

---

## ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROTÓTIPO DE MATERIAL ATENUADOR DO EFEITO DE MULTICAMINHO EM POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO

DIULIANA LEANDRO  
SUELEN MOVIO HUINCA  
CLAUDIA PEREIRA KRUEGER  
RICARDO LUIS SCUICIATO

Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Setor de Ciências da Terra -  
Departamentos de Geomática, Curitiba, PR  
{diuliana, suelenhuinca, ckrueger}@ufpr.br ; ricardoscuiciato@hotmail.com

---

**RESUMO** – O posicionamento GNSS de alta precisão utilizando o método de posicionamento relativo estático possui um grande limitador de acurácia devido ao erro advindo do efeito de multicaminho. Esse efeito incide diretamente no sinal GNSS, entre seu deslocamento do satélite a antena, fazendo com que sinais que originalmente são circularmente polarizados a direita tornem-se elípticos ou tenham o sentido de polarização alterado. A consequência no posicionamento pode ser a geração de coordenadas geodésicas errônea ou até ausência da solução das ambigüidades. O efeito é dependente basicamente das variáveis físicas e ambientais no entorno da antena. O conhecimento das implicações causadas pelo efeito de multicaminho nos posicionamentos GNSS fez surgir uma linha de pesquisa dentro do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) que busca formas de minimizar esse efeito. Dentro desse contexto desenvolveu-se o primeiro protótipo de um material denominado AEM-LAGE (Atenuador do Efeito de Multicaminho), o qual visa absorver ondas atenuadas ou com polarização à esquerda. Neste artigo analisou-se a eficiência do protótipo de material atenuador do efeito de multicaminho em posicionamento relativo estático, através das diferenças entre os resíduos das duplas diferenças de fase (DDF), dos azimutes e elevações dos satélites e amplitude deste efeito no decorrer do levantamento.

**ABSTRACT** – The high-precision GNSS positioning using the method of static relative positioning has a major limitation of precision and accuracy due to the known as multipath effect. This effect have a direct impact for the GNSS signal, its displacement between the satellite antenna, causing signs that are originally circularly right polarized to become elliptical or have changed the direction of polarization. The consequence can be the position erroneous generation of geodetic coordinates or absence of the solution of the ambiguities. The effect is basically dependent on the physical and environmental variables surrounding the antenna. Knowledge of the implications caused by the effect of multipath on GNSS positioning gave rise to a line of research within the Space Geodesy and Hydrography Laboratory (LAGEH), Federal University of Paraná (UFPR) seeking ways to minimize this effect. In that context has developed the first prototype of a material called AEMLAG (Attenuator OF effects multipath), which aims to cut or absorb waves with polarization to the left. In this paper we analyzed the efficiency of the prototype material attenuation of the effect of multipath on relative static positioning, through the differences between the residues of the phase double-differences (DDF), the azimuths and elevations of the satellites and magnitude of this effect during the survey.

---

### 1 INTRODUÇÃO

O sistema GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) viabiliza o conhecimento da localização de qualquer objeto sobre a superfície terrestre através das informações de posição e tempo, uma tecnologia que pode ser considerada recente e em constante aperfeiçoamento, principalmente no que concerne a minimização dos erros que influenciam a qualidade do posicionamento. No GNSS, estes erros podem ser originados das seguintes fontes: dos satélites, da propagação do sinal, dos equipamentos e das próprias estações de base.

Dentre esses erros têm-se o efeito de multicaminho relacionado com a propagação do sinal emitido dos satélites formadores da constelação GNSS. Como o próprio nome sugere, tal fenômeno ocorre devido às interferências que podem ocorrer entre a emissão do sinal do satélite e a sua recepção pela antena do equipamento. Dependendo do ambiente entorno da antena, elementos naturais e artificiais como, por exemplo: vegetação, construções, carros e lâminas de água, fazem com que o sinal além de chegar de maneira direta até a antena, podem ser refletido de modo especular e difuso e também difratados.

Estes desvios podem fazer a onda portadora apresentar distorções em sua fase assim como sua modulação, fazendo com que o sinal que originalmente é circularmente polarizado a direita adquira polarização elíptica ou linear ou mude o sentido de polarização (LEANDRO, 2009). Um modelo matemático não é suficiente para que este efeito seja tratado, pois os fatores geométricos ao redor da antena são diversificados (MONICO, 2007). Assim, segundo o mesmo autor “em muitas situações, as observáveis fase da onda portadora e pseudodistância são degradadas em razão do multicaminho, o que afeta a qualidade do posicionamento”.

