

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE MEDIDORES ELETRÔNICOS DE DISTÂNCIA (MEDS) A PARTIR DA MEDIÇÃO DE UMA POLIGONAL UTILIZANDO PROCESSOS DE MEDIÇÃO E REFLETORES DISTINTOS

VANESSA RODRIGUES¹
CARLA BARBOSA²
WELISSON DOS SANTOS³
ANDRÉA DE SEIXAS⁴

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
^{1, 2, 3} Curso de Engenharia Cartográfica

⁴ Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
vanessa.kcr@hotmail.com, carlabarbosa27@hotmail.com, welissonsantos93@gmail.com, aseixas@ufpe.br

RESUMO – Tomando como espaço de referência os vértices da Base Multipilar localizada na UFPE e utilizada para a calibração de Medidores Eletrônicos de Distância (MED), deseja-se analisar o desempenho de MEDs, a partir da medição de uma poligonal, utilizando processos de medição e refletores distintos. Neste trabalho são empregados os métodos da poligonização e o nivelamento trigonométrico para determinar através da análise de trabalhos anteriores, qual o tipo de acessório refletor (prisma circular, folha reflexiva e face contrária do prisma circular refletor) demonstra uma melhor qualidade posicional. Além disso, também é objetivo deste trabalho analisar as reais constantes aditivas do instrumento utilizado (Estação Total) no momento em que os diferentes refletores são utilizados.

ABSTRACT – Taking as reference space the vertices of Multi-pillar Base located on UFPE used for Calibration of Electronic Distance Measurement (EDM), the intention is analyze the performance of EDMs from the measurement of a polygonal, employing different measurement procedures and different reflectors. In this work are employed the methods of “traverse” and trigonometric leveling to determine through analysis of previous works, what type reflector accessory (circular prism, reflective foil and contrary face of circular prism reflector) demonstrates a better positional quality. Moreover, another objective of this work is analyze the real additive constant of the instrument used (Total Station) when different reflectors are used.

1 INTRODUÇÃO

Em uma época onde a preocupação com a qualidade dos dados obtidos é cada vez maior, diferentes acessórios refletores são empregados em processos que envolvem os Métodos Terrestres de Medição abordados na Topografia e na Geodésia. Encontrar o acessório que apresente a melhor precisão posicional pode ser de fundamental importância na atribuição dos parâmetros de qualidade, que serão concedidos aos dados levantados nas operações de campo, neste trabalho utilizando-se o método da poligonização.

Os estudos desenvolvidos por (GARNÉS et al., 2014) mostraram as coordenadas planimétricas atuais em SIRGAS2000 dos pilares. Estes estão vinculados ao Sistema Topocêntrico Local implantado na UFPE e descrito em (MENDONÇA et al., 2010). Essas coordenadas planimétricas serão utilizadas como referência e controle neste trabalho.

O presente trabalho pretende, desta maneira, demonstrar através da análise dos dados coletados, as discrepâncias planimétricas decorrentes da utilização do método da poligonização, envolvendo diferentes acessórios refletores. Neste trabalho foram utilizados três acessórios refletores diferentes: prisma óptico circular, folha reflexiva e a medição sem o uso do prisma. Ressalta-se que as medições onde o prisma não foi utilizado consistiram em realizar as leituras através da estação total na face contrária do prisma óptico circular utilizado nas operações de campo.

As coordenadas altimétricas obtidas foram calculadas através do método do nivelamento trigonométrico e neste caso foi utilizado um prisma circular instalado sobre uma Referência de Nível conhecida.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar o desempenho de MEDs (Medidores Eletrônicos de Distância), a partir da medição de uma poligonal definida sobre a base multipilar, utilizando processos de medição e refletores distintos.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 Delimitação da área

A base multipilar de calibração utilizada nas operações de campo pertence à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) / Laboratório de Metrologia e Posicionamento Espacial (LAMEP) e conta desde 2007 com oito pilares, sendo os pilares de 01 a 07 localizados no canteiro entre a fachada do Centro de Tecnologia e Geociências e o estacionamento de funcionários do prédio, enquanto o oitavo pilar se encontra as margens do canal do Riacho Cavouco, (GARNÉS et al., 2014).

As Figuras 01 e 02 mostram uma visualização em vista aérea (Figura 01) e em perspectiva (Figura 02) da área onde as operações de campo ocorreram neste trabalho.

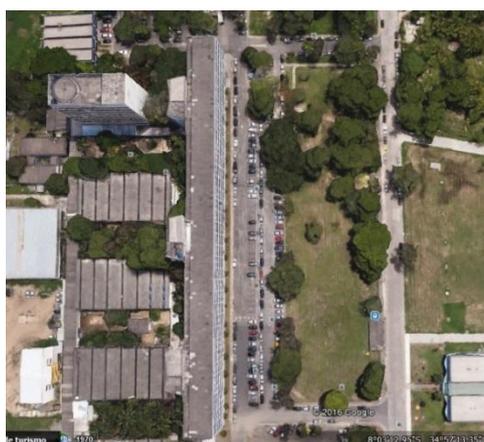


Figura 01 – Vista aérea do CTG.
Fonte: Google Earth (2016).



