
INVESTIGAÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS QUE PODEM INTERFERIR NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS GNSS

SUELEN CRISTINA MOVIO HUINCA 1

CLAUDIA PEREIRA KRUEGER 2

JORGE FELIPE EURIQUES 2

(1) Universidade Federal de Pelotas - UFPel
Setor de Geomática, Departamento de Engenharia Rural.
Pelotas, RS
suelen.huinca@gmail.com

(2) Universidade Federal do Paraná - UFPR
Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia – LAGEH
Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, Curitiba, PR.
cpkrueger64@gmail.com, jorge.euriques@gmail.com

RESUMO - Na calibração relativa em campo as fontes de erro provenientes das observações GNSS devem ser minimizadas para que a mesma não altere a determinação do centro de fase das antenas. Pode-se citar como fonte de erro nessas calibrações: características do entorno da estação; o ambiente da antena; condições de multicaminho e variáveis meteorológicas. Esse método de calibração vem sendo aplicado desde o ano de 2008 na BCAL/UFPR (Base de Calibração de Antenas GNSS na Universidade Federal do Paraná). Os primeiros resultados obtidos na estação BCAL/UFPR mostram que os parâmetros determinados de uma mesma antena são diferentes quando obtidos em épocas distintas e sob diferentes condições ambientais. Mediante esta constatação surgiu a necessidade de desenvolver uma análise mais criteriosa de algumas variáveis ambientais (meteorológicas e efeito do multicaminho), fontes de erros provenientes das influências existentes no entorno das estações utilizadas no procedimento de calibração. Nesse trabalho analisou-se a variação dos valores do PCO em função das variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) e efeito do multicaminho.

Palavras-chaves: Antenas GNSS, parâmetros de calibração, variáveis ambientais.

ABSTRACT - The relative field calibration sources of error that from the GNSS observations should be minimized so that it does not change the determination of the phase center of the antenna. The sources of error in this calibration: around the characteristics of the station; the antenna environment; multipath conditions and weather variables. This calibration method has been applied since the year 2008 in BCAL / UFPR (BCAL: baseline calibration station for GNSS antennas in Federal University of Paraná). The first results obtained in BCAL / UFPR station show that the parameters determined using one same antenna are different when obtained at different times and under different environmental conditions. With this realization came the need to develop a more detailed analysis of some environmental variables (meteorological and effect of multipath), error sources from existing influences around stations used in the calibration procedure. In this paper we analyzed the variation of PCO values in the meteorological variables (temperature, relative humidity and precipitation) and the effect of multipath.

Keywords: Calibration parameters , GNSS antennas , environmental variables.

1 INTRODUÇÃO

Quando se realiza calibração relativa de antenas, as fontes de erros devem ser minimizadas para que se possam determinar corretamente os parâmetros próprios de calibração. Esses erros podem ser provenientes da propagação do sinal ao longo da troposfera e da ionosfera. Eles são eliminados por meio da DDF visto que a linha de base formada é muito curta nesse procedimento de calibração. Outra fonte de erro refere-se ao efeito do multicaminho, o qual não é

eliminado e é considerado o de maior magnitude. Desta forma, para realizar a calibração relativa em campo deve-se buscar locais para a instalação de bases de calibração que não contribuam com este efeito.

Desde o ano de 2008 aplica-se o método de calibração relativo em campo na BCAL/UFPR. Mediante uma análise dos resultados alcançados pode-se verificar que os parâmetros determinados de uma mesma antena são variáveis em função da época de observação e dos anos (HUINCA et al., 2010). Com isto, tornou-se fundamental observar algumas variáveis ambientais que podem estar influenciando na determinação destes parâmetros de calibração. Essas variáveis são a temperatura, umidade e precipitação, sendo que a investigação destas faz-se necessária, visto que elas podem estar correlacionadas (HUINCA e KRUEGER, 2011).

2 METODOLOGIA

Visando identificar variáveis ambientais que possam interferir na correta determinação dos parâmetros de calibração, isto é, do centro de fase das antenas aplicando o método de calibração relativo em campo na BCAL/UFPR, alguns experimentos foram realizados. Observam-se na Figura 1, três tópicos abordados visando identificar essas variáveis.

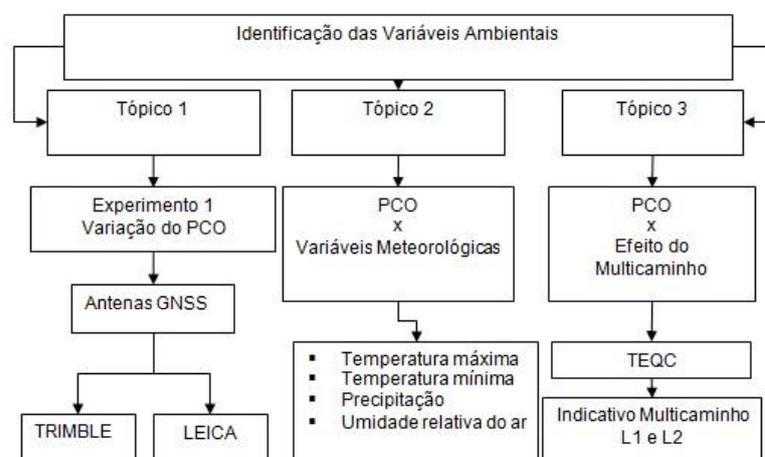


Figura 1 – Quadro da metodologia utilizada para realizar a análise das variáveis ambientais versus PCO.
Fonte: Os autores (2016).