Para minimizar este erro, o Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia da UFPR vêm desenvolvendo o Atenuador do Efeito de Multicaminho (AEM-LAGE), o qual consiste em um material que tenta absorver a maior parte das ondas atenuadas. Visando quantificar a eficiência deste protótipo esta pesquisa tem o objetivo principal de investigar a performance do AEM-LAGE, quando acoplado sob as antenas receptoras dos sinais advindos dos satélites GNSS utilizando o método de posicionamento relativo estático. Mais especificamente a análise se dará sobre os valores dos resíduos da dupla diferença de fase obtidos no processamento dos dados brutos no âmbito de linhas de base curtas, juntamente com o azimute, elevação satélite e variação média do efeito na fase da onda portadora.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos realizados nessa pesquisa utilizaram como a área de estudo o Pilar 1000 da Base de Calibração de Antenas GNSS na UFPR (BCAL/UFPR) no Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, como estação base. A escolha desse pilar como estação base deu-se por ele ser um pilar de centragem forçada, faz parte da BCAL/UFPR e estudos conduzidos por Huinca (2009) o qual se comparou a variação do multicaminho nos pilares que fazem parte da BCAL/UFPR constou-se que ele é o que menos sofre pela influência desse efeito. Objetivando ainda minimizar ao máximo a influência do efeito do multicaminho advindo dos dados da estação base (Pilar 1000) posicionou uma antena do modelo “Choke Ring” para a coleta das observações. Como estação de estudo adotou-se o marco M01, que é excêntrico ao marco geodésico da Estação UFPR da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do IBGE (RBMC). O marco M01 foi escolhido por formar uma linha de base muito curta e por ser, dentre os demais, o menos afetado pelo efeito de multicaminho permitindo assim que a manipulação do efeito fosse mais efetiva. (Figura 1).

No marco M01 estacionou-se uma antena modelo LEIAX1202 e um receptor GNSS, modelo Leica 1200. A escolha se deu em face de que ele é um dos receptores mais recentes no mercado brasileiro e também por possui uma tecnologia mais avançada para a rejeição de sinais atenuados, segundo o fabricante. Realizou-se um posicionamento GNSS aplicando o método de posicionamento relativo estático por 90 minutos.



Figura 1 - PILAR1000 da base de calibração de antenas do LAGEH (BCAL/UFPR)

Os levantamentos realizaram-se em 4 etapas, cada uma com determinadas características. Em 2 etapas utilizou-se o protótipo desenvolvido no LAGEH, denominado AEM-LAGE posicionado sob as antenas para que as ondas

afetadas por multicaminho provenientes do solo, obstáculos ou de angulação muito próximo ao horizonte, sejam impedidas de passar e não atinjam a antena receptora. Esse protótipo é composto por uma espuma quadrangular medindo cerca de 50 centímetros de lado e 7 centímetros de espessura. Este é revestido por substâncias químicas específicas, e são elas que visam dar a propriedade de absorvência desejada ao material.

Na primeira etapa (Levantamento 101) foram realizados rastreios sem o AEM-LAGE (Figura 2A). Na segunda etapa (Levantamento 108) foram realizados os rastreios com a antena associada ao AEM-LAGE (Figura 3 as placas de alumínio próximas à antena receptora com o intuito de gerar propositalmente um maior efeito de multicaminho (Figura 3A). Na quarta etapa (Levantamento 115) foram realizados os rastreios com a antena associada ao AEM-LAGE e as placas de alumínio próximas à antena (Figura 3B).

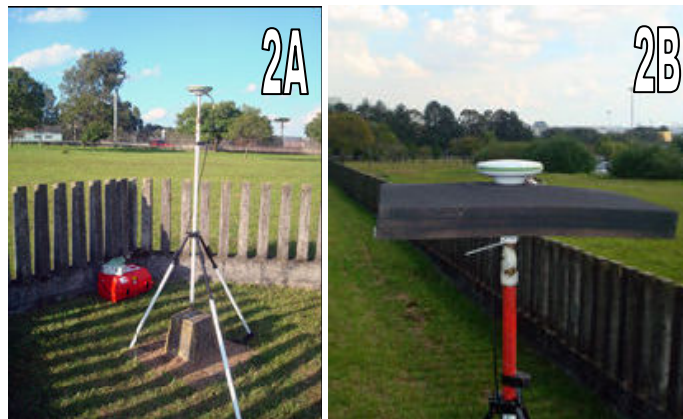


Figura 2A- Levantamento 101. Figura 2B- Levantamento 108.



Figura 3A- Levantamento 109. Figura 3B- Levantamento 115.