Figura 02 – Vista Aproximada do local onde as operações de campo ocorreram

2.2 Materiais

- 01 Estação total Topcon GPT-3200: precisão angular de 5" e precisão linear de 5mm+5ppm*D com número de patrimônio 120/2012;
- 01 Prisma óptico refletor circular com número de patrimônio 7417/2013;
- 01 Folha reflexiva;
- 01 Base nivelante extra com adaptador base - prisma e horizontalização a partir da bolha esférica;
- Acessórios para o levantamento de campo, tais como: bastão, tripé, suporte bastão – tripé, trena e apoio logístico;
- *Softwares*: AstGeoTop 2016 (GARNÉS, 2016), Microsoft Excel 2013, Matlab 8.1.

2.3 Métodos

2.3.1 Medição direta e indireta de distância

Entende-se como medição direta de distância aquela onde não é necessária à manipulação de equações matemáticas para se chegar a um resultado definitivo, bons exemplos de tal método, que são utilizados com frequência em operações topográficas, onde se desejam obter distâncias são o passo médio e a trena métrica. Por outro lado, o avanço da tecnologia possibilitou a obtenção de distâncias de formas cada vez mais precisas surgindo à medição indireta de distância, que consiste em obtê-la com base em equações matemáticas. Sendo comum a utilização de Medidores de Distância para a obtenção de distâncias segundo tal princípio, que pode ser dividido em taqueométrico óptico ou eletrônico (COUTINHO NETO, 1981).

Segundo (ESPARTEL, 1987) a medida das distâncias, devidamente aferida em terreno plano, é um meio excelente e prático de medir com rapidez e relativa segurança o comprimento de um alinhamento; serve, também, como verificação aproximada das medidas com diastímetros (trenas, dentre outros) ou indiretas com taqueômetros, evitando os erros grosseiros ou faltas.

Neste trabalho abordar-se-á a medição eletrônica de distância (D), que segundo Martini (2005) consiste em determinar, a partir de um intervalo de tempo (ΔT) que uma onda eletromagnética leva para percorrer o caminho de ida e volta, entre uma fonte de emissão e um refletor. Este processo torna possível a obtenção da distância entre os pontos A e B na Figura 03, este método que se baseia no tempo é conhecido como pulso. Segundo (GARNÉS et al., 2014) também é possível obter distâncias eletronicamente, utilizando o princípio conhecido como diferença de fase, visto na Figura 04, sendo um outro princípio utilizado na medição eletrônica de distância.

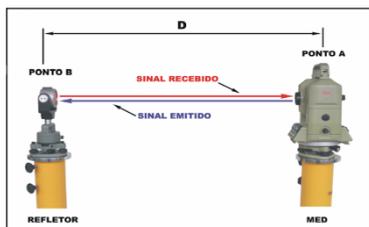


Figura 03 - Medição eletrônica de distância, pelo princípio do pulso. Fonte: Martini (2005).



Figura 04 - Medição eletrônica de distância, pelo princípio da diferença de fase. Fonte: Apud (GARNÉS et al., 2014).

A medição de distância seguindo o princípio do pulso, assim como a comparação de fases se baseia nas equações vistas em (GARNÉS et al., 2014) e apresentadas a seguir, sendo respectivamente Equações (01) e (02):

$$D = K_0 + c \frac{\Delta T}{2} \tag{01}$$

Onde K_0 é a constante aditiva, c é a velocidade da luz ao longo do percurso e ΔT é o intervalo de tempo decorrido entre a ida e a volta do pulso. Por outro lado, o princípio de comparação de fase é dado por:

$$D = n \frac{\lambda}{2} + \frac{\phi}{2\pi} \frac{\lambda}{2} \tag{02}$$

Onde n é a ambiguidade de fase, λ é o comprimento de onda de frequência e ϕ é a fase medida no comparador de fase do MED. Durante a obtenção na tomada dessas distâncias feitas a partir da combinação de MED/refletor, podem-se ocasionar erros instrumentais, como por exemplo, o erro de zero ou constante aditiva (GARNÉS et al., 2014).

2.3.2 Acessórios Refletores utilizados em métodos de medição terrestres

Durante a realização dos levantamentos de campo optou-se, neste trabalho, pela utilização de três acessórios refletores distintos, sendo estes o prisma refletor, a folha reflexiva e o modo de medição de distância sem prisma.

Segundo Martini (2005), o prisma refletor circular de vidro fornece os melhores resultados na medição eletrônica de distância, tal tipo de refletor é concebido de forma que qualquer feixe de luz incidente sobre as superfícies retorne na mesma direção. Através da disposição das suas superfícies refletoras, o sinal reflete em cada superfície retornando paralelo ao sinal emitido pelo equipamento, pela face oposta daquela em que o raio atingiu o prisma passando pelo seu centro. Por outro lado, o mesmo autor, afirma que a folha reflexiva é uma alternativa econômica em relação a outros tipos de refletores, este acessório é formado por milhares de lentes micro esféricas, agregadas a uma resina sintética e recobertas por um plástico transparente e flexível, que lhe confere uma superfície lisa e plana.

Alguns equipamentos possibilitam o uso da medição sem prisma e segundo Ghilani & Wolf (2013) utilizam sinais a laser infravermelho com pulso de tempo, e em seu modo de operação sem prisma refletor, podem dessa forma, observar distâncias de até 100m de comprimento.