O Tópico 1 refere-se à determinação e análise dos parâmetros de calibrações de antenas de marcas diferentes. Analisou-se a variação desses parâmetros obtidos em diferentes épocas e com diferentes condições meteorológicas. No segundo tópico (Tópico 2) correlacionam-se os parâmetros de calibração (PCO) determinados no Tópico 1 com as variáveis meteorológicas observadas durante o período dos experimentos. E no último tópico (Tópico 3) têm-se os valores do PCO obtidos no Tópico 1 confrontados com o indicativo do efeito do multicaminho obtido com o programa TEQC.

2.1 Variação do PCO das Diferentes Antenas

Foram calibradas duas antenas de fabricantes, idades e características diferentes, visando efetuar análises da variação dos parâmetros destas antenas obtidos em épocas distintas e sob diferentes condições meteorológicas. As antenas analisadas nesta pesquisa foram: TRM22020.00+GP e LEIAX1202GG (A). A primeira tem aproximadamente 18 anos, é uma antena microstrip, acoplada a um amplificador e a um plano de terra. Ela é uma antena de dupla frequência e recebe os sinais dos satélites da constelação GPS. Essa antena vem sendo calibrada desde o ano de 2008 na BCAL/UFPR.

A LEIAX1202GG (A) é produzida pela Leica, têm aproximadamente 9 anos, é uma antena de dupla frequência e foi fabricada para receber sinais dos satélites GPS e GLONASS. Iniciou-se a calibração dessa antena na BCAL/UFPR no ano de 2011, ano esse em que a antena de referência passou a ser a LEIAR25.

Para determinar os parâmetros de calibração destas antenas aplicou-se a metodologia de calibração relativa em campo, utilizando-se uma antena como referência e a antena a ser calibrada. Coletaram-se dados GPS por um período de 24 horas, sendo que a antena a ser calibrada foi rotacionada nesse período. Para o processamento dos dados utilizou-se o programa WaSoft/Kalib 2.0. Esse programa emprega uma máscara de elevação de 10°, visando diminuir a influência do multicaminho provocado por sinais cuja informação provém de satélites abaixo da linha do horizonte.

Após o processamento dos dados tem-se valor dos parâmetros de calibração, isto é, do PCO (Phase Center Offset - Offset do Centro de fase) e do PCV (Phase Center Variation - Variação do Centro de Fase) para as duas ondas portadoras (L1 e L2).

Neste trabalho analisaram-se somente os valores do PCO (componentes: norte, leste e vertical) obtidos para as duas ondas portadoras (L1 e L2). Estas análises basearam-se na estatística descritiva, a qual calcula os valores médios, desvio padrão, valor mínimo e valor máximo das componentes do PCO (norte, leste e vertical) para as portadoras L1 e L2. Calcularam-se as diferenças tridimensionais do PCO (com o seu valor médio) para as calibrações realizadas, sendo que estas são obtidas pela diferença entre os valores médios e os valores observados de cada calibração efetuada. Os valores mínimos e máximos obtidos dos conjuntos destas calibrações possibilitaram a geração de diferenças tridimensionais (3D) para esses valores. Com a análise dos valores do PCO observa-se qual é a componente (norte, leste e vertical) para ambas as ondas portadoras que sofre maior variação ao longo do tempo e qual é a magnitude dessa variação.

2.2 Variação dos Parâmetros de Calibração (PCO) versus Variáveis Meteorológicas

Os valores dos parâmetros de calibração (PCO) obtidos para as antenas citadas na seção 2.1 foram correlacionados com as variáveis meteorológicas observadas durante o período de cada experimento. Eles foram conduzidos aplicando a metodologia de calibração relativa em campo na BCAL/UFPR, em dias com diferentes condições meteorológicas (calor, frio e períodos de precipitação). Com a indisponibilidade de sensores das variáveis meteorológicas que fossem capazes de gravar dados a cada 1 hora por um período de 24 horas, desde o início dos levantamentos, recorreu-se a uma estação pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). A estação escolhida para esses experimentos foi a estação denominada de CURITIBA-A807, pertencente à rede de estações automáticas, composta de uma unidade de memória central ("data logger"), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc), que integra os valores observados automaticamente a cada hora. Essa estação localiza-se no Centro Politécnico, campus da UFPR. Como ela está muito próxima a BCAL/UFPR admite-se que os parâmetros meteorológicos são os mesmos, os quais serão empregados como variáveis externas.

Adotaram-se valores máximos, mínimos das variáveis observadas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) de cada seção de 24 horas de observação para realizar as análises. Para essas análises foram geradas tabelas e gráficos. Com estes últimos pode-se observar se há correlação dos valores do PCO com as variáveis meteorológicas.

2.3 Variação dos Parâmetros de Calibração (PCO) versus Efeito do Multicaminho

As calibrações que apresentam os maiores e menores valores de PCO vertical, bem como os valores médios, para as duas ondas portadoras, foram confrontadas com os valores que representaram um indicativo do multicaminho para cada dia de calibração. Esses valores foram obtidos com o programa TEQC. Esse programa proporciona valores que indicam a magnitude do efeito do multicaminho para combinações lineares da observação da pseudodistância e da fase da onda portadora, isto é MP1 e MP2, combinações lineares da pseudodistância e da fase da onda portadora L1 e L2 respectivamente.

As tabelas e gráficos gerados com valores obtidos com o programa TEQC versus componentes PCO (vertical) possibilitaram a realização das análises.

3 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados e respectivas análises aplicando a metodologia de calibração de antenas relativa em campo. Essas análises são provenientes da comparação dos parâmetros próprios de calibração (PCO) das antenas GPS obtidos em épocas e em condições meteorológicas distintas, para duas antenas de fabricantes e idades diferentes, TRM22020.00+GP e a LEIAX1202GG (A).