As quatro etapas foram executadas em um período menor que 30 dias. Buscou-se realizar cada etapa no mesmo horário, sendo descontado a cada dia, 4 minutos do horário inicial. Este cuidado permitiu que houvesse a mesma geometria da constelação de satélites GNSS disponível no horizonte no momento de cada rastreio. Utilizou-se um intervalo de gravação de 15s e a máscara de elevação dos satélites igual a  $0^\circ$ .

Após a coleta desses dados brutos, realizou-se a comparação entre essas etapas, inicialmente entre o levantamento 101 (sem o AEM-LAGE e sem as placas de alumínio) e o levantamento 109 (sem o AEM-LAGE e com as placas de alumínio no entorno da antena receptora). Este procedimento visa a percepção da variação do efeito de multicaminho com a adição das placas de alumínio. Os dados foram processados no software Leica Geo-Office e a busca por esta variação é realizada mediante uma comparação entre os resíduos das duplas diferenças de fase obtidas nos dois experimentos.

A segunda análise a ser realizada consiste no confronto entre os levantamentos 101 e 108, usando os valores dos resíduos da dupla diferença de fase nas portadoras L1 e L2 obtidos no software Leica Geo-Office. Este procedimento se baseia na variação da amplitude dos resíduos para cada satélite observado. A terceira análise é a comparação entre os levantamentos 109 e 115 realizaram-se da mesma forma que a anterior.

Posteriormente para as etapas que utilizaram no levantamento as placas de alumínio, realizou-se a análise da elevação e azimute dos satélites que apresentaram uma variação significativa da relação sinal ruído.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Comparação entre os Levantamentos 101 e 109

Realizou-se a comparação entre os resíduos das duplas diferenças de fase (DDF) obtidas para os dois levantamentos 101 e 109, esses valores podem ser observados no Quadro 1. Calculou-se a diminuição e o aumento desses resíduos para as portadoras L1 e L2 o qual se verificou que na portadora L1 o aumento é de aproximadamente 3 m e para a onda portadora L2 é de 40 m. Com estes valores evidencia-se que a adição das placas de alumínio ao redor da antena receptora influenciou diretamente em um aumento de multicaminho nos sinais recebidos e de forma significativa (LEV 109).

Satélite	Portadora L1		Portadora L2	
	Resíduo Mínimo (m)	Resíduo Máximo (m)	Resíduo Mínimo (m)	Resíduo Máximo (m)
G03	0,0096	-0,0135	-0,0074	-0,0156
G05	-0,5584	0,0171	0,0318	-0,6693
G06	1,3011	-0,1848	5,3448	0,0033
G12	0,0071	0,0092	0,0013	40,9845
G15	-2,8464	0,0065	-1,182	0,001
G16	0,0026	-0,3879	-0,0088	0,4811
G21	0,0001	-0,0031	0,0012	-0,0061
G22	0,001	0,001	0,0011	-0,0012
G25	0,0034	0,0003	-0,0022	-0,0016
G29	-0,0031	0,0007	-0,0009	0,0014
G30	-0,0017	0,001	0,0018	-0,0002
G31	0,0011	0,0010	-0,0096	0,0104
<b>Diminuição nos resíduos</b>	0,7367 m		4,6892 m	
<b>Aumento nos resíduos</b>	3,3735 m		40,2708 m	

Quadro 1 – Diferenças entre os resíduos da DDF dos levantamentos 101 e 109.

#### 3.2 Comparação entre os Levantamentos 101 e 108

No Quadro 2 apresenta-se a amplitude dos resíduos da DDF para as ondas portadoras L1 e L2. Observando a variação da amplitude dos resíduos para cada um dos satélites, é possível quantificar que na portadora L1 houve uma melhora em 7 satélites de um total de 12 observados (58,33%) e uma piora em 5 deles (41,67%), acarretando em um ganho de 16,67% na qualidade se comparado com o levantamento sem o AEM-LAGE. Analisando os dados da portadora L2, nota-se que o uso do AEM-LAGE foi mais eficaz, sendo que houve uma melhora em 8 de 12 satélites (66,67%) e uma piora em apenas 4 satélites (33,33%), possibilitando um ganho real de 33,33%.(Quadro 2).

