

## **ANÁLISE DAS OBSERVÁVEIS GPS APÓS A ELIMINAÇÃO DO EFEITO DO MULTICAMINHO.**

Wesley Gildo Canducci Polezel, Eniuce Menezes de Souza, João Francisco Galera Monico. Geociências – Engenharia Cartográfica – Departamento de Cartografia – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus de Presidente Prudente.

Uma tecnologia que já faz parte da vida, não só da comunidade científica, mas também de usuários em geral, é o GPS (Sistema de Posicionamento por Satélite - Americano). Devido a razoável precisão que o GPS possibilita no posicionamento, ele tem sido utilizado para diversos fins operacionais, desde uma simples navegação por aventureiros, até levantamentos de precisão milimétrica.

No entanto, para alcançar alta precisão com o GPS, há diversos erros envolvidos na propagação do sinal que deterioram a qualidade das observáveis GPS: código e fase da onda portadora e precisam ser tratados adequadamente. Alguns desses erros podem ser minimizados no posicionamento relativo, menos o efeito do multicaminho. O sinal, antes de ser captado pela antena do receptor GPS, pode sofrer reflexões (desvios) em obstáculos próximos à antena. Esses sinais refletidos são chamados de multicaminho. Tais sinais refletidos podem ser desviados por superfícies inclinadas, verticais ou horizontais, como por exemplo: ruas, edifícios, rios, lagos, veículos, etc.

Segundo Souza (2004, p.38), embora os sinais com o multicaminho tenham instante de emissão comum no satélite, eles chegam com as observáveis, código e fase atrasadas devido as diferentes reflexões ao longo do caminho, afetando assim a qualidade do posicionamento. Dessa forma, deve-se ter cautela na localização dos receptores durante a coleta de dados, em especial, em estações de referência. O impacto dos sinais com multicaminho nas observáveis código e fase da portadora depende de uma variedade de fatores, tais como a força e o atraso do sinal refletido comparado com o sinal direto, as características de atenuação da antena e a sofisticação das técnicas de medida e processamento do receptor (LEICK, 2004, p.228).

A influência do multicaminho na medida da fase da onda portadora é a principal limitação para a obtenção de alta precisão no posicionamento relativo estático e cinemático com GPS, pois, esse efeito pode impedir a fixação das ambigüidades ou conduzir a uma solução incorreta das mesmas (JIA, TSAKIRI e STEWART, 2000). Além disso, a magnitude do efeito do multicaminho na observável fase é  $\frac{1}{4}$  do seu comprimento, ou seja, aproximadamente 5 cm, muito maior da sua precisão nominal (2 mm).

Em relação ao multicaminho no código, o comportamento é similar ao da fase da onda portadora, mas as variações apresentam ordem de magnitude maior (LEICK, 2004, p.239). Tal erro pode chegar a aproximadamente 150 metros.

O erro de multicaminho depende de vários fatores incluindo o satélite, refletor, receptor e seus respectivos movimentos. Mas se o receptor está fixo num ponto e o ambiente fica inalterado, então o erro de multicaminho muda somente devido ao movimento de satélite. O satélite GPS tem um período orbital de meio dia sideral onde um dia sideral é igual a 23 h, 56 min e 4.009054 s (SPILKER e PARKINSON, 1996, p.38). O erro de multicaminho se repete depois de um dia sideral, ou seja, quase quatro minutos menos que um dia solar médio.

Para a estimativa do efeito do multicaminho, é interessante que seja determinada diretamente nas observações do código e da fase da onda portadora, principalmente, em estações de referência, tais como, as pertencentes a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Para tanto, neste artigo é proposta uma metodologia, na qual se deve instalar dois ou mais receptores em locais com coordenadas conhecidas e que não tenham superfícies refletoras significativas ao redor. Os receptores devem ser instalados próximos à estação em que se deseja detectar e corrigir o efeito do multicaminho (estação de referência). Logo, ao realizar o posicionamento relativo, a linha de base formada será curta, assim, os erros atmosféricos resultantes na dupla diferenciação serão insignificantes. Conseqüentemente, o efeito do multicaminho torna-se a fonte de erro predominante nos resíduos. Dessa forma, os receptores instalados próximos da estação de referência podem ser considerados como “livre” do multicaminho, o que implica que esse efeito na medida de dupla diferença (DD) é proveniente da estação de referência.