Figura 05 a e b – Prisma circular óptico utilizado nas medições com e sem refletor; c e d– Folha reflexiva utilizada nas operações de campo e a base multipilar da UFPE

2.3.3 Determinação da constante aditiva utilizando bases multipilares de calibração

Segundo Barbosa (2009), a constante aditiva consiste em uma não coincidência do centro eletrônico do MED com o centro mecânico do goniômetro o que gera um pequeno comprimento entre os centros, a constante aditiva é determinada pelo fabricante e incorporada ao instrumento. Analogamente a isto Cruz (2010), afirma que o valor da constante aditiva deve ser obtido constantemente, pois sofre variações devido aos desgastes do equipamento, e que as

devidas correções devem ser aplicadas a cada observação.

A NBR 13133 (1994) define que MEDS devem ser calibrados em um intervalo de no máximo dois anos em bases multipilares de calibração, tais bases consistem em um alinhamento de pilares devidamente espaçados. O equipamento ocupará vértices deste alinhamento devendo gerar um número superabundante de observações, que segundo Cintra (1997), podem ser ajustadas pelo Método dos Mínimos Quadrados, gerando como resultados a constante aditiva e as distâncias observadas ajustadas. Abaixo, pode-se visualizar uma ilustração do processo que foi seguido neste trabalho, assim como as Equações 03 a 07 utilizadas no ajustamento e descritas em (CINTRA, 1997).



Figura 06 - Ilustração base multipilar de calibração UFPE.

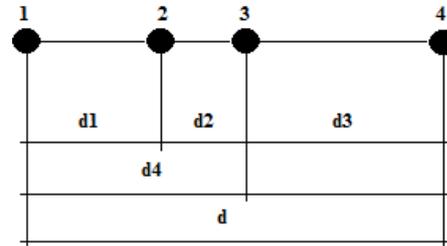


Figura 07 – Esquema adotado na determinação da constante aditiva.

$$-D_{ij} + X_{ij} + d_{ij} = V_{ij} \tag{03}$$

O resíduo pode ser escrito como:

$$V_{ij} = Z + W_{ij} \tag{04}$$

A Equação 02 agora é dada pela Equação 04, os respectivos ajustamentos podem ser realizados através da Equação 05:

$$d_{ij} + X_{ij} - D_{ij} + Z = W_{ij} \tag{05}$$

$$X = (A^T A)^{-1} * (A^T L) \tag{06}$$

$$L = d_{ij} - D_{ij} \tag{07}$$

- D_{ij} – distância observada;
- d_{ij} – distância aproximada;
- X_{ij} – correção a ser determinada;
- V_{ij} – resíduo;
- Z – Constante aditiva;
- W_{ij} – resíduo aleatório.

Os resultados obtidos também foram processados através do módulo metrologia: calibração de medidores eletrônicos de distância, disponível no *software* AstGeoTop 2016, onde foram colocados como dados de entrada as distâncias horizontais obtidas em campo. Este módulo do software retorna como resultados as distâncias horizontais corrigidas e o valor calibrado da constante aditiva do equipamento.

2.3.4 Método da Poligonação

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1999), poligonação é um encadeamento de distâncias e ângulos medidos entre pontos adjacentes formando linhas poligonais ou polígonos. Partindo de uma linha formada por dois pontos conhecidos, determinam-se novos pontos, até chegar a uma linha de pontos conhecidos (Figura 08). Ainda neste raciocínio a NBR 13133 (1994) considera três tipos de poligonais sendo elas: poligonais apoiadas e fechadas numa só direção e num só ponto (tipo 01); poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento curvo (tipo 02); e poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento retilíneo (tipo 03).



Figura 08 - Modelo de poligonação. Fonte: IBGE (1999).

2.3.5 Nivelamento Trigonométrico

Segundo Erba et al. (2005), o nivelamento trigonométrico é um procedimento que consiste em realizar a medida da diferença de nível entre pontos topográficos por intermédio de leituras correspondentes a visadas inclinadas, realizadas com teodolito ou estação total, por meio de medidas de distâncias e ângulos verticais. Na etapa do nivelamento trigonométrico, optou-se por utilizar apenas o prisma óptico circular, que foi posicionado sobre um pino metálico de superfície semiesférica localizado na base do pilar do marco geodésico EPS07.



Figura 09 – Marco Geodésico EPS07 e chapa de referência altimétrica CHEPS07 utilizada neste trabalho

A altitude desta RN denominada de CHEPS07 utilizada neste trabalho foi determinada a partir da RN 3641 A do IBGE utilizando o método do nivelamento geométrico de alta precisão. O marco geodésico EPS07 pertence à Rede de Referência Cadastral da UFPE determinado em (VILA FLOR, 2010) e (MENDONÇA et al., 2010).

O procedimento para a determinação da altitude dos vértices da base multipilar pelo método de poligonização 3D, utilizando o método do nivelamento trigonométrico para o transporte de altura, está ilustrado na Figura 10.

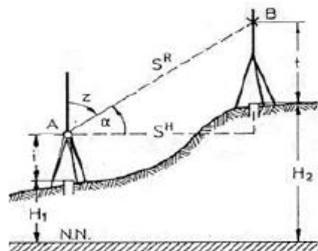


Figura 08 – Nivelamento trigonométrico. Fonte: KAHMEN e FAIG (1988).

Para distâncias curtas o desnível entre os pontos A e B pode ser calculado através da Equação 08:

$$\Delta H_{AB} = S^R * \cos Z + (i - t) \quad (08)$$

Onde:

- S^R = Distância inclinada;
- i = Altura do equipamento;
- t = Altura do prisma refletor;
- Z = Ângulo zenital;
- S^H = Distância horizontal.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Poligonal realizada na base de calibração mutipilar LAMEP/UFPE

Utilizando os dados da Tabela 01 extraída de (GARNÉS et al., 2014) foi possível verificar os dados da poligonal realizada na base de calibração multipilar do LAMEP/UFPE em 2014.