Estilo Satélite	Portadora L1			Portadora L2		
	Amplitude dos resíduos (m)			Amplitude dos resíduos (m)		
	LEV 101	LEV 108		LEV 101	LEV 108	
G03	0,068	0,053	Melhorou	0,0567	0,104	
G05	0,064	0,063	Melhorou	0,775	0,077	Melhorou
G06	1,549	1,182	Melhorou	5,4196	3,484	Melhorou
G12	0,053	0,058		0,0617	3,185	
G15	0,038	0,045		0,0535	0,046	Melhorou
G16	1,182	0,043	Melhorou	0,5493	0,302	Melhorou
G21	0,017	0,013	Melhorou	0,0201	0,015	Melhorou
G22	0,047	0,058		0,0615	0,069	
G25	0,024	0,111		0,0274	0,025	Melhorou
G29	0,015	0,016		0,0151	0,015	Melhorou
G30	0,024	0,018	Melhorou	0,0246	0,023	Melhorou
G31	0,07	0,065	Melhorou	0,0649	0,075	

Quadro 2 – Variações das amplitudes dos resíduos da DDF dos levantamentos 101 e 108.

Observando a variação da amplitude dos resíduos nas ondas portadoras L1 e L2 cada um dos satélites, é possível quantificar que na portadora L1 houve uma melhora em 8 satélites de um total de 12 observados (66,67%) e uma piora em 4 deles (33,33%). Na Figura 4, houve uma diminuição da amplitude dos resíduos da dupla diferença de fase, com isso fica claro que o uso do AEM-LAGE surtiu efeitos positivos na diminuição do efeito do multicaminho.

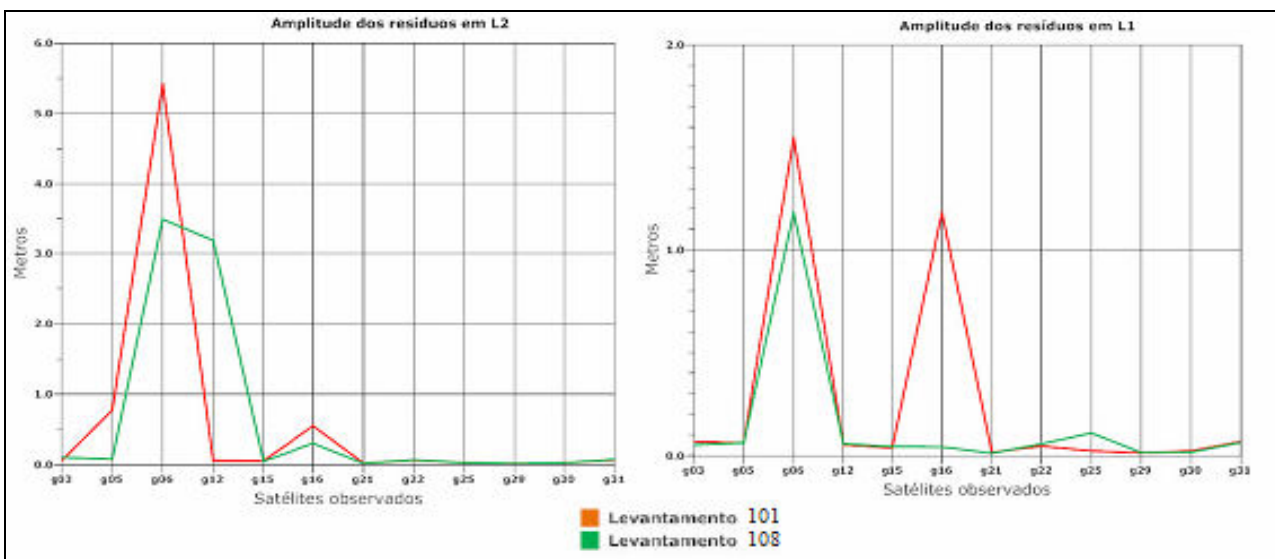


Figura 4 - Variações das amplitudes dos resíduos da DDF dos levantamentos 101 e 108.

### 3.3 Comparação entre os Levantamentos 109 e 115

Nos levantamentos 109 e 115 houve a adição de placas de alumínio ao redor da antena com o intuito de intensificar o efeito do multicaminho, fato que ficou comprovando pelos resultados apresentados na seqüência. A análise foi realizada através da variação das amplitudes dos resíduos da dupla diferença de fase nas portadoras L1 e L2(Quadro 3).

