

Análise do Efeito do Multicaminho nas Observações de Satélites GPS na Estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) de Viçosa

Graziela Ferreira Costa¹
Antonio Simões Silva¹
Verônica Maria Costa Romão²
Dalto Domingos Rodrigues¹
Carlos Antonio Oliveira Vieira¹

¹ Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Civil
Engenharia de Agrimensura
Viçosa – MG
grazielaforcosta@yahoo.com.br

² Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Engenharia Cartográfica
Recife - PE

Resumo: A RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo de satélites GPS) estabelecida desde 1996 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) recebe dados que são usados para a realização de uma série de atividades que necessitam de posicionamento. Faz-se necessário uma avaliação prévia da qualidade desses dados. Esse controle de qualidade será realizado com o emprego de software TEQC (*Translate, Edit, Quality Check*). Esse software gera indicadores de qualidade, que são armazenados em arquivos de extensões diversas. Dentre eles estão sendo analisados os valores de multicaminho da fase portadora L1, por meio de um arquivo de extensão MP1. Também será levado em conta as estações do ano e analisado os possíveis efeitos da mudança destas no multicaminho. Os dados analisados são relativos à base da RBMC situada em Viçosa (VICO) no Estado de Minas Gerais.

Palavras chaves: Multicaminho, TEQC, RBMC

Abstract: The RBMC (Brazilian Network for Continuous Monitoring of GPS) established since 1996 for the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) receives data that are used for the accomplishment of a series of activities that need positioning. It is done necessary a previous evaluation of the quality of those data. That quality control will be accomplished with the software TEQC (*Translate, Edit, Quality Check*). That software generates quality indicators, which are stored in files of several extensions. Among them the values of multipath of the L1 carrier phase are being analyzed, through an extension file MP1. It will also be taken into account the seasons and analyzed the possible effects of the change of these in the multipath. The analyzed data are from the Viçosa RBMC (VICO) in the State of Minas Gerais.

Keywords: Multipath, TEQC, RBMC

1 – Introdução

Este trabalho desenvolvido sob a égide do GEPCiG – Grupo de Estudo e Pesquisa em Ciências Geodésicas - UFV trata do estudo do multicaminho nas observações GPS da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo RBMC - da cidade de Viçosa. Posicionamentos que requerem rapidez, precisão e economia são na maioria das vezes realizados com o *Global Positioning System*, mais conhecido como GPS. Como o nome sugere, o GPS é um sistema de abrangência global que vem facilitando todas as atividades que necessitam de posicionamento, fazendo com que algumas concepções antigas sejam postas em prática.

Existem duas observáveis básicas presentes no sistema GPS que permitem determinar posição, velocidade e tempo. Estas observáveis são a pseudodistância a partir do código e a fase da onda portadora ou diferença de fase da onda portadora.

Segundo MONICO (2000) as observáveis GPS, tal como todas as outras observáveis envolvidas nos processos de medidas, estão sujeitas aos erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros. Para obter resultados confiáveis, o modelo matemático (funcional e estocástico) estabelecido deve ser válido para a realidade física que se tenta descrever, e capaz de detectar problemas. Dessa forma, as fontes de erros envolvidas nos processos de medidas devem ser bem conhecidas. Erros sistemáticos podem ser parametrizados ou eliminados por técnicas apropriadas de observação. Erros aleatórios, por sua vez, não apresentam nenhuma relação funcional com as medidas e são, normalmente, as discrepâncias remanescentes nas observações, depois que todos os erros grosseiros e sistemáticos foram eliminados ou minimizados. Eles são inevitáveis, sendo, portanto, considerados uma propriedade inerente da observação.

Apesar do sistema GPS contar com uma alta precisão para posicionamento, ele está sujeito a fontes de erros que geram algum efeito sobre as observáveis. As principais fontes de erro nesse sistema estão relacionadas à propagação do sinal, ao satélite, ao receptor/antena e às estações de referência.

O multicaminho é um dos efeitos que ocorrem nestas prováveis fontes de erros, podendo este aparecer em duas das fontes: na estação e na propagação do sinal. Podem também, ocorrer nos satélites, mas é menos comum.