3.1 Antena TRM22020.00+GP

Após a determinação dos valores do PCO (norte, leste e vertical) para as ondas portadoras realizaram-se algumas análises. Calcularam-se as diferenças tridimensionais com os valores: médios, máximos e mínimos para as portadoras L1 e L2.

Na Figura 2 observa-se as diferenças para L1. Percebe-se que a maior diferença entre os valores máximo e mínimo é obtida para o 5º dia de calibração do experimento 2 (outubro/11 - Dia GPS 290/11). As menores diferenças entre os valores máximo e mínimo são obtidas para as calibrações do experimento 3 (janeiro/13).

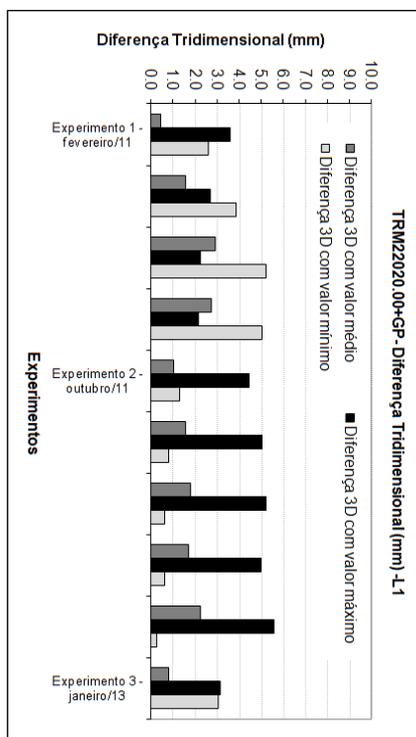


Figura 2 – Antena TRM22020.00+GP- Diferenças Tridimensionais para a portadora L1

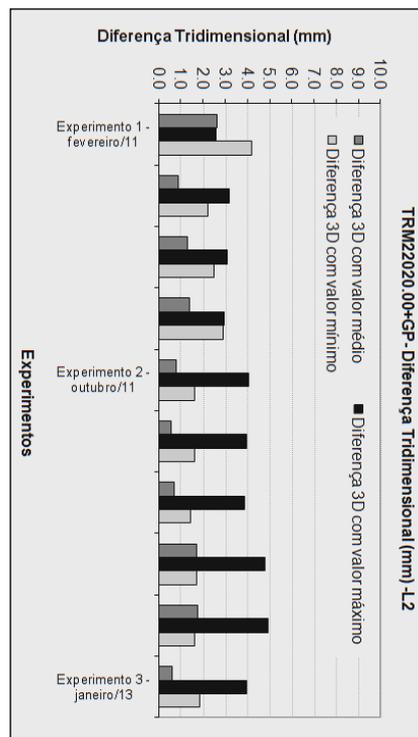


Figura 3 – Antena TRM22020.00+GP- Diferenças Tridimensionais para a portadora L2

As diferenças tridimensionais obtidas para a portadora L2 podem ser observadas na Figura 3. Percebe-se que as diferenças obtidas com os valores médios são inferiores a 3 mm. As diferenças obtidas com os valores mínimos e os valores máximos são inferiores a 4 mm e 5 mm, respectivamente. Observa-se que as maiores diferenças entre os valores máximo e mínimo foram obtidas para o 4º e 5º dia do experimento 2 (outubro/11, Tabela 8).

3.1.1 Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Variáveis Meteorológicas

Mediante as análises realizadas dos valores do PCO (componente norte, leste e vertical), para ambas as portadoras, verificou-se que a componente vertical é a que mostra maior variação. Por este motivo, esta seção irá correlacionar algumas variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) com a componente vertical (L1 e L2).

Na Figura 4 observam-se os valores da componente vertical do PCO para ambas as portadoras, confrontados com os valores máximos, mínimos e médios da temperatura para cada um dos experimentos. Visualiza-se uma variação de 3 mm (Dia GPS 045/11 e Dia GPS 014/13) na componente vertical (PCO) para a portadora L2 e uma variação de aproximadamente 2,5°C na temperatura máxima, mínima e média. Observa-se uma variação de 2 mm (Dia GPS 045/11 e Dia GPS 290/11) da componente vertical (PCO) para a portadora L1 e uma variação de aproximadamente 3°C para a temperatura média.

Analisando a Figura 5 percebe-se que os experimentos do Dia GPS 284 ao Dia GPS 287 do ano de 2011, são os que apresentam a menor variação tanto na componente vertical para ambas as portadoras quanto para a variação na umidade relativa do ar (máxima, mínima e média).

Na Figura 6 têm-se os valores máximos da precipitação e porcentagem de chuva durante o período de calibração confrontado com os valores das componentes verticais (PCO) para as portadoras L1 e L2. Comparando os experimentos Dia GPS 045/11 (o qual apresentou o maior valor de precipitação, bem como, a maior porcentagem de chuva durante o período de calibração) versus Dia GPS 284/11 (sem chuva) percebe-se uma variação de 1,2 mm e 3,3 mm para as

portadoras L1 e L2, respectivamente. Comparando dois experimentos realizados em períodos sem chuva (Dia GPS 290/11 e Dia GPS 014/13) percebe-se uma variação 3 mm e 1,2 mm para as portadoras L1 e L2, respectivamente.