Satélite	Portadora L1			Portadora L2		
	Amplitude dos resíduos (m)			Amplitude dos resíduos (m)		
	LEV 109	LEV 115		LEV 109	LEV 115	
G03	0,0449	1,382		0,0485	2,740	
G05	0,6395	0,053	Melhorou	0,0739	0,069	Melhorou
G06	0,0631	0,068		0,0781	1,515	
G12	0,0551	0,070		41,0449	1,512	Melhorou
G15	2,8909	0,049	Melhorou	1,2365	0,05	Melhorou
G16	0,7915	0,058	Melhorou	1,0392	0,063	Melhorou
G21	0,0138	0,011	Melhorou	0,0128	0,014	
G22	0,0470	0,040	Melhorou	0,0592	0,061	
G25	0,0209	0,030		0,028	0,024	Melhorou
G26	0,0898	0,097		0,5671	0,084	Melhorou
G29	0,0188	0,014	Melhorou	0,0174	0,014	Melhorou
G30	0,0267	0,019	Melhorou	0,0226	0,021	Melhorou

Quadro 3 – Variações das amplitudes dos resíduos da DDF dos levantamentos 109 e 115.

A amplitude na portadora L1 apresentou uma redução em 8 dos 13 satélites observados, resultando em uma melhora de (61,54%) e um aumento em 5 deles (38,46%), assim, houve um resultado favorável de 23,08% em relação ao levantamento sem o AEM-LAGE associado à antena receptora. Na portadora L2 o ganho real foi superior comparado com a onda portadora L1, atingindo o valor de 38,46% pois a amplitude dos resíduos diminuiu em 9 dos 13 satélites observados (69,23%) e aumentou em apenas 4 (30,77%). Tais valores estão visíveis na Figura 5.

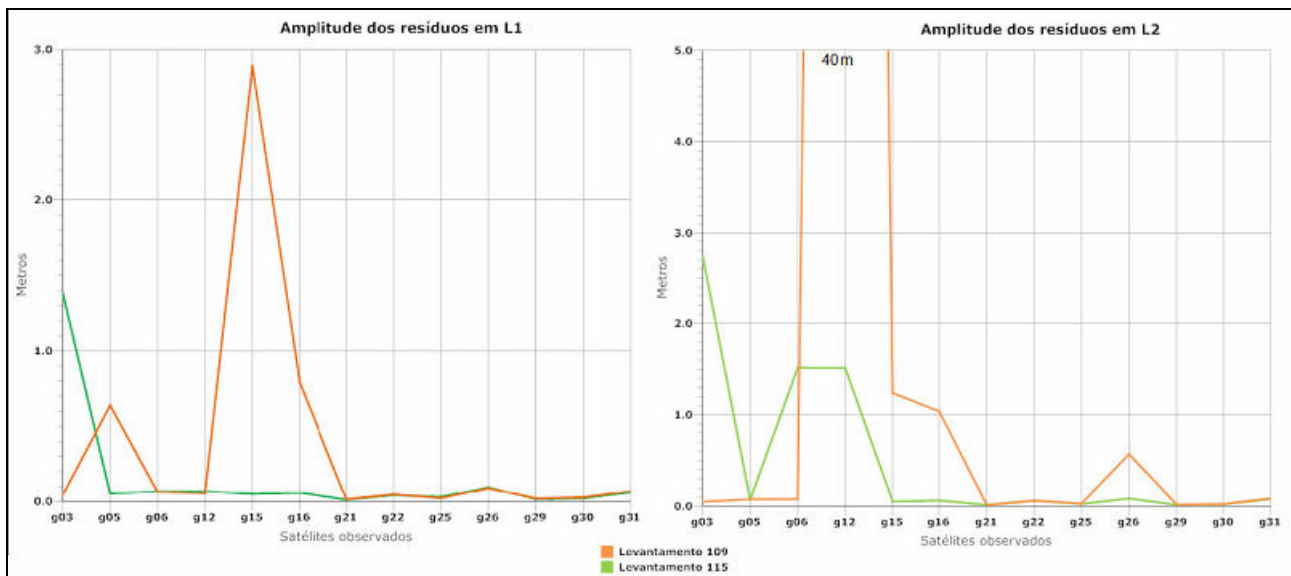


Figura 5 - Variações das amplitudes dos resíduos da DDF dos levantamentos 109 e 115

É importante destacar que os valores obtidos na onda portadora L2 para o satélite G12, que apresenta uma amplitude dos resíduos de 41,045 m no levantamento sem o AEM-LAGE e quando o AEM-LAGE foi utilizado este valor passa para 1,512 m. A situação também se repete na onda portadora L1 com o satélite G15, porém com intensidade um pouco menor. Com essa observação verifica-se que a amplitude dos resíduos é causado provavelmente pelas placas de alumínio e sua acentuada amenização pelo uso do material em estudo.