O efeito provocado pelo multicaminhamento é bem descrito pelo próprio nome. O receptor pode em algumas circunstâncias, receber além do sinal que chega diretamente à antena, sinais refletidos em superfícies vizinhas a ela, tais como construções, carros, árvores, massa d'água, cercas etc. Então durante a propagação do sinal entre o satélite e a antena do receptor pode ocorrer um desvio, também chamado de reflexão, fazendo com que o sinal chegue à antena do receptor por dois caminhos distintos, um que é direto do satélite e outro que foi "desviado" por algumas dessas superfícies vizinhas, causando assim o aparecimento do multicaminho. FAZAN (2002) realizou um trabalho visando o controle de qualidade dos dados GPS das estações da RBMC instaladas no território brasileiro até o ano de 2002. O controle de qualidade tem sido feito visando a fonte de erro multicaminho relacionando-o com a elevação do satélite.

Devido à presença do multicaminho, se faz necessário um controle de qualidade dos dados obtidos usando a tecnologia GPS. Neste trabalho será realizado este controle de qualidade, na base da RBMC situada em Viçosa no estado de Minas Gerais, com o intuito de analisar o efeito do multicaminho na propagação do sinal e na estação, relacionando-o com a geometria dos satélites assim como serão usadas observações de diversas épocas do ano para estudar a influência destas no efeito multicaminho.

Para tanto, será utilizado o *software* de domínio público TEQC (*Translate, Edit, Quality Check*), desenvolvido pela UNAVCO, *University NAVSTAR Consortium*, que permite obter, dentre outros parâmetros, os valores de MP1 e MP2, que se referem respectivamente ao multicaminho em L1 e L2, possibilitando também a geração de gráficos, tornando possível analisar separadamente os efeitos que geram erros nas observações GPS.

2 - Fundamentação Teórica

2.1 - Erros nas Observáveis GPS

Erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros podem acontecer em quaisquer observáveis envolvidas em processos de medidas, o que não é diferente com as observáveis GPS. Portanto para que se obtenha resultados confiáveis segundo MONICO (2000), o modelo matemático (funcional e estocástico) a ser empregado deve ter a capacidade de detectar problemas existentes e para isso há a necessidade de se conhecer os erros e suas fontes que estão envolvidos neste processo.

Os erros podem ser agrupados de acordo com suas fontes como e estão listados a seguir:

- Satélite que pode gerar erro da órbita, do relógio, da relatividade e do atraso entre as duas portadoras no hardware do satélite;
- Propagação do sinal pode gerar erro de refração troposférica, refração ionosférica, perdas de ciclos, multicaminhamento e erro pela rotação da terra;

- Receptor/Antena pode gerar erro do relógio, erro entre os canais, erro do centro de fase da antena;
- Estação pode gerar erro nas coordenadas, multicaminhamento, erro devido às marés terrestres, erro devido ao movimento do Pólo, erro devido à carga dos oceanos e devido à pressão da atmosfera.

Como o presente trabalho tem como objetivo analisar o efeito do multicaminho, esse erro será detalhado e descrito a seguir.

2.2 - Multicaminho

Define-se multicaminho como o fenômeno pelo qual o sinal que chega à antena do receptor é o resultado não só do sinal vindo diretamente do satélite, mas também de sinais secundários, provenientes da reflexão do sinal direto em objetos mais ou menos próximos da antena ou da linha receptor-satélite (FARRET, 2000).

A chegada de mais de um sinal gera problemas na detecção do pico da função de correlação (correlação máxima = 1) entre o sinal que chega à antena e sua réplica gerada no receptor, ocasionando um erro na distância receptor-satélite medida (FARRET, 2000).

Os sinais gerados por reflexões possuem um tempo de propagação maior, o que causa distorção no sinal emitido afetando, dessa forma, a qualidade do posicionamento. Destaca-se, entretanto, que o efeito do multicaminho está relacionado também com a geometria dos satélites observados, sendo esta modificada em função do tempo. Portanto, é mais provável que o sinal do GPS sofra maior efeito do multicaminho quando o satélite se encontrar mais próximo ao horizonte (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 1994).

Conforme HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, (1994) a diferença entre o sinal direto e o sinal indireto é proporcional ao comprimento do caminho percorrido entre o satélite e o receptor.