Tabela 01 – Planilha topográfica do levantamento realizado em 2014, coordenadas no SGL do *campus* da UFPE

Estação	Vante	Ângulo	Azimute	Rumo	Distância (m)	X (m)	Y (m)
P1	P2	359°59'53,7"	5°59'31,5"	5°59'32" NE	8,300	149692,8901	249611,4971
P2	P3	179°59'48,2"	5°59'19,7"	5°59'20" NE	4,439	149693,7565	249619,7513
P3	P4	179°59'16,0"	5°58'35,7"	5°58'36" NE	33,127	149694,2196	249624,1657
P4	P5	180°03'23,3"	6°01'59,0"	6°01'59" NE	49,890	149697,6688	249657,1122
P5	P6	179°56'28,3"	5°58'27,3"	5°58'27" NE	39,481	149702,9123	249706,7255
P6	P7	180°00'06,4"	5°58'33,7"	5°58'34" NE	32,258	149707,0215	249745,9916
P7	P1	0°01'04,1"	185°59'37,8"	5°59'38" SW	167,493	149710,3800	249778,0747

Fonte: Garnés et al. (2014).

Esses dados foram introduzidos no *software* AstGeoTop (2016) para poder se extrair a configuração da poligonal levantada em 2014. Esta será utilizada como referência neste trabalho e está apresentada na Tabela 02.

Tabela 02 – Planilha topográfica do levantamento atual, coordenadas no SGL do *campus* da UFPE

Estação	Vante	Ângulo	Azimute	Distância (m)	X (m)	Y (m)
P1	P2	359°59'3,06"	5°59'31,54"	8,300	149692,8901	249611,4971
P2	P3	179°59'48,1"	5°59'19,69"	4,439	149693,7565	249619,7513
P3	P4	179°59'16,0"	5°58'35,68"	33,127	149694,2196	249624,1657
P4	P7	180°01'20,23"	5°59'55,83"	121,628	149697,6688	249657,1122
P7	P6	359°58'38,3"	185°58'34,1"	32,258	149710,3800	249778,0747
P6	P5	179°59'52,1"	185°58'27,3"	39,480	149707,0215	249745,9916
P5	P1	180°02'1,14"	186°00'28,48"	95,754	149702,9123	249706,7255

Tabela 03 – Qualidade do levantamento obtido em 2014.

Método da poligonização utilizando como refletor o prisma circular k0=0,000m			
Erro de fechamento angular	Erro Linear	Precisão relativa	Classificação NBR 13133
-0°00'01,2"	0,0020 m	1/164401,6468	IP

Identificada à configuração da poligonal (Tabela 02), deram-se início aos experimentos propostos neste trabalho para a análise do desempenho de MEDs a partir da medição desta poligonal. Inicialmente foram escolhidos os modos de medição de distância eletrônica: medida da distância eletrônica pelo princípio da comparação da fase e medida da distância eletrônica pelo princípio do pulso. Em seguida, escolheram-se os tipos de refletores, que seriam utilizados nos experimentos: prisma circular, observações sem prisma e folha reflexiva.

Para a determinação da constante aditiva referentes aos diferentes tipos de refletores, que seriam utilizados neste experimento, foram utilizados os pilares P1, P2, P3 e P4 da base multipilar. Após a medição e determinação das respectivas constantes aditivas, foram iniciados os experimentos pelo método de poligonização, utilizando a sequência dos vértices definidos no levantamento realizado em 2014, cujos resultados foram apresentados nas Tabelas 01 e 02 anteriormente. Neste experimento foram utilizados 4 pilares da base multipilar, pois este é o número mínimo para poder se realizar um ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados.

Ressalta-se que, durante a medição da poligonal com a estação total em P1, no modo de medição sem prisma, observando o vértice P3 e com um prisma instalado no vértice EPS07, este último para obter o transporte altimétrico, foi observado durante este procedimento, que o sinal emitido e recebido pela estação total seria de outro alvo diferente do vértice P3, pois a distância obtida para este vértice foi maior que a sua medida real. Diante disso, procurou-se uma maneira de se obter a distância entre esses dois vértices P1 e P3, sendo necessário interferir por trás do pilar P3, impedindo dessa forma que o feixe do sinal fosse dispersado.

b) Determinação da constante aditiva

As medições (Hz – direção horizontal, V – ângulo vertical zenital e DI – Distância inclinada) foram realizadas na posição direta e inversa da luneta e repetidas duas vezes. A medição eletrônica de distância pelo princípio da comparação da fase utiliza como refletor um prisma, e na medição eletrônica de distância pelo princípio do pulso utiliza como refletor uma superfície de incidência para o feixe a LASER (neste caso foi utilizado o fundo do prisma circular) ou uma folha reflexiva.

O cálculo da constante aditiva do equipamento foi realizado através do módulo “metrologia” disponível no *software* AstGeoTop 2016. A constante foi também recalculada através da adequação das Equações de 03 a 07 disponíveis no item 2.3.1 a um *script* desenvolvido neste trabalho em Matlab 8.1.

A Tabela 04 apresenta os resultados alcançados para os diferentes tipos de refletores utilizados.