### 3.4 Análises dos Azimutes e Elevações dos Satélites

O fato do sinal dos satélites G12 e G15 apresentarem resíduos obtidos elevado ruído na dupla diferença de fase (DDF) motivou uma análise dos azimutes e elevações destes satélites para que pudesse identificar uma possível causa dos valores obtidos. Tanto no levantamento 109 quanto no levantamento 115 é possível visualizar na Figura 6 e 7 que a órbita dos satélites é praticamente a mesma, sendo que o azimute do satélite G12 é de aproximadamente 30° e o do



satélite G15 varia de 60° a 100°. A elevação do G12 inicia em aproximadamente 25° e vai decaindo até sumir no horizonte, e a do G15 inicia em torno de 5° até atingir valores próximos de 23° ao final do rastreo.

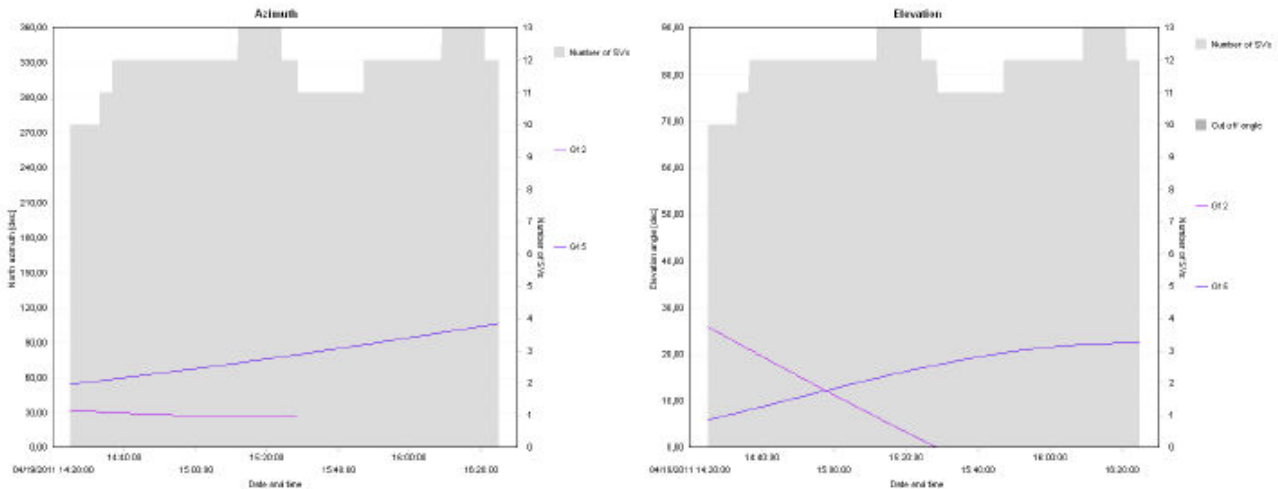


Figura 6 – Azimute e elevação dos satélites G12 e G15 no levantamento 109.