WEILL (1997) afirma que o multicaminho pode ser atenuado por técnicas espaciais e técnicas de processamento de sinal. As técnicas espaciais baseiam-se na geometria de propagação do sinal. As técnicas de processamento de sinal são referentes ao “software” no receptor. Essas técnicas visam reduzir o efeito do multicaminho no “*tracking Loop*”, atuando principalmente na função de correlação. Também se pode minimizar o problema do multicaminho fazendo-se um rastreamento por um período de tempo maior, utilizando de maneira estratégica a variação na geometria do satélite. Outras técnicas podem ser usadas como, por exemplo, o uso de antenas que propiciam uma redução deste efeito (*Choke-ring*) e evitar, se possível, locais onde a ocorrência do multicaminho é mais propícia (áreas com estruturas metálicas, árvores, etc), entre outras técnicas (FAZAN, 2002).

3 - Materiais e métodos

3.1 – O Software TEQC

O TEQC é um software desenvolvido e constantemente atualizado pela UNAVCO (*University NAVSTAR Consortium*). Este software permite manipular tanto dados NAVSTARGPS, como GLONASS ou TRANSIT (NNSS - *Navy Navigation Satellite System*). Nesse trabalho os dados utilizados são de receptores NAVSTAR-GPS.

O TEQC é um software simples e está disponível, no site da UNAVCO (<<http://www.unavco.ucar.edu/>>), o software realiza o controle usando dados diários de uma estação por vez, os dados submetidos ao controle de qualidade podem estar no formato RINEX, cujos arquivos são os de observação e navegação, sendo o último opcional e os resultados são apresentados na forma de arquivos, com as seguintes extensões:

- YYS: Sumário com um resumo do controle de qualidade, sendo YY o ano do qual foram feitas as coletas de dados;
- MP1: Efeito de multicaminhamento em L1 para observações dos códigos C/A ou P1;
- MP2: Efeito de multicaminhamento em L2 para observações do código P2;
- ION: Efeito da ionosfera na fase da portadora L1 e L2;
- IOD: A razão do atraso devido a ionosfera;
- ELE: Ângulo de elevação dos satélites;

- AZI: Azimute dos satélites;
- SN1: Razão Sinal Ruído na portadora L1; e
- SN2: Razão Sinal Ruído na portadora L2.

As médias dos resultados do controle de qualidade são apresentadas na forma alfanumérica pelo arquivo sumário.

Os arquivos que apresentam as extensões MP1, MP2, ION, IOD, AZI, ELE, SN1 e SN2, são considerados arquivos gráficos, pois através da utilização dos *softwares* QCVIEW e/ou QCV podem ser elaborados gráficos dos resultados contidos nesses arquivos. Porém o conteúdo desses arquivos é alfanumérico, isso implica que tais informações podem ser verificadas utilizando-se um simples editor de texto, ou pode-se elaborar um programa para leitura e análise de tais informações.

Para estudo do multicaminho, utilizaram-se arquivos base em formato RINEX da estação RBMC da cidade de Viçosa no estado de Minas Gerais. Foram utilizados 364 arquivos de observação e 364 de navegação. Todos com um intervalo de gravação de 15 em 15 segundos. Os dados são do dia 01 do mês janeiro ao dia 31 do mês de dezembro de 2007. Nenhum critério especial foi adotado para escolha do ano, a escolha foi feita aleatoriamente.