No processamento das linhas de base, os receptores “livres” do multicaminho foram considerados como base. Após realizar o processamento, os resíduos das DDs são utilizados na detecção do efeito do multicaminho. Para verificar qual dos resíduos das DDs das observáveis do código e da fase estão contaminadas por esse efeito, as componentes dos resíduos relativas ao multicaminho nas medidas observadas pelos receptores “livres” do multicaminho devem ser consideradas como zero. Pode-se então realizar um ajustamento utilizando como observações os valores dos resíduos das DDs e estimar o erro de multicaminho nas medidas do código e da fase para cada satélite visível na estação que se deseja eliminar o multicaminho.

Quando se determina a matriz  $A$ , no ajustamento, resulta-se em numa matriz com deficiência de posto. A matriz  $A$  é utilizada para gerar a matriz normal  $N$ . Logo, essa matriz é singular e não pode ser invertida pela álgebra convencional, para então determinar o vetor dos resultados  $X$ . Dessa forma, são necessárias injunções adicionais. Para tanto, os sinais do satélite (base) com maior ângulo de elevação foram considerados isentos de multicaminho. Adicionalmente, injunções de 3 mm para o código e 1 cm para a fase foram introduzidas para esse satélite. Para realizar esse procedimento, desenvolveu-se um programa em linguagem C++, no qual se realiza um ajustamento a partir dos resíduos das DDs.

Se o erro do multicaminho é predominante nos resíduos do ajustamento, estes devem apresentar uma repetibilidade entre diferentes dias. Tal repetibilidade também deve ser verificada no erro do multicaminho estimado a partir dos resíduos das duas linhas de base. Essas características representam indicativos de validade da metodologia proposta.

Nesse trabalho utilizaram-se as estações P1, P2 e PPTE (Figura 01).



FIGURA 1 – Local do experimento

As observações das estações P1 e P2 foram consideradas “livres” do efeito do multicaminho e a estação PPTE, pertencente à RBMC, foi utilizada para detectar e corrigir esse efeito. A coleta foi realizada nos dias 15 de dezembro de 2004 a 14 de janeiro de 2005. Para o processamento dos dados GPS utilizando a somente a observável L1, foi utilizado o *software* científico GPSeq desenvolvido na FCT/UNESP.

Nas figuras 02 e 03 são ilustrados os resíduos do código e da fase para os dias 24, 27, 28, 31 de dezembro de 2005 e 01, 11 e 12 de janeiro de 2006 da DD 18-21 na linha de base P1-PPTE .