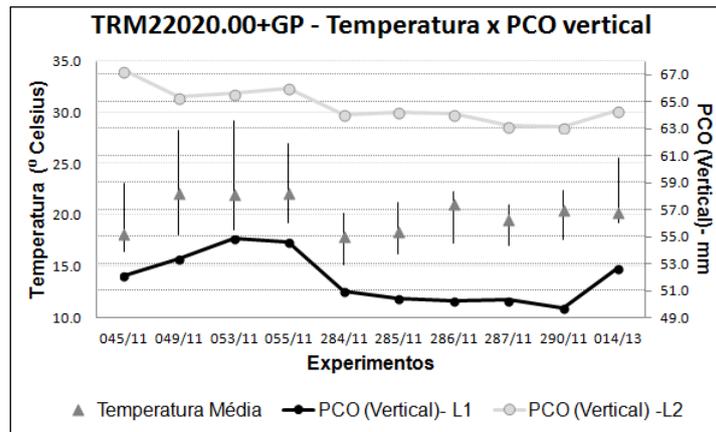


Figura 4 – PCO vertical versus Temperatura

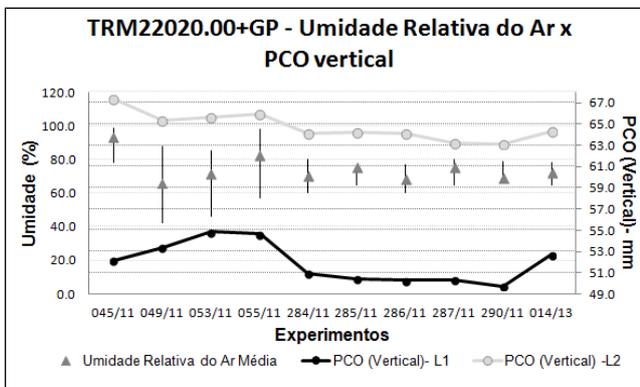


Figura 5 – PCO vertical versus Umidade Relativa do Ar

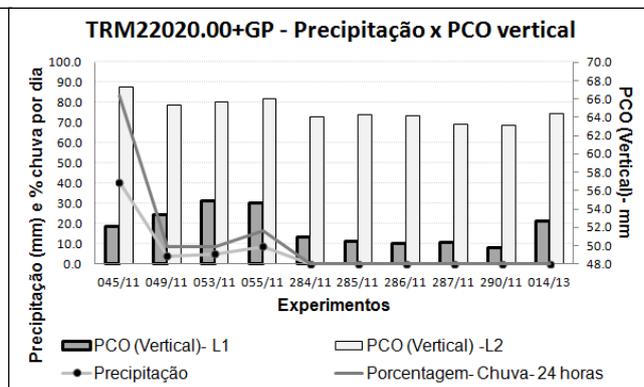


Figura 6 – PCO vertical versus Porcentagem de Chuva

Na Tabela 1 observam-se os coeficientes de correlação (r) calculados para o PCO vertical para as portadoras L1 e L2 versus as variáveis meteorológicas. Percebe-se que há forte correlação entre o PCO vertical (L1) e a temperatura máxima ($r=0,9$) e uma fraca correlação entre o PCO vertical (L1) e a precipitação ($r=0,2$). Para o componente vertical (L2) observa-se uma forte correlação com a umidade máxima relativa do ar ($r=0,9$) e nenhuma correlação com a umidade mínima relativa do ar.

Tabela 1: Coeficiente de correlação - PCO vertical versus variáveis meteorológicas

PCO Vertical (mm)	Temperatura (°)			Umidade Relativa do Ar (%)		Precipitação (mm)	
	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Máxima	% de Chuva
L1	0,9	0,7	0,6	0,6	-0,6	0,2	0,2
L2	0,5	0,2	0,1	0,9	0,0	0,7	0,8

Fonte: Huinca (2014).

3.1.2 Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Efeito do Multicaminho

A análise dos valores do multicaminho (MP1 e MP2) para a antena TRM22020.00+GP foi realizada baseada nos valores do PCO (vertical). Para o PCO (vertical) em L1 elegeram-se os dias GPS que apresentaram valores mais parecidos com os valores médios (Dia GPS 045/11 e Dia GPS 014/13) e o Dia GPS 053/11 que apresenta o maior valor e o Dia GPS 290/11 que apresenta o menor valor. Seguindo o mesmo raciocínio para o PCO (vertical) em L2 se emprega o Dia GPS 045/11 (que apresenta o maior valor), o Dia GPS 290/11 (que apresenta o menor valor) e os dias GPS 053/11 e 014/13 (por apresentarem valores mais parecidos com o valor médio). Observam-se na Tabela 2 os valores médios de MP1 e MP2 obtidos com o programa TEQC e os valores do PCO (Vertical) obtidos para os mesmos dias GPS. Calculou-se o valor médio, máximo, mínimo e desvio padrão para esses conjuntos de dados. O Dia GPS 053/11 e o Dia GPS 290/11 apresentam o maior e menor valor (médio) de MP1, respectivamente. Confrontando essas

informações com os valores de PCO (vertical) percebe-se que o maior e menor valor de PCO (vertical) em L1 foram obtidos para estes mesmos dias GPS. Os valores médios de MP2 são da ordem de metros sendo que o maior valor e menor valor ocorrem para os dias GPS 290/11 e 053/11, respectivamente. Porém confrontando essas informações com os valores do PCO (vertical) em L2 percebe-se que o DIA GPS 290/11 apresenta o menor valor e o dia GPS 053/11 um valor próximo ao valor médio de 64,7mm.

Tabela 2: PCO (VERTICAL) L1 e L2 versus MP1 e MP2

Dia GPS/Ano	Multicaminho (m)		PCO (Vertical) (mm)	
	MP1	MP2	L1	L2
045/11	0,26	1,47	52,13	67,33
053/11	0,29	1,31	54,86	65,63
290/11	0,23	1,54	49,74	63,14
014/13	0,28	1,47	52,72	64,36

Indicador	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
MP1	0,27	0,03	0,29	0,23
MP2	1,45	0,10	1,54	1,31

Fonte: Adaptado de Huinca (2014).