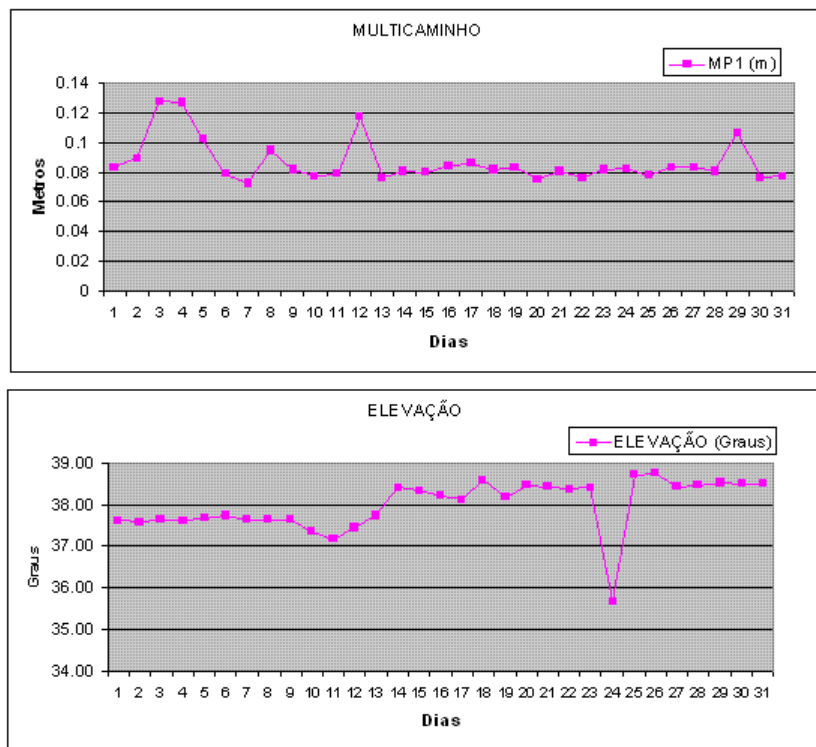


Figura 1 : Indicadores de qualidade da estação VICO, referente ao mês de janeiro do ano de 2007

4 – Resultados e Discussão

A Tabela 1 mostra os valores mínimos, as médias e os valores máximos dos indicadores de qualidade analisados para a estação VICO da RBMC.

Tabela 1 - Mínimo, média e máximo, dos indicadores de qualidade da estação VICO

VICO	MP1 (m)	Elevaçã o (Graus)
Mínimo	0.07	33.80
Média	0.18	37.26
Máximo	0.51	42.64

Os gráficos abaixo ilustram o multicaminho para a estação VICO da RBMC na fase L1 e a elevação média dos satélites rastreados. Desta forma pode-se analisar o multicaminho juntamente com a elevação dos satélites.

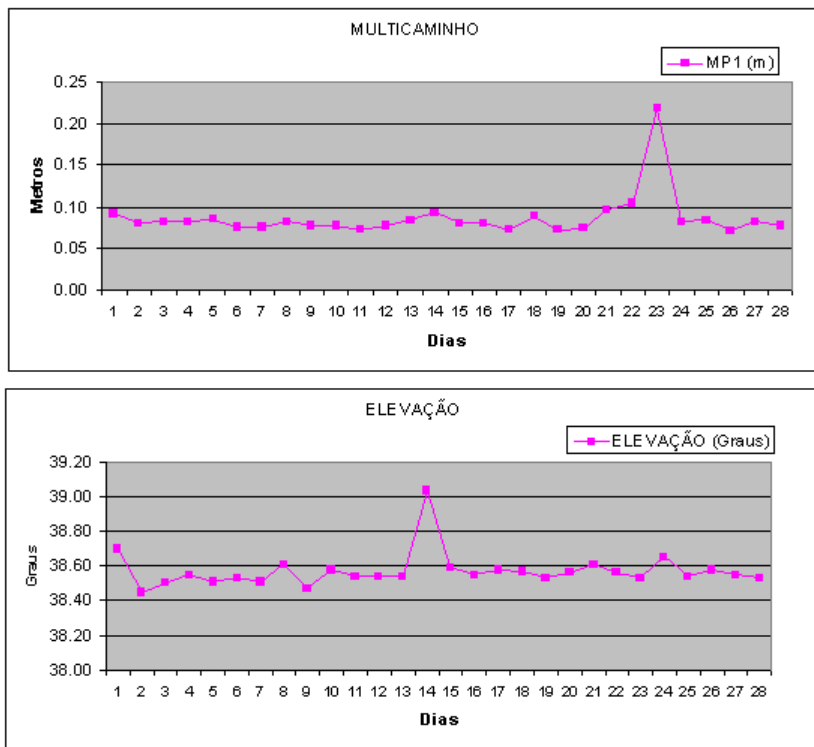


Figura 2 : Indicadores de qualidade da estação VICO, referente ao mês de fevereiro de 2007