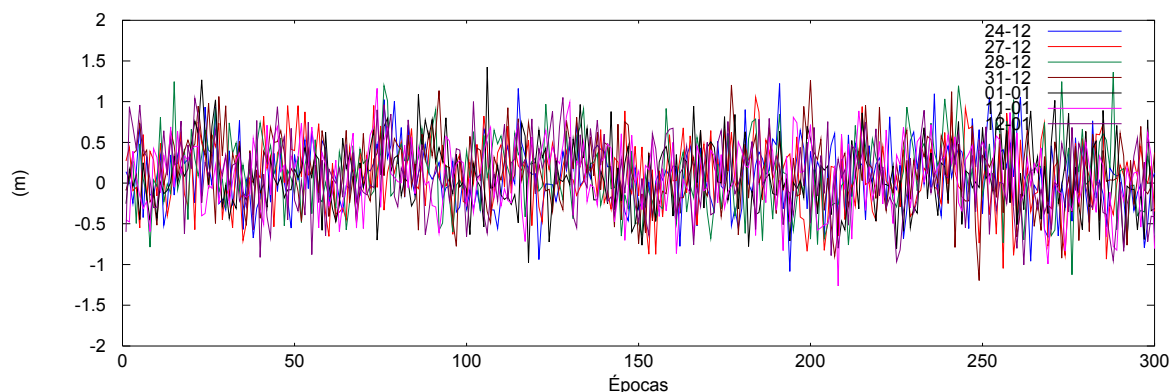


FIGURA 2 – Resíduos do código da DD 18-21 para linha de base P1-PPTE

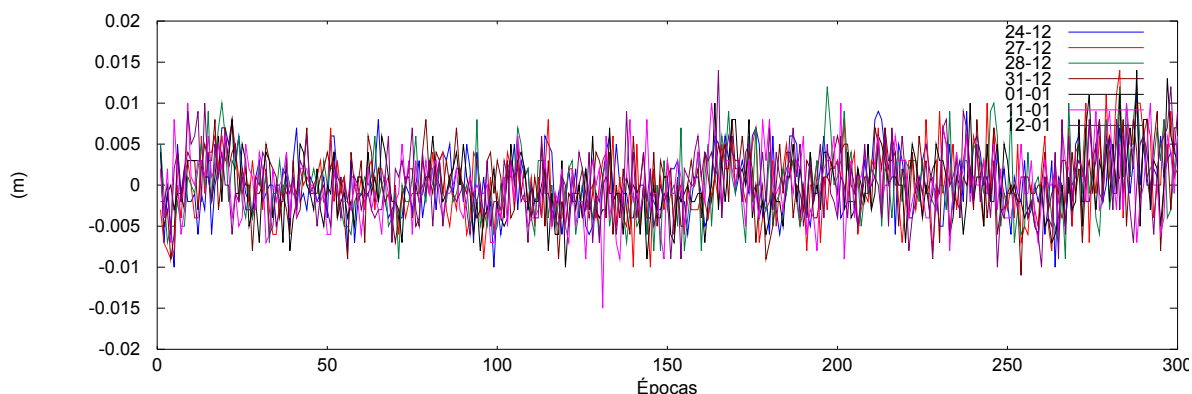


FIGURA 3 – Resíduos da fase na DD 18-21 para linha de base P1-PPTE

Nas figuras 02 e 03, observa-se um comportamento similar entre os dias, o que caracteriza a predominância do efeito do multicaminho, pois, como se sabe, esse efeito se repete diariamente se o ambiente permanece inalterado. Logo, do escopo apresentado, pode-se concluir que há uma predominância do efeito do multicaminho para as duas linhas de base nos resíduos analisados das DD para o código e para a fase, proporcionando indicativos da eficiência da metodologia proposta. Vale salientar que a repetibilidade foi apresentada aqui somente para a linha de base P1-PPTE, no entanto, os resultados para a linha de base P2-PPTE foram similares.

Com o intuito de analisar e comparar a qualidade das observações na DD para o código e para a fase, utilizou-se o teste estatístico GOM (*Global Overall Model*). A partir dos valores do GOM, observou-se que a qualidade das observações melhorou após corrigir do efeito do multicaminho. Na tabela 01 são apresentados os valores médios e desvios padrão da estatística GOM, sem (GOMs) e com (GOMc) correção do efeito do multicaminho.

Tabela 1 – Valores médios e desvios padrão (DP) das estatísticas GOMs e GOMc

Linhas de base	GOMs		GOMc		Melhoria (%)
	Média	DP	Média	DP	Média
PPTE-P1	1,36	0,28	0,90	0,23	51,4
PPTE-P2	1,58	0,33	1,02	0,34	54,4

As porcentagens de melhoria da estatística GOM  $\left( \frac{GOMc}{GOMs} * 100 \right)$  podem ser observadas nas figuras 04 e 05 para cada dia referente às linhas de base PPTE-P1 e PPTE-P2, respectivamente.

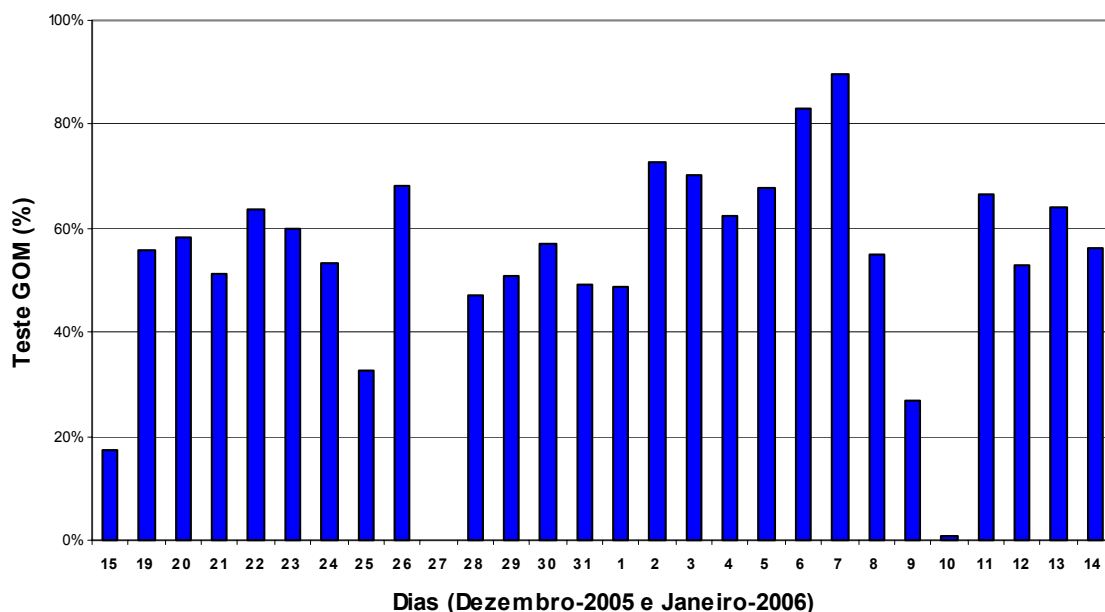


FIGURA 4 – Porcentagem de melhoria da estatística GOM após corrigir o multicaminho (PPTE-P1)

