1, valores máximo e mínimos das variáveis meteorológicas (temperaturas, umidade relativa do ar, precipitação), nos quais se realizou os experimentos de calibração relativa da antena TRM22020.00+GP.

Percebe-se (QUADRO 1) o dia GPS em que cada experimento foi realizado e o ano de observação, o número do experimento, figuras para representar a condição atmosférica do dia de cada experimento e os valores máximos e mínimos das variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar, precipitação para a sessão realizada em cada experimento, respectivamente. Ressalta-se que as informações de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação, foram obtidas através do site do INMET, da estação superficial de Curitiba. As figuras (condição atmosférica) representam o clima do dia dos experimentos, obtidos a partir de informações observadas e anotadas na caderneta de campo.

Dia GPS/Ano	Experimentos	Condição Atmosférica	Temperatura (°C)		Umidade Relativa do Ar (%)		Precipitação (mm)	
			Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
284_11	1		23,3	14,5	82,0	57,0	0,0	0,0
285_11	2		21,3	14,4	91,0	57,0	1,8	0,2
286_11	3		21,4	16,6	90,0	64,0	23,8	0,2
287_11	4		23,4	15,3	84,0	63,0	2,6	0,2
290_11	5		21,4	11,3	83,0	44,0	0,2	0

QUADRO 1 - VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS – TRM22020.00+GP

Quando se comparam os valores observados para a temperatura máxima verifica-se que houve uma variação de 2°C durante os dias dos experimentos. Observa-se uma redução de 2°C (experimento 1-2), entre os experimento 2-3 manteve-se constante, posteriormente houve uma elevação de 2°C na temperatura (experimento 3-4) finalizando com uma redução de 2°C (experimento 4-5). Analisando a temperatura mínima observada durante os experimentos, percebe-se que os valores são constantes para o experimento 1-2, e há uma elevação de 2,2°C (experimento 2-3), a temperatura mínima decai a partir do experimento 4, chegando a 11,3°C (experimento 5). Visualiza-se que os valores máximos para umidade relativa do ar são variáveis, sendo que a maior variação observada é de 9% e o valor médio calculado é de 86%. A maior variação é de 20% quando se observam os valores mínimos para umidade relativa do ar

(experimento 4-5). Quando se analisam os valores de precipitação percebe-se que no experimento (3), tem-se o maior valor máximo, igual a 23,8 mm.

Os valores das variáveis ambientais observadas em cada dia de experimento podem ser visualizadas na FIGURA 13. Mediante uma análise entre os experimentos 1 e 2 verifica-se que há diferenças entre a precipitação máxima e o aumento do valor máximo da umidade relativa do ar. Percebe-se que a precipitação máxima ocorreu para o experimento 3.

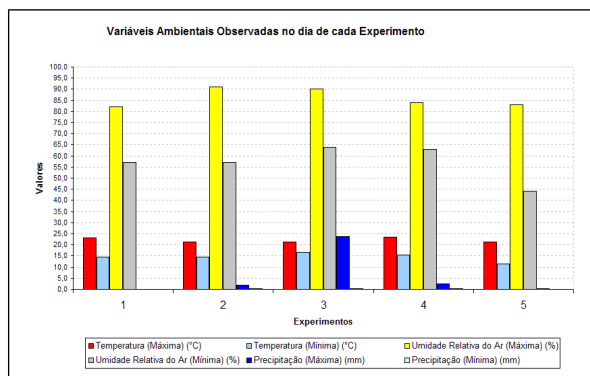


Figura 13 : Variáveis Ambientais

Na FIGURA 14 observam-se os valores da componente vertical do PCO para a portadora L2 confrontada com os valores máximos e mínimos da temperatura para cada dia de experimento. Visualiza uma variação de 1 mm (experimento 3-5) da componente vertical (PCO) para a portadora L2, uma variação de 4°C na temperatura mínima.

Analisando a FIGURA 15 percebe-se que onde houve uma variação da componente vertical (PCO) para a portadora L2, ao mesmo tempo em que se uma variação dos valores da umidade relativa do ar mínima.