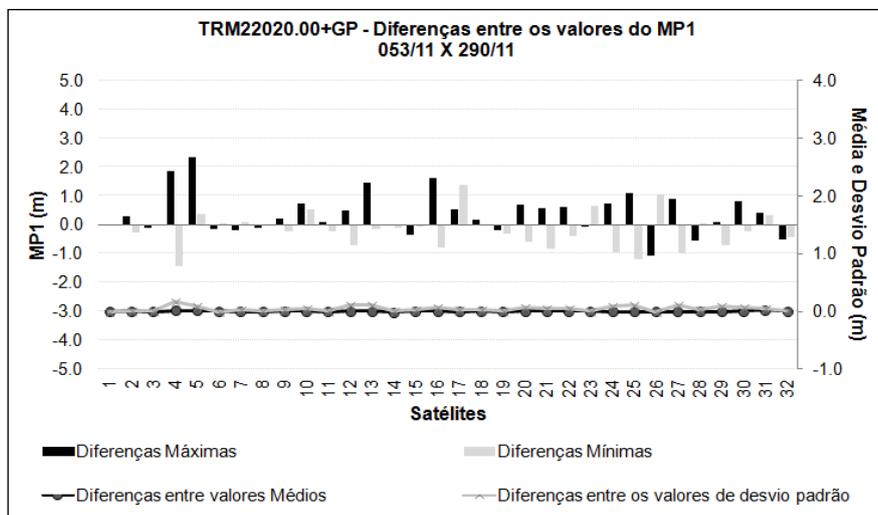


Figura 7 – Comparação do MP1 - DIA GPS 053/11 E DIA GPS 290/11

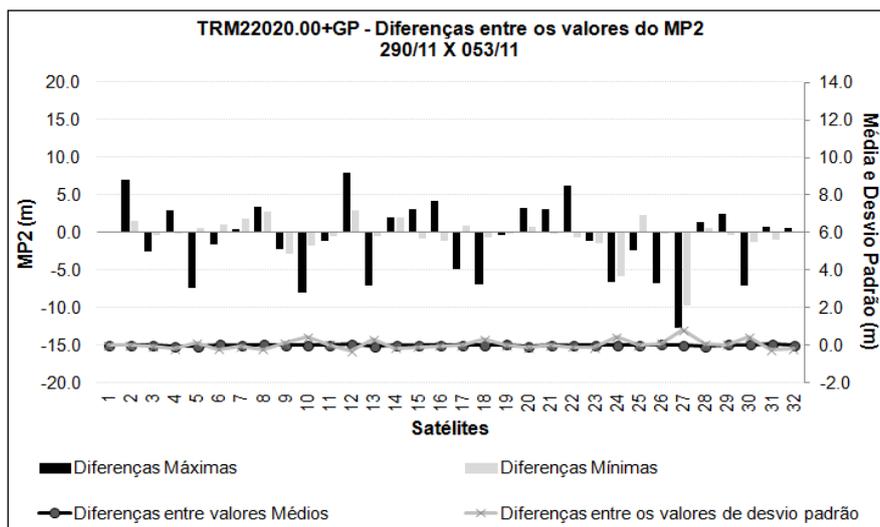


Figura 8 – Comparação do MP2 - DIA GPS 053/11 E DIA GPS 290/11

Na Figura 8 observa-se que as maiores diferenças máximas são observadas para o Dia GPS 053/11, tendo-se para o satélite 27 o valor de aproximadamente 13 m. As diferenças entre os valores médios e desvio padrão são inferiores a 1 m.

Calcularam-se as diferenças entre os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão a partir da subtração dos valores do dia GPS 053/11 e Dia GPS 290/11 para MP1 e MP2 os quais podem ser visualizados nas Figuras 7 e 8, respectivamente. Na Figura 7 percebe-se que as maiores diferenças máximas ocorrem para o Dia GPS 053/11, para o satélite 5 tem-se uma diferença de 2,3 m. As diferenças entre os valores médios e desvio padrão são inferiores a 25 cm.

3.2 Antena LEIAX1202GG(A)

Para esse modelo de antena foram realizados vinte e um experimentos nos meses de maio, agosto e setembro de 2011, março e outubro de 2012 e janeiro de 2013. Obtiveram-se as componentes: norte, leste e vertical para o PCO, para ambas as portadoras; os valores médios; os desvios-padrão; valores máximos e mínimos. Com os valores médios, máximos e mínimos calculados foram realizadas comparações entre os experimentos. Adotou-se como padrão o valor médio, máximo e mínimo e as diferenças entre esses valores e os valores obtidos para cada experimento foram calculadas. Visualizam-se na Figura 9 e 10, as diferenças tridimensionais (3D) obtidas para as ondas portadoras L1 e L2, respectivamente.

Na Figura 9 visualiza-se que em 15 dos 21 dias de experimentos realizados as diferenças 3D dos valores médios variam até 1 mm. Observa-se que os dois dias do experimento 6, realizados em janeiro de 2013, apresentam as maiores diferenças 3D obtidas com o valor médio, máximo e mínimo.