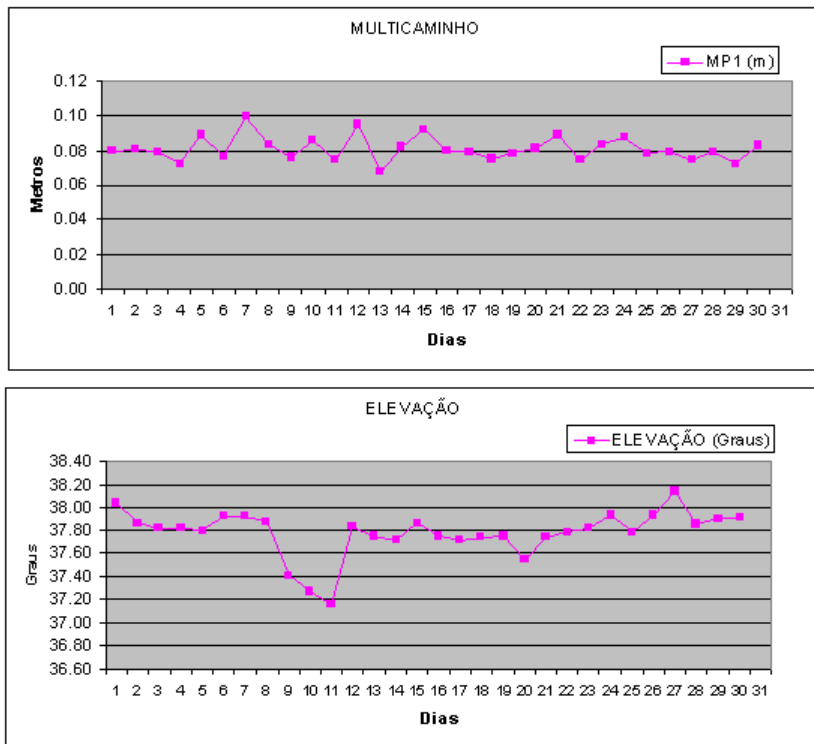


Figura 3 : Indicadores de qualidade da estação VICO, referente ao mês de março de 2007

No mês de abril VICO só ficou ativa nos dias 2 e 3, para o dia 2 o valor de MP1 foi 0.0849 m e a elevação média dos satélites foi 37.91° e para o dia 3 o valor de MP1 foi 0.0745 m e a elevação média dos satélites foi 36.56°.

No mês de maio VICO só ficou ativa no dia 31, sendo o valor de MP1 igual a 0.2026 m e a elevação média dos satélites igual a 41.19°.

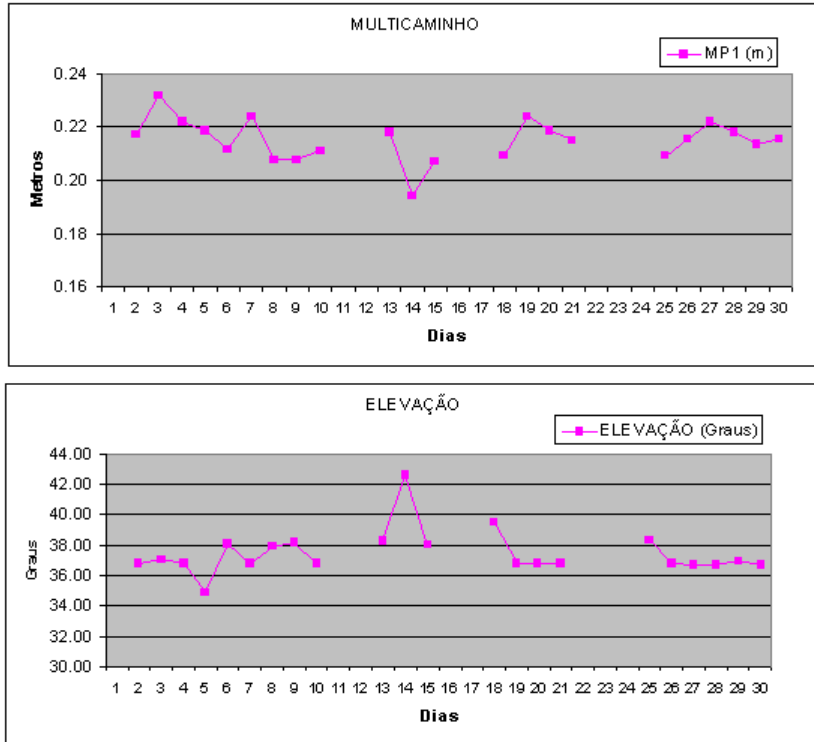


Figura 4: Indicadores de qualidade da estação VICO, referente ao mês de junho de 2007