Tabela 04 – Determinação da constante aditiva via *softwares* AstGeoTop e Matlab.

Acessório	Software AstGeoTop	Software Matlab	Discrepâncias (m)
	Constante Aditiva (m)	Constante Aditiva (m)	
Folha refletiva	0,0264	0,018	0,008
Prisma óptico circular	-0,0320	-0,0315	0,0005
Medição sem prisma	-0,0112	-0,008	0,003

Os resultados obtidos na Tabela 03 mostraram valores muito próximos entre aqueles encontrados via *software* AstGeoTop 2016 e o Matlab 8.1.

c) Método da poligonização - Resultados obtidos utilizando diferentes refletores e desconsiderando o valor da constante aditiva

• Folha refletiva

A Tabela 05 apresenta a planilha topográfica do levantamento pelo método da poligonização, utilizando como refletor a folha reflexiva, as coordenadas no SGL do *campus* da UFPE e as discrepâncias entre as coordenadas, tendo-se como referência as coordenadas apresentadas na Tabela 01.

Tabela 05 – Planilha topográfica do levantamento realizado com folha reflexiva, coordenadas no SGL *campus* da UFPE e discrepâncias entre as coordenadas.

Estação	Vante	Ângulo	Azimute	Distância (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
P1	P2	359°59'04,2"	5°59'31,5"	8,329	149692,8901	249611,4971	0	0
P2	P3	179°59'02,8"	5°58'34,3"	4,47	149693,7596	249619,7806	0,0031	0,0293
P3	P4	180°00'17,0"	5°58'51,3"	33,156	149694,225	249624,2263	0,0054	0,0606
P4	P7	180°01'17,0"	6°00'08,3"	121,659	149697,6797	249657,2018	0,0109	0,0896
P7	P6	359°58'50,0"	185°58'58,3"	32,289	149710,4014	249778,1938	0,0214	0,1191
P6	P5	179°59'51,3"	185°58'49,6"	39,511	149707,0359	249746,0807	0,0144	0,0891

P5	P1	180°02'02,5"	186°00'52,1"	95,783	149702,9193	249706,7848	0,007	0,0593
----	----	--------------	--------------	--------	-------------	-------------	-------	--------

Os resultados apresentados na Tabela 05 mostraram valores discrepantes com aqueles parâmetros de controle visualizados na Tabela 02, principalmente nos vértices P7 e P6, a discrepância máxima em X ficou na ordem de 2cm, enquanto a discrepância em Y ficou em torno de 11 cm. A Tabela 06 apresenta o erro de fechamento angular, o erro de linear, a precisão relativa, a classificação da poligonal de acordo com a NBR 13133 (1994) e o erro altimétrico da poligonal levantada quando a folha reflexiva foi utilizada como alvo.

Tabela 06 – Análise da qualidade da poligonal implantada utilizando como refletor a folha refletiva, dados obtidos via software AstGeoTop 2016.

Método da poligonização utilizando como refletor a folha refletiva k0=0,000m				
Erro de fechamento angular	Erro Linear (m)	Precisão relativa	Classificação NBR 13133	Erro altimétrico (m)
0°00'24,8"	0,0326	1/10269,27	IIP	0,0055

- **Prisma Circular**

A Tabela 07 apresenta a planilha topográfica do levantamento pelo método da poligonização, utilizando como refletor o prisma circular, as coordenadas no SGL do *campus* da UFPE e as discrepâncias entre as coordenadas, tendo-se como referência as coordenadas apresentadas na Tabela 01.

Tabela 07 – Planilha topográfica do levantamento realizado com prisma circular, coordenadas no SGL *campus* da UFPE e discrepâncias entre as coordenadas.

Estação	Vante	Ângulo	Azimute	Distância (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
P1	P2	359°59'01,5"	5°59'31,5"	8,2547	149692,8901	249611,4971	0,0000	0,0000
P2	P3	179°58'58,5"	5°58'30,0"	4,4159	149693,7565	249619,7518	0,0000	0,0005
P3	P4	179°59'12,8"	5°57'42,8"	32,9488	149694,2187	249624,1676	0,0009	0,0019
P4	P7	180°01'14,5"	5°58'57,3"	120,9686	149697,6596	249657,1164	0,0092	0,0042
P7	P6	359°58'49,0"	185°57'46,3"	32,0855	149710,3368	249778,085	0,0432	0,0103
P6	P5	180°00'00,7"	185°57'47,0"	39,2684	149706,9855	249745,9995	0,0360	0,0079
P5	P1	180°02'25,3"	186°00'12,3"	95,2313	149702,8838	249706,7312	0,0285	0,0057

Os dados mostrados na Tabela 07 apresentaram uma melhora considerável quando comparados com aqueles obtidos através da folha reflexiva, no entanto a análise das discrepâncias em relação aos dados obtidos em 2014, ainda demonstrou um desvio considerável entre as coordenadas do vértice P7 obtidas em ambos os levantamentos. As maiores discrepâncias encontradas ficaram na ordem de 4,3 cm para a coordenada X, enquanto que na coordenada Y esse valor ficou em torno de 1 cm. A Tabela 08 apresenta o erro de fechamento angular, o erro de linear, a precisão relativa, a classificação da poligonal de acordo com a NBR 13133 (1994) e o erro altimétrico da poligonal levantada quando o prisma foi utilizado como alvo.