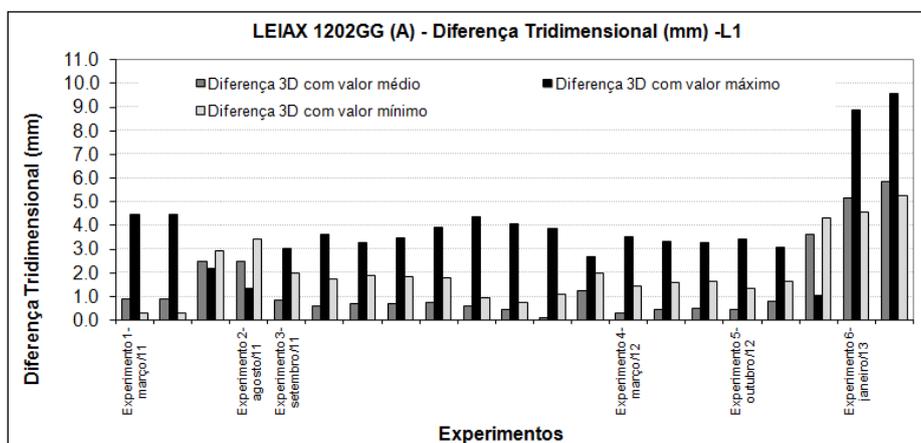


Figura 9 – Diferenças 3D (L1)

Observa-se na Figura 10 que as diferenças 3D obtidas com os valores médios são menores que 1 mm em 67% dos dias dos experimentos realizados. Quando se comparam as Figuras 9 e 10 constata-se que as maiores variações 3D são para a onda portadora L1.

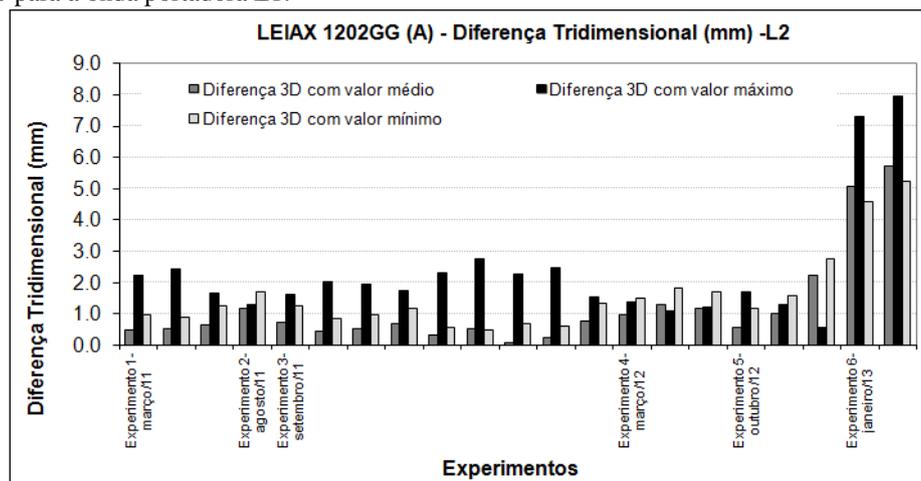


Figura 10 – Diferenças 3D (L2)

3.2.1 Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Variáveis Meteorológicas

Os valores da componente vertical do PCO para as portadoras L1 e L2 (em milímetros) e os valores máximos, mínimos e médios da temperatura para cada dia de calibração estão indicados na Figura 11. Comparando o dia GPS 007/13 que apresenta uma variação maior para ambas as componentes verticais (L1 e L2) versus os experimentos

realizados no Dia GPS 132/11 e Dia GPS 273/11 observa-se uma diferença de aproximadamente 5 mm para essas componentes (PCO vertical) e uma diferença entre as temperaturas mínimas de cerca de 4° C.

Na Figura 12 têm-se os valores da componente vertical do PCO para as portadoras L1 e L2 (em milímetros), e os valores máximos, mínimos e médios da umidade relativa do ar para cada experimento realizado. Visualiza-se que há uma variação maior para os valores médios da umidade relativa do ar. Comparando os valores do PCO vertical percebe-se que as menores variações ocorrem para os experimentos realizados do Dia GPS 270/11 ao Dia GPS 273/11.