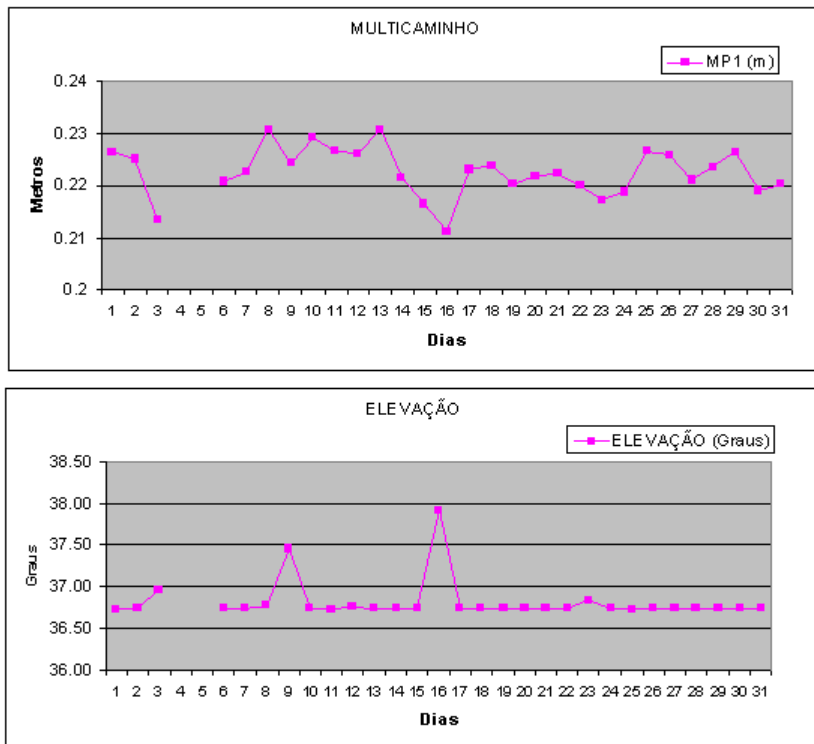


Figura 5 : Indicadores de qualidade da estação VICO, referente ao mês de julho de 2007

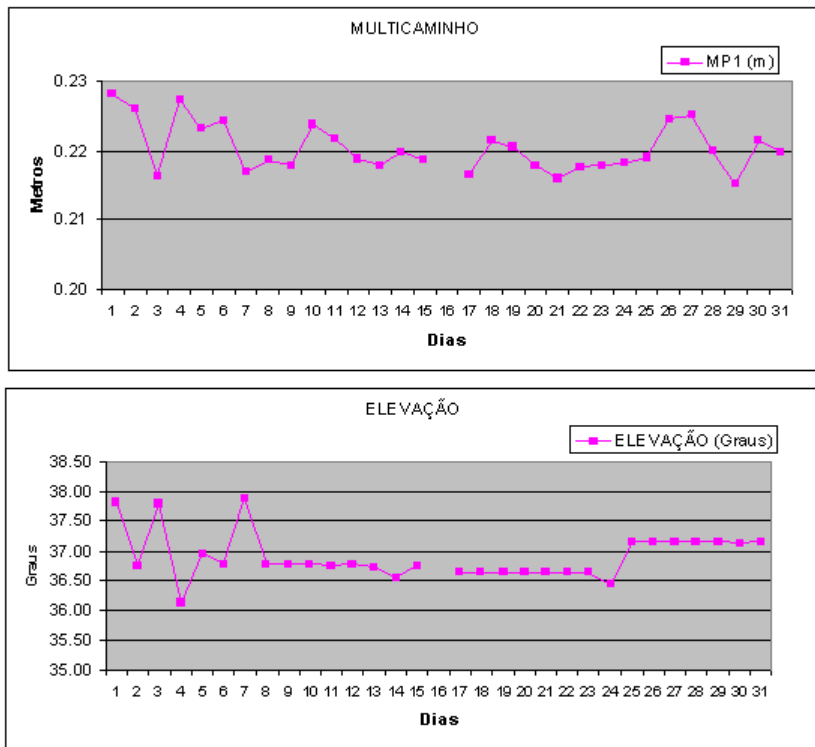


Figura 6 : Indicadores de qualidade da estação VICO, referente ao mês de agosto de 2007