Tabela 08 – Análise da qualidade da poligonal implantada utilizando como refletor o prisma óptico circular, dados obtidos via software AstGeoTop 2016.

Método da poligonização utilizando como refletor o prisma circular k0=0,000m				
Erro de fechamento angular	Erro Linear (m)	Precisão relativa	Classificação NBR 13133	Erro altimétrico (m)
-0°00'17,7"	0,0214	1/15624,55	IIP	0,0214

- **Sem prisma**

A Tabela 09 apresenta a planilha topográfica do levantamento pelo método da poligonização utilizando como refletor um anteparo de incidência para o feixe a LASER, ou seja, modo de medição distância sem prisma, as coordenadas no SGL do *campus* da UFPE e as discrepâncias entre as coordenadas, tendo-se como referência as coordenadas apresentadas na Tabela 01.

Tabela 09 – Planilha topográfica do levantamento realizado com a face oposta ao prisma circular, coordenadas no SGL *campus* da UFPE e discrepâncias entre as coordenadas.

Estação	Vante	Ângulo	Azimute	Distância (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
P1	P2	359°59'02,3"	5°59'31,5"	8,312	149692,8901	249611,4971	0,0000	0,0000
P2	P3	179°58'55,8"	5°58'27,3"	4,45	149693,7578	249619,7637	0,0013	0,0124
P3	P4	180°00'20,7"	5°58'48,0"	33,136	149694,221	249624,1895	0,0014	0,0238
P4	P7	180°01'17,5"	6°00'05,5"	121,657	149697,6731	249657,1452	0,0043	0,0330
P7	P6	359°59'08,0"	185°59'13,5"	32,271	149710,393	249778,1354	0,0130	0,0607
P6	P5	180°00'08,3"	185°59'21,8"	39,492	149707,027	249746,0404	0,0055	0,0488
P5	P1	180°02'06,8"	186°01'28,6"	95,767	149702,9062	249706,764	0,0061	0,0385

A não utilização do prisma também mostrou que as discrepâncias planimétricas foram melhores que aquelas obtidas quando a folha reflexiva foi o alvo. No entanto, salienta-se que o erro de fechamento angular obtido nesta etapa foi o maior quando comparado com os outros dois acessórios refletores. A maior discrepância na coordenada X foi de 1,3 cm, enquanto os valores mais destoantes na coordenada Y ficaram na ordem de 6 cm. A Tabela 10 apresenta o erro de fechamento angular, o erro de linear, a precisão relativa, a classificação da poligonal de acordo com a NBR 13133 (1994) e o erro altimétrico da poligonal levantada sem a utilização do prisma como superfície refletora.

Tabela 10 – Análise da qualidade da poligonal implantada utilizando um anteparo como alvo, dados obtidos via *software AstGeoTop 2016*.

Método da poligonização utilizando como refletor um anteparo k0=0,000m				
Erro de fechamento angular	Erro Linear (m)	Precisão relativa	Classificação NBR 13133	Erro altimétrico (m)
0°00'59,4"	0,0452	1/7407,96	IVP	0,0205

As discrepâncias nas distâncias horizontais entre os dados obtidos no levantamento realizado em 2014 e os realizados com os diferentes tipos de refletores obtiveram os seguintes resultados: As maiores discrepâncias foram de 3,1 cm para a folha reflexiva; 3,2 cm para o prisma e 2,9 cm para as medições sem prisma.

A não utilização da correção da constante aditiva provoca erros sistemáticos nas observações desta forma é esperado que a utilização de seu valor ajustado venha a melhorar os padrões de qualidade das medições realizadas, tais análises serão feitas no item a seguir.

d) Método da poligonização - Resultados obtidos utilizando diferentes refletores e considerando o valor da constante aditiva

- Folha reflexiva

Na Tabela 11 podem ser visualizados os resultados planimétricos no SGL do *campus* da UFPE obtidos com a utilização da folha reflexiva, considerando a correção da constante aditiva, e as discrepâncias entre as coordenadas, tendo-se como referência as coordenadas apresentadas na Tabela 01.

Tabela 11 – Coordenadas Planimétricas obtidas através de medições utilizando a folha reflexiva como alvo e discrepâncias com os dados levantados em 2014.

Estação	Vante	Ângulo	Azimute	Distância (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
P1	P2	359°59'04,2"	5°59'31,5"	8,303	149692,8901	249611,4971	0,0000	0,0000
P2	P3	179°59'02,8"	5°58'34,3"	4,444	149693,7569	249619,7547	0,0004	0,0034
P3	P4	180°00'17,0"	5°58'51,3"	33,13	149694,2195	249624,1746	0,0001	0,0089
P4	P7	180°01'17,0"	6°00'08,3"	121,633	149697,6716	249657,1242	0,0028	0,0120
P7	P6	359°58'50,0"	185°58'58,3"	32,263	149710,3906	249778,0904	0,0106	0,0157
P6	P5	179°59'51,3"	185°58'49,6"	39,483	149707,0278	249746,0031	0,0063	0,0115
P5	P1	180°02'02,5"	186°00'52,1"	95,757	149702,9141	249706,7350	0,0018	0,0095

Conforme esperado os dados planimétricos obtidos ao aplicar a correção da constante aditiva tiveram uma significativa melhora, as discrepâncias máximas em X e em Y foram de aproximadamente 1 cm, quando comparadas com as discrepâncias obtidas no item c), considerando o mesmo refletor (folha reflexiva) pode-se constatar essa melhora. Os novos parâmetros de qualidade para a poligonal podem ser vistos na Tabela 12. A Tabela 12 apresenta o erro de fechamento angular, o erro de linear, a precisão relativa, a classificação da poligonal de acordo com a NBR 13133 (1994) e o erro altimétrico da poligonal levantada quando a folha reflexiva foi utilizada como alvo.