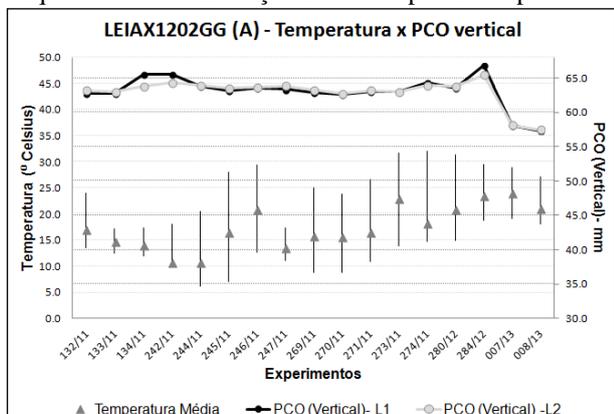


Figura 11 – PCO (Vertical) versus Temperatura

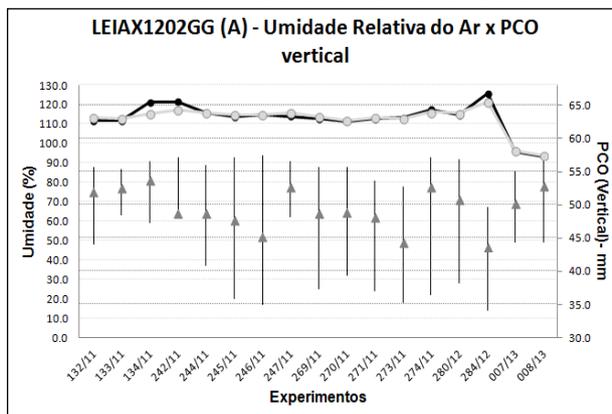


Figura 12 – PCO (Vertical) versus Umidade Relativa do Ar

Os valores máximos de precipitação e porcentagem de chuva durante os períodos de calibração, bem como, com os valores da componente vertical do PCO (L1 e L2) podem ser observados na Figura 13. Percebe-se que durante os 17 dias de experimentos houve 8 dias com períodos de precipitação, sendo que a maior porcentagem de chuva ocorreu no Dia GPS 134/11. Visualiza-se que há variações do PCO vertical entre os experimentos em que há chuva e aqueles em que não ocorrem chuvas. Por exemplo, comparou-se o Dia GPS 134/11 com o Dia GPS 270/11 e se verificou uma variação de 2,9 mm e 1,1 mm para a componente vertical L1 e L2, respectivamente. Outra análise foi realizada entre o Dia GPS 134/11 e o Dia GPS 280/12 e obtiveram-se valores do PCO vertical iguais a 1,3 e 1,7 mm para L1 e L2, respectivamente. Analisando dois experimentos (Dia GPS 280/12 e Dia GPS 008/13) realizados em períodos sem chuva e com a precipitação inferior a 1 mm têm-se 5 mm de diferenças para o PCO vertical, para ambas as portadoras.

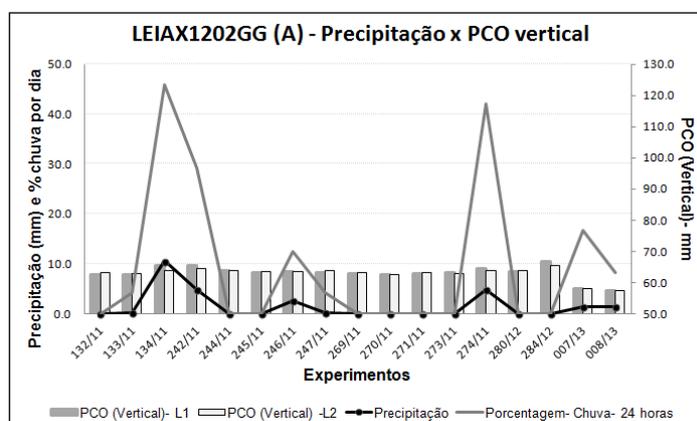


Figura 13 – PCO (Vertical) versus Precipitação e % de chuva por dia de experimento

Observam-se na Tabela 3 os coeficientes de correlação (r) calculados para o PCO vertical para as portadoras L1 e L2 da antena LEIAX1202GG (A) versus as variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação). Percebe-se que há uma fraca correlação entre PCO vertical (L1 e L2) e a temperatura (máxima, mínima e média), umidade (máxima e mínima) e a precipitação (mínima), coeficiente de correlação variou de -0,1 a -0,4. O coeficiente de correlação entre PCO Vertical (L1 e L2) versus precipitação máxima é positivo, porém fraco (r=0,1 a 0,3).

Tabela 3: Coeficiente de correlação - PCO vertical versus variáveis meteorológicas

PCO Vertical (mm)	Temperatura (°)			Umidade Relativa do Ar (%)		Precipitação (mm)	
	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Máxima	% de Chuva
L1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,3	0,3
L2	-0,2	-0,4	-0,4	-0,2	-0,2	-0,3	0,1

Fonte: Huinca (2014).

3.3 Comparação dos Valores PCO (Vertical) versus Efeito do Multicaminho

Os valores do multicaminho (MP1 e MP2) foram realizados em sete experimentos, os quais apresentaram valores de PCO (vertical) mais discrepantes do conjunto de calibrações efetuadas. Optou-se por analisar os valores médio, máximo e mínimo do conjunto do PCO analisados. O Dia GPS 133/11 e Dia GPS 270/11 foram escolhidos por apresentarem valores mais parecidos com os valores médios, o Dia GPS 284/12 por ser o maior valor e o Dia GPS 008/13 por apresentar o menor valor.

Para verificar a magnitude da variação do MP1 para identificar a contribuição do efeito do multicaminho na determinação dos parâmetros de calibração realizaram-se algumas análises comparando as diferenças entre os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão entre os experimentos Dia GPS 008/13 e Dia GPS 133/11. Essas análises podem ser visualizadas na Figura 14. As maiores diferenças máximas e mínimas calculadas a partir da subtração entre os dias GPS 008/13 e 133/11 são observadas para os experimentos realizados para o Dia GPS 008/13. Para o satélite 14 a diferença máxima obtida do MP1 foi de 20 m. As diferenças entre os valores médios e desvio padrão são inferiores a 1 m.

As diferenças dos valores do MP2 entre os valores máximos, mínimos, médios e de desvio padrão entre os experimentos realizados no Dia GPS 008/13 e Dia GPS 274/11 podem ser visualizadas na Figura 15. As maiores diferenças máximas e mínimas são observadas para os experimentos realizados no Dia GPS 008/13, valores esses retirados a partir da subtração entre os valores do Dia GPS 008/13 e Dia GPS 274/11. Os satélites 6 e 32 apresentam os maiores valores máximos, cerca de 45 m e as diferenças entre os valores de desvio padrão são superiores a 1 m, para esses satélites.