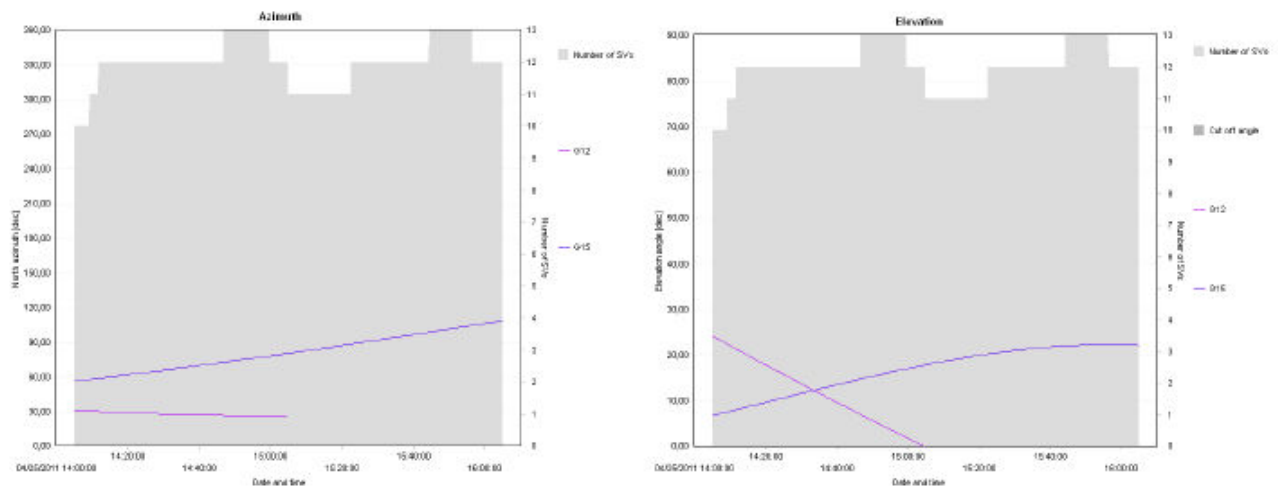


Figura 7 – Azimute e elevação dos satélites G12 e G15 no levantamento 115

Ao estimar a incidência dos sinais dos satélites sobre uma imagem aérea da região de rastreo, com base nos azimutes observados, pode-se observar que os sinais incidem de forma direta nas placas de alumínio causando um maior multicaminho (Figura 6, 7). Outro fator importante é a baixa elevação que os dois satélites apresentam durante os levantamentos, situação em que o efeito do multicaminho é agravado devido ao ângulo de incidência dos sinais.



Figura 8 - Croqui do local de rastreo e a estimativa da incidência dos sinais dos satélites G12 e G15

### 3.5 Análises Gerais do Efeito de Multicaminho

Após o processamento no software TEQC dos dados brutos dos levantamentos em que as placas de alumínio foram utilizadas (levantamentos 109 e 115), com base nos gráficos de multicaminho gerados, foi feita uma análise da variação da amplitude média deste efeito em ambos os levantamentos. Com relação à onda portadora L1, no levantamento sem o AEM-LAGE a amplitude máxima é de +6 metros até -17 metros (total de 23 metros), no entanto, no levantamento com o AEM-LAGE a amplitude máxima vai de +4,5 metros até -5,5 metros (total de 10 metros). (Gráficos 9 e 10).

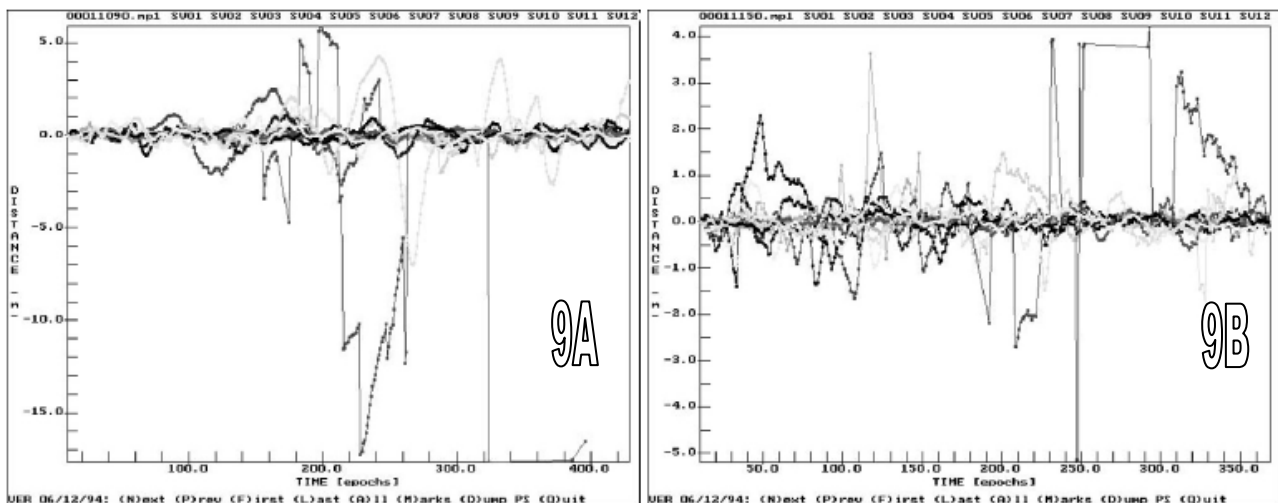


Figura 8A - Gráficos do multicaminho sem o AEM-LAGE para a onda portadora L1. Figura 8B - Gráficos do multicaminho com AEM-LAGE para a onda portadora L1.

Na portadora L2, a amplitude da variação no levantamento sem o AEM-LAGE varia de +8 metros até -24 metros (total de 32 metros) e no levantamento com a utilização do protótipo, a variação do efeito de multicaminho foi de aproximadamente +8 metros até -8 metros (total de 16 metros). (Figura 9A e 9B).