Tabela 12 – Análise da qualidade da poligonal implantada utilizando a folha refletiva e considerando a correção de k0, dados obtidos via *software AstGeoTop 2016*.

Método da poligonização utilizando como refletor a folha refletiva k0=0,0264 m				
Erro de fechamento angular	Erro Linear (m)	Precisão relativa	Classificação NBR 13133	Erro altimétrico (m)
0°00'24,8"	0,0124	1/27085,95	IIP	0,0055

- Prisma circular

Na Tabela 13 podem ser visualizados os resultados planimétricos no SGL do *campus* da UFPE obtidos com a utilização do prisma óptico circular, considerando a correção da constante aditiva, assim como as discrepâncias entre as coordenadas, tendo-se como referência as coordenadas apresentadas na Tabela 01.

Conforme esperado os dados planimétricos obtidos ao aplicar a correção da constante aditiva tiveram uma significativa melhora, as discrepâncias máximas em X e em Y foi de 1,6 cm, quando comparadas com as discrepâncias obtidas no item c), considerando o mesmo refletor (prisma circular) pode-se constatar essa melhora.

Após a correção da constante aditiva, verificou-se uma significativa melhora nos dados da poligonal obtida e os parâmetros de qualidade considerando tal correção e o erro altimétrico da poligonal levantada quando o prisma circular foi utilizado como alvo, de acordo com a NBR 13133 (1994), podem ser vistos na tabela 14. As maiores

discrepâncias encontradas no plano x ficaram em torno de 4 centímetros, ao passo que as discrepâncias em y apresentaram valores em torno de 4 milímetros.

Tabela 13 – Coordenadas Planimétricas obtidas através de medições utilizando o prisma óptico circular como alvo e discrepâncias com os dados levantados em 2014.

Estação	Vante	Ângulo	Azimute	Distância (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
P1	P2	359°59'01,5"	5°59'31,5"	8,297	149692,8901	249611,4971	0	0
P2	P3	179°58'58,5"	5°58'30,0"	4,437	149693,7562	249619,7488	0,0003	0,0025
P3	P4	179°59'12,8"	5°57'42,8"	33,125	149694,2181	249624,1617	0,0015	0,004
P4	P7	180°01'14,5"	5°58'57,3"	121,628	149697,6587	249657,1075	0,0101	0,0047
P7	P6	359°58'49,0"	185°57'46,3"	32,257	149710,3355	249778,0731	0,0445	0,0016
P6	P5	180°00'00,7"	185°57'47,0"	39,479	149706,9845	249745,9906	0,037	0,001
P5	P1	180°02'25,3"	186°00'12,3"	95,754	149702,8832	249706,7252	0,0291	0,0003

Tabela 14 – Análise da qualidade da poligonal implantada utilizando o prisma circular e considerando a correção de k_0 , dados obtidos via software AstGeoTop 2016.

Método da poligonização utilizando como refletor o prisma circular $k_0 = -0,0320$ m				
Erro de fechamento angular	Erro Linear (m)	Precisão relativa	Classificação NBR 13133	Erro altimétrico (m)
0°00'17,7"	0,0216	1/15523,74	IIP	0,0240

- **Sem prisma**

Na Tabela 15 podem ser visualizados os resultados planimétricos no SGL do *campus* da UFPE obtidos sem a utilização do prisma considerando a correção da constante aditiva, assim como as discrepâncias entre as coordenadas, tendo-se como referência as coordenadas apresentadas na Tabela 01.

Tabela 15 – Coordenadas planimétricas obtidas através de medições sem o prisma como alvo e discrepâncias com os dados levantados em 2014.

Estação	Vante	Ângulo	Azimute	Distância (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
P1	P2	359°59'02,3"	5°59'31,5"	8,300	149692,8901	249611,4971	0,000	0,000
P2	P3	179°58'55,8"	5°58'27,3"	4,439	149693,7565	249619,7518	0,000	0,0005
P3	P4	180°00'20,7"	5°58'48,0"	33,126	149694,2186	249624,1666	0,001	0,0009
P4	P7	180°01'17,5"	6°00'05,5"	121,646	149697,6697	249657,1124	0,0009	0,0002
P7	P6	359°59'08,0"	185°59'13,5"	32,261	149710,3884	249778,0917	0,0084	0,017
P6	P5	180°00'08,3"	185°59'21,8"	39,481	149707,0234	249746,0066	0,0019	0,015
P5	P1	180°02'06,8"	186°01'28,6"	95,757	149702,9038	249706,7411	0,0085	0,0156

A aplicação da correção da constante aditiva possibilitou uma leve melhora nos parâmetros de qualidade da poligonal levantada, realizando a comparação das Tabelas 15 e 09, pode-se ver essa melhora principalmente na precisão relativa alcançada. Com relação às discrepâncias, observou-se que seus valores máximos ficaram em torno de 8 mm na coordenada X, enquanto que na coordenada Y seus valores ficaram em torno de 1,7 cm.