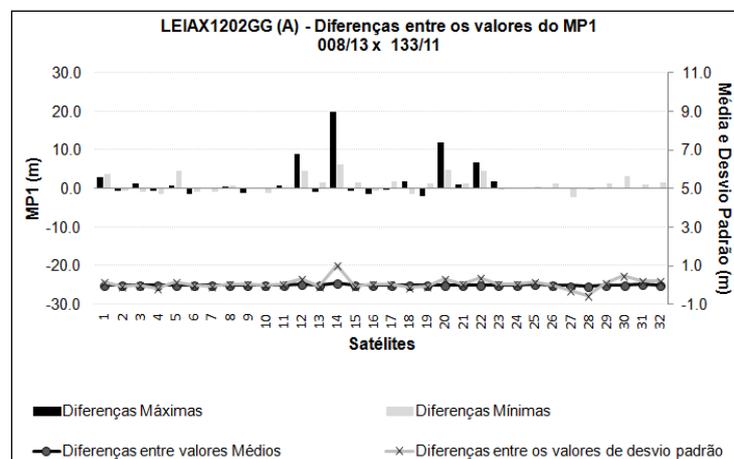


Figura 14 – MP1 comparação para dias GPS 008/13 e 133/11

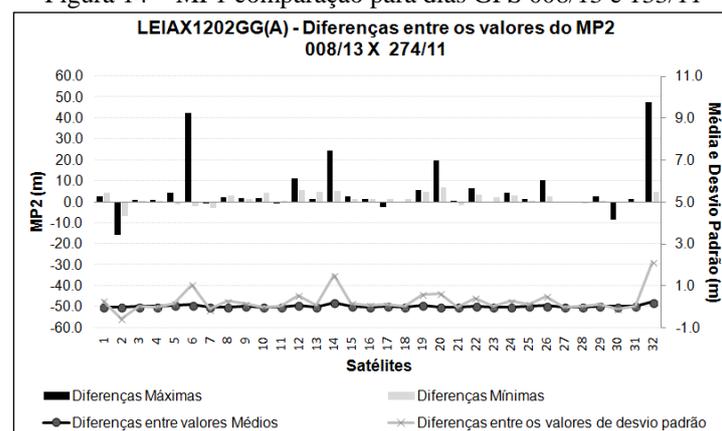


Figura 15 – MP2 comparação para dias GPS 008/13 e 274/11

4 CONCLUSÕES

Após as análises realizadas constatou-se que a antena TRM22020.00+GP apresenta variações entre os valores do PCO calculados ao longo de cinco anos. A componente vertical foi a que apresentou as maiores variações. Para o conjunto de calibrações realizadas obteve-se uma diferença tridimensional máxima para a onda portadora L1 e L2 de cerca de 9 mm. Quando se avaliou as diferenças tridimensionais com os valores médios obteve-se para a onda portadora

L1 e L2 uma diferença máxima de 7 mm. Ressalta-se que essa antena tem cerca de dezoito anos, o que pode contribuir com variações mais significativas dos parâmetros de calibração.

Comparando os valores de PCO vertical com as temperaturas externas (máximas, médias e mínimas) verificou-se que nos dias de calibração que apresentaram uma amplitude maior entre os valores máximos e mínimos dessa variável os valores do PCO vertical em L1 foram os que apresentaram maiores variações. Também foi verificado que em períodos com maior valor de precipitação, bem como, maior porcentagem de chuva os valores do PCO vertical em L1 apresentaram maiores variações.

Os coeficientes de correlação (r) para o PCO vertical (L1 e L2) versus as variáveis meteorológicas foram avaliados. Concluiu-se que há forte correlação entre o PCO vertical (L1) e a temperatura máxima ($r=0,9$) e uma fraca correlação entre o PCO vertical (L1) e a precipitação ($r=0,2$). Para o componente vertical (L2) observa-se uma forte correlação com a umidade máxima relativa do ar ($r=0,9$) e nenhuma correlação com a umidade mínima relativa do ar. Com a análise do efeito médio do multicaminho para essa antena foi possível detectar que o MP2 apresenta valores métricos.

Para a antena LEIAX1202 GG têm-se valores de desvio padrão de 2,1 mm e 1,9 mm para a componente vertical do PCO (L1 e L2), respectivamente. Mediante a análise conjunta desta componente com a variação da umidade e da temperatura média, variáveis meteorológicas observadas durante as calibrações concluiu-se que a diminuição da umidade associada a uma elevação da umidade média proporcionou um aumento da componente vertical do PCO.

O desvio padrão do efeito médio do multicaminho para as ondas portadoras L1 e L2 foram iguais a 0,06 m e 0,11 m, respectivamente.

Com o cálculo do coeficiente de correlação percebeu-se que há uma fraca correlação entre PCO vertical (L1 e L2) e a temperatura (máxima, mínima e média), umidade (máxima e mínima) e a precipitação (mínima), pois o coeficiente de correlação variou de -0,1 a -0,4. Correlacionando a precipitação máxima versus PCO Vertical (L1 e L2) percebeu-se que ele é fraco ($r=0,1$ a $0,3$).

Com esse trabalho pode-se observar que os valores do PCO continuam variando em função do tempo, também se verificou que a porcentagem de chuva para o dia do experimento influencia na determinação dos parâmetros da antena da Trimble e que a umidade influencia na determinação dos parâmetros de calibração da antena da Leica.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo fomento e concessão de recursos dentro do projeto de pesquisa "Posicionamentos GPS de Alta Precisão: Investigações de Fontes de Erros e suas Modelagens" que possibilitou principalmente a aquisição do equipamento DRB e do programa de processamento de dados". Assim como ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, do Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná por disponibilizar todos os recursos necessários ao desenvolvimento desta pesquisa..

REFERÊNCIAS

BALANIS C. A. **Antenna Theory: analysis and design**. 2nd edition. New York: Wiley, 1998.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GPS: theory and practice**. 3.ed. Springer, 2001

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, C. P., MAYER, M., KNOPFLER, A. **First Results of Relative Field Calibration of a GPS Antenna at BCAL/UFPR**. Springer in the Proceedings of IAG 2009 Scientific Assembly "Geodesy for Planet Earth".

HUINCA, S.C.M; KRUEGER, C.P. **Determinação De Parâmetros De Calibração De Antenas GNSS na BCAL/UFPR**. Anais do III Simpósio Brasileiro De Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010.

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.