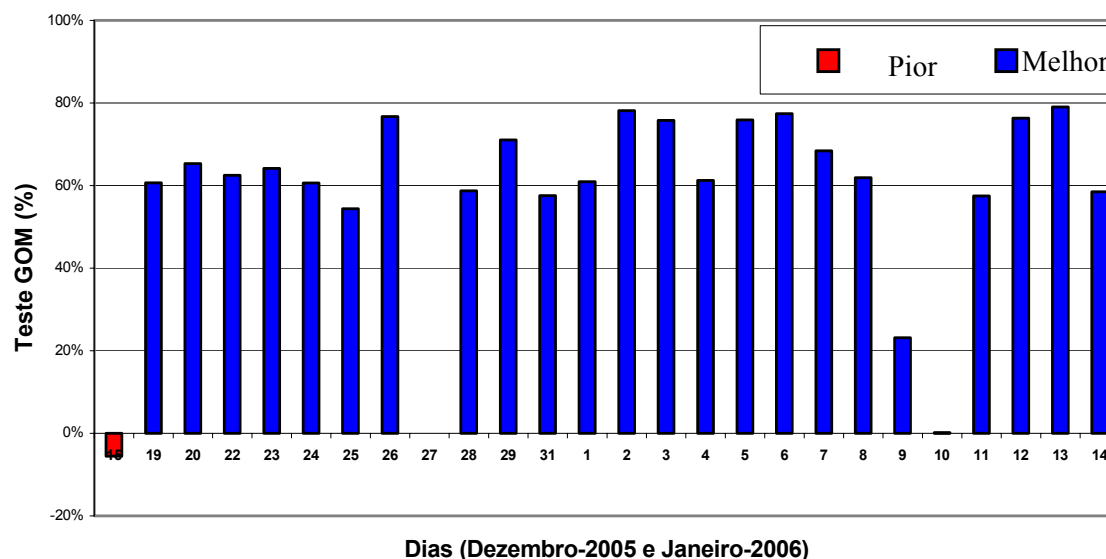


FIGURA 5 – Porcentagem de melhoria da estatística GOM após corrigir o multicaminho (PPTE-P2)

Na figura 04 pode-se observar que teste estatístico GOM melhorou em todos os dias analisados. Em geral, a qualidade das observações melhorou algo em torno de 50%, alcançando até 90%.

Analogamente, para a linha de base PPTE-P2 (figura 05), o teste GOM piorou apenas no dia 15, sendo pouco significativo ( $\cong 5\%$ ) em relação aos demais valores, os quais melhoraram em geral mais que 50%. Assim, conclui-se que o valor da estatística GOM apresenta-se melhor para as observações onde o efeito do multicaminho foi corrigido aplicando a metodologia proposta.

Na Geodésia, esse trabalho pode trazer importantes contribuições no que se refere à estimativa do erro de multicaminho em estações de referência, pois se poderá disponibilizar dados das estações de referência já corrigidos do efeito do multicaminho. Vale salientar que nesse trabalho utilizou-se somente a frequência L1, futuramente, pretende-se introduzir a frequência L2 no *software* GPSeq para possibilitar o desenvolvimento da metodologia proposta também para dupla frequência, o que provavelmente possibilitará melhores resultados.

### Referências Bibliográficas

JIA, M.; TSAKIRI, M.; STEWART, M. Mitigation Multipath Errors Using Semi-parametric Models for High Precision Static Positioning. In: IAG SYMPOSIA, 2000. **Geodesy Beyond 2000 – The Challenges of the First Decade**, v. 121, p. 393-398.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. Canada: John Wiley & Sons, 3 edição, 2004.435p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR - GPS: Descrição, fundamentos e aplicações**, São Paulo: UNESP, 2000, 287p.

RAY, J. Use of Multiple Antennas to Mitigate Carrier Phase Multipath in Reference Stations. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 12, 1999, Nashville. **Proceedings...**Kansas City: The Satellite Division of Navigation, 1999. p. 269-80.

SPIPKER, J. J.; PARKINSON, B. W. Overview of Operation and Design. In: PARKINSON, B. W. e SPIPKER, J. J. **Global Position System: Theory and Applications**. Cambridge: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996. v.1, p.29-55.

SOUZA, E. M. **Efeito de multicaminho de alta frequência no posicionamento relativo GPS estático: Detecção e atenuação utilizando wavelets**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Presidente Prudente.

**Bolsa:** FAPESP (Processo: 04/02645-0)