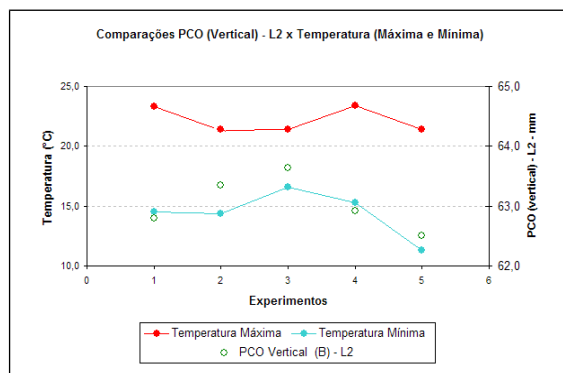


Figura 14 : Comparação PCO (vertical) x Temperatura

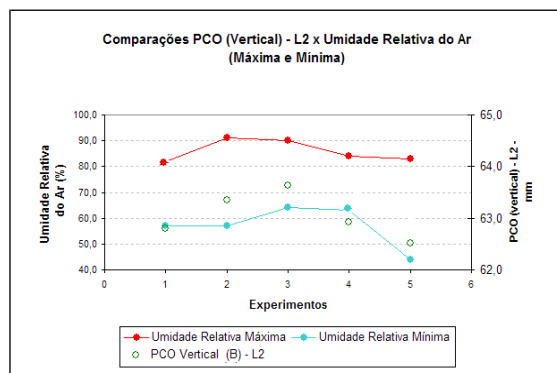


Figura 15 : Comparação PCO (vertical) x Umidade

Na FIGURA 16 têm-se os valores máximos e mínimos da precipitação confrontados com os valores da componente vertical (PCO) da portadora L2. Analisando a figura observa-se que choveu em 3 dias dos 5 dias em que foram realizados os experimentos. Verificou-se chuvas mais fortes no experimento 3 com uma precipitação máxima de 23,8 mm (experimento 3). Nos experimentos 2 e 4 também se detecta precipitação da ordem de 1,8 mm (experimento 2) e de 2,6 mm (experimento 4).

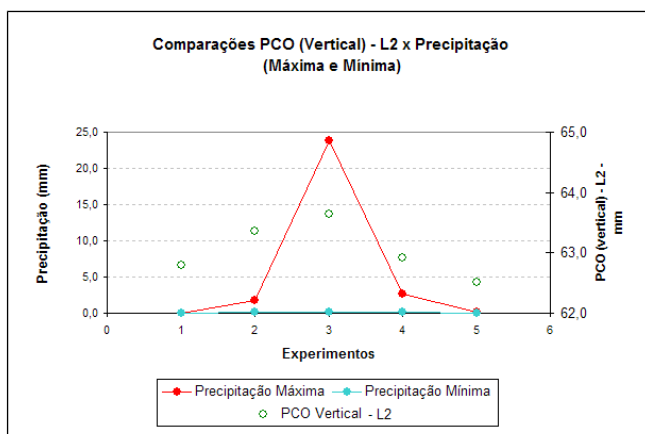


Figura 16 : Comparação PCO (vertical) x Precipitação

6 Conclusão

A análise temporal, experimentos conduzidos em diferentes épocas do ano de 2008, 2009, 2010 e 2011, dos valores do centro de fase (PCO) da antena TRM22020.00+GP indicaram que esses valores são variáveis, especialmente quando se compara os experimentos do ano de 2008 com os experimentos de 2010. Pode-se verificar que os experimentos não são acurados e nem precisos com relação a média calculada ao se analisar os valores da componente norte e leste (posição planimétrica). Percebe-se que a maior variação ocorre para a componente vertical, conduzindo a diferenças tridimensionais na ordem de 9 mm.

A variação da componente vertical, sendo a mais variável foi correlacionada através de gráficos com as variáveis ambientais (temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar e precipitação) observadas em cada dia de experimento. Observou-se que alguns experimentos indicam época quente e seca com altas temperaturas acompanhadas de baixa umidade, épocas chuvosas com temperaturas médias mais baixas e umidades relativas do ar mais altas. Constatou-se que as variações do PCO são diferentes quando determinados com condições atmosféricas diversas.

7 Algumas Referências Bibliográficas

- ALEMU, G T.** Assessments on the effects of mixing different types of GPS antennas and receivers. Master's of Science Thesis in Geodesy No. 3106 . School of Architecture and the Built Environment. Royal Institute of Technology (KTH) Stockholm, Sweden. September 2008.
- FREIBERGER JUNIOR.** Antenas de Receptores GPS: Características Gerais. Material teórico de apoio ao Curso de Extensão Error Sources in Highly Precise GPS Positioning, 2004. Disponível em: http://www.geomatica.ufpr.br/docentes/ckrueger/pessoal/D_antenas.pdf. Acesso em: 29 de setembro de 2011.
- FREIBERGER JUNIOR, J .** Investigações Da Calibração Relativa de Antenas GNSS. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2007.
- 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.** Correlação Das Variáveis Ambientais e Efeito do Multicaminho com os Parâmetros de Calibração (PCO) de Antenas GNSS. Resumo apresentado nos Anais do VII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, 12 a 14 de setembro de 2011.
- LÖFGREN, R H; JOHANSSON, J; NING T; SCHERNECK H G.** Site-Dependent Effects in GNSS-Observations — Reflections as Disturbances and/or Signals . Department of Radio and Space Science,

Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009. EGU General Assembly 2009.

SCHMITZ, M.; WÜBBENA, G. Remarks on Effects of the SCIS Radome on PCV. Garbsen, Germany, 2001.

Agradecimentos

Agradecimentos especiais a empresa Geo++ e a WaSoft que realizaram calibrações das antenas utilizadas nesse trabalho de pesquisa sem ônus.