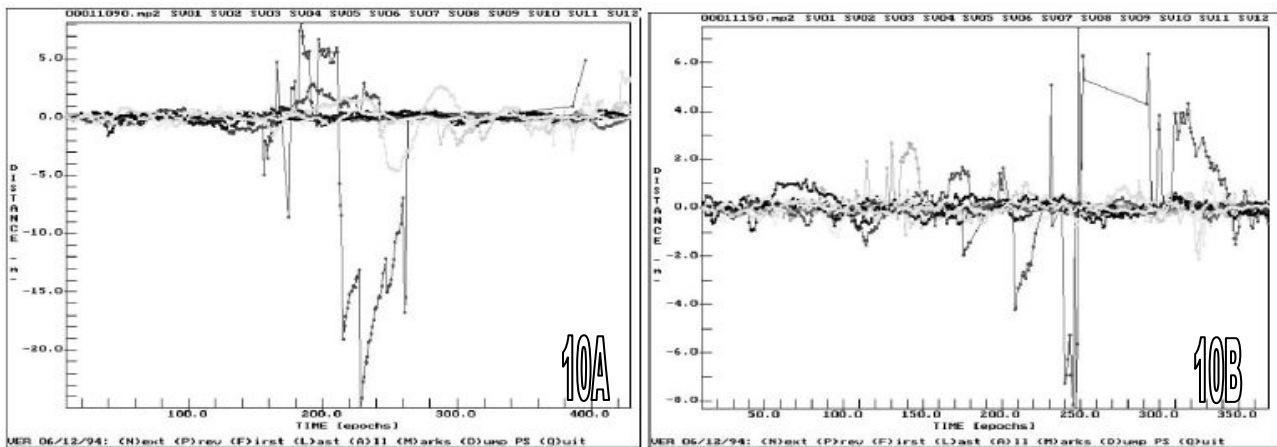


Figura 10A - Gráficos do multicaminho sem o AEM-LAGE para a onda portadora L2. Figura 10B - Gráficos do multicaminho com AEM-LAGE para a onda portadora L2.

Através das Figuras 9A, 9B, 10A e 10B pode-se afirmar que houve uma significativa diminuição do efeito de multicaminho quando o material AEM-LAGE foi associado à antena receptora, pois a amplitude máxima da variação do efeito diminuiu 56,21% para a onda portadora L1 e 50% para a onda portadora L2.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesse artigo foi possível verificar que o uso do AEM-LAGE nos levantamentos GNSS realizados possibilitou uma melhora na qualidade do sinal recebido pela antena, inclusive quando o efeito do multicaminho foi provocado e intensificado propositalmente com a adição das placas de alumínio ao redor do local de rastreo. Os melhores índices de rendimento foram, em ambos os levantamentos, na onda portadora L2 os quais atingiram 33,33% no estudo sem as placas de alumínio e 38,46% com as placas. Também se obteve ganhos consideráveis para a onda portadora L1 sendo de 16,67% no estudo sem as placas de alumínio e 23,08% com as placas.

Com base nestas porcentagens, fica também evidente que o material AEM-LAGE foi mais eficiente quando a probabilidade de multicaminho foi maior, ou seja, no levantamento 115, no qual se utilizou as placas de alumínio. Esta pesquisa não pode ser considerada conclusiva, em face de alguns fatores como: não foram realizados experimentos em número suficiente; não foram testados diferentes modelos de antenas receptoras e nem foram realizados testes estatísticos com os resultados encontrados.

Recomenda-se que para experimentos futuros sejam utilizadas antenas com maior propensão a apresentar o efeito de multicaminho e ruído. Assim poderá haver uma melhor percepção dos resultados de acordo com cada modelo de antena. A adoção de uma linha de base longa é algo que também pode gerar diferentes resultados, visto que com isso a precisão do posicionamento será menor do que o estudo aqui realizado. Outra recomendação é a utilização de testes estatísticos apropriados para determinar a aceitação ou não dos valores encontrados. Com estes procedimentos a pesquisa acerca do material AEM-LAGE, certamente será mais completa e conclusiva, contribuindo para o andamento de outras pesquisas relacionadas ao material Atenuador do Efeito de Multicaminho, em desenvolvimento pelo Laboratório de Geodésia Espacial desta Universidade.

## AGRADECIMENTOS

Os autores destas normas agradecem ao mestrando Anderson Renato Viski pelo desenvolvimento do protótipo do AEM-LAGE e a disponibilização para os experimentos.

## REFERÊNCIAS

- LEANDRO, D. **Investigação do posicionamento GPS em ambientes internos com o auxílio do efeito de multicaminho.** Dissertação de Mestrado. Curitiba, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - UFPR, 2009.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS. Descrição, Fundamentos e Aplicações.** São Paulo, Editora UNESP, 2007.
- HUINCA, S. C. M., **Calibração Relativa de Antenas na BCAL/UFPR.** Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre para o curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.