Os novos parâmetros de qualidade para a poligonal podem ser vistos na Tabela 16. A Tabela 16 apresenta o erro de fechamento angular, o erro de linear, a precisão relativa, a classificação da poligonal de acordo com a NBR 13133 (1994) e o erro altimétrico da poligonal levantada, quando foi utilizado a face oposta do prisma como alvo.

Tabela 16 – Análise da qualidade da poligonal implantada utilizando um anteparo e considerando a correção de k_0 , dados obtidos via software AstGeoTop 2016.

Método da poligonização utilizando como refletor um anteparo $k_0 = -0,0120$ m				
Erro de fechamento angular	Erro Linear	Precisão relativa	Classificação NBR 13133	Erro altimétrico
0°00'59,4"	0,0400	1/8372,42	IVP	0,0205

Pode-se analisar as discrepâncias entre as distâncias horizontais obtidas na Tabela 02 e as obtidas nas Tabelas 11, 13 e 15, respectivamente. As maiores discrepâncias foram de 5,0 mm para a folha reflexiva; 3,0 mm para o prisma e de 1,8 cm para a medição sem prisma.

Conforme esperado os resultados mostrados nas tabelas do item d apresentaram uma melhora significativa, quando comparadas aquelas onde não houve a adição da correção da constante. O que mais uma vez reforça a necessidade de calcular os valores destas constantes periodicamente.

d) Nivelamento Trigonométrico

Partindo-se da RN CHEPS07 com coordenada altimétrica conhecida e visualizada na Tabela 17, chegou-se aos valores das altitudes das bases dos respectivos pilares observados e apresentados na Tabela 17.

Acrescentar na tabela 17 os valores obtidos com a introdução das constantes para o caso de medição sem prisma e medição com folha reflexiva.

Os resultados mostrados na Tabela 17 consideram a altitude H determinada com os três tipos de refletores, considerando a correção das respectivas constantes aditivas. As altitudes foram processadas através do módulo

planialtimétrico disponível no *software* AstGeoTop 2016. O princípio matemático que fundamenta a obtenção de tais resultados pode ser visto na Equação 08.

Tabela 17 – Coordenadas Altimétricas obtidas através de nivelamento trigonométrico através de medições com prisma circular, a partir de CHEPS07.

Estação	Prisma H(m)	Folha Refletiva H (m)	Sem Prisma H (m)
CHEPS07	8,82633	8,82633	8,82633
P1	10,4815	10,4815	10,4815
P2	10,5895	10,5865	10,5925
P3	10,5855	10,5755	10,5835
P4	10,5335	10,5185	10,5345
P7	10,4155	10,4025	10,4165
P6	10,3985	10,3875	10,3985
P5	10,4995	10,4875	10,4985

4 CONCLUSÕES

O emprego de diferentes refletores possibilitou uma gama de variados resultados que puderam propiciar uma discussão um pouco mais abrangente sobre a influência destes nas medições de distância realizadas. Mostrando que houve discrepâncias entre os resultados alcançados nestes experimentos e os calibrados e obtidos em (GARNÉS et al., 2014). O estudo também foi capaz de realizar uma discussão da influência da não correção da constante aditiva nas medições de distância e conseqüentemente nos métodos de determinação de coordenadas utilizados na Topografia e Geodésia. Também foi possível determinar através de um nivelamento trigonométrico as coordenadas altimétricas dos pilares, que compõem a base multipilar de calibração de MEDs da UFPE.

AGRADECIMENTOS

Ao Projeto PQ - Multiusuários Edital 2014 Propesq / UFPE.

Aos Laboratórios LAGEO e LATOP pela concessão dos equipamentos e acessórios utilizados.

REFERÊNCIAS

- ABNT: **NBR 13.133 – Normas Técnicas para a Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.
- BARBOSA, F.S; **A Escala do Basímetro Linear, Aplicação: Base Multipilar da UFPE**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. 2009.
- CINTRA, J.; **Modelos Físicos e Matemáticos para Bases de Calibração de Distanciômetros**. Revista A Mira, 1997.
- COUTINHO Neto, A.B. **Teodolito e Acessórios**. Recife: UFPE, 1983, Vol 1.
- CRUZ, W. **Impacto Causado pela Evolução dos Medidores Eletrônicos de Distância no Processo de Calibração**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.
- ERBA, D. A. et al. **Topografia para estudantes de arquitetura, engenharia e geologia**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2005.
- ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. Editora Globo, 1987.
- GARNÉS, S. J. A. **AstGeoTop. Software**. Recife-PE: Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- GARNÉS, S.J.A, SEIXAS, A, SILVA, T.F. **Análise do Alinhamento da Base de Calibração Multipilar do LAMEP/UFPE com Proposição de Modelo de Correção**. In. Anais do V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, 2014, Recife-PE.
- IBGE – **Manual Técnico em Geociências nº 8: Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro, 1999.
- KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Ed. Walter de Gruyter. Berlin, 1988.
- MARTINI, L. **Calibração de prismas de reflexão total em forma de fita adesiva, em acrílico e sua aplicação no controle de deslocamentos de estruturas**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.
- MENDONÇA, F.J.B, et al. **Análise do Ajustamento por Mínimos Quadrados de uma Trilateração Topográfica com Injunções nos Planos UTM e Topocêntrico**. In. Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, 2010, Recife-PE.
- VILA FLOR, C. D. R. **Rede geodésica cadastral do campus Recife da UFPE: Fase I – planejamento e implantação da rede principal**. Trabalho final de graduação - Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.