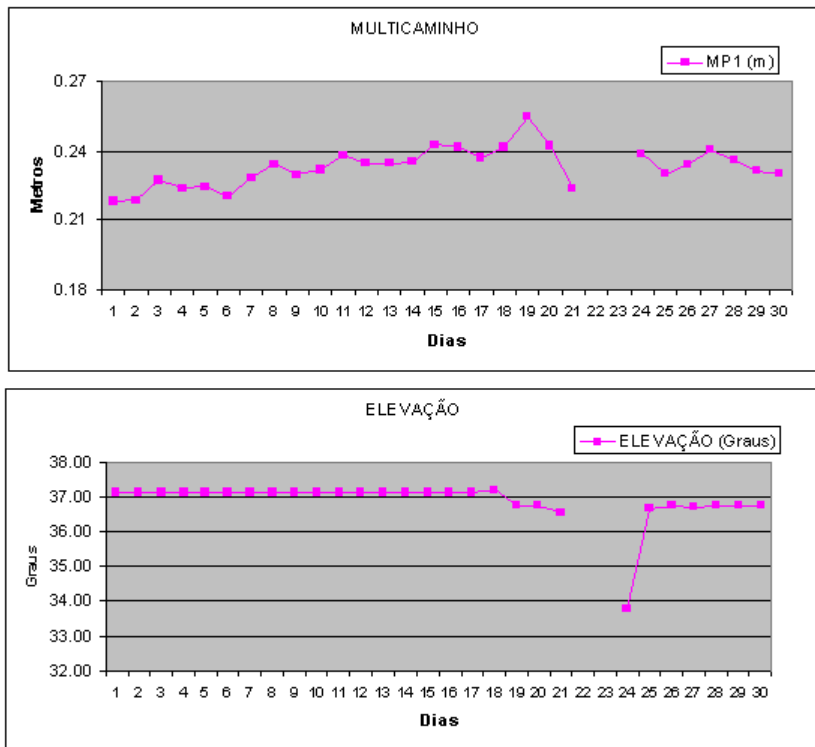


Figura 7 : Indicadores de qualidade da estação VICO, referente ao mês de setembro de 2007

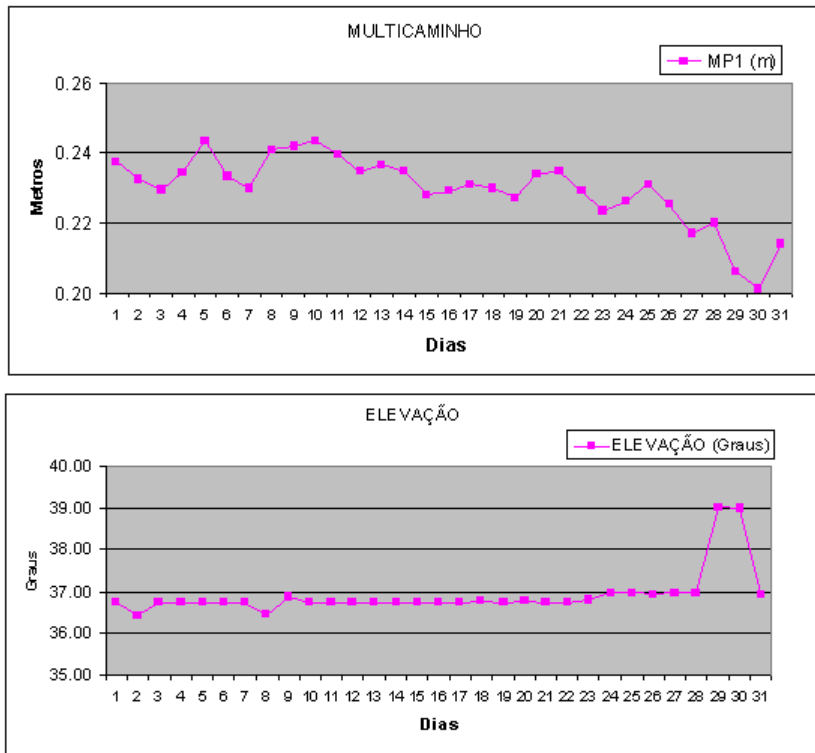


Figura 8 : Indicadores de qualidade da estação VICO, referente ao mês de setembro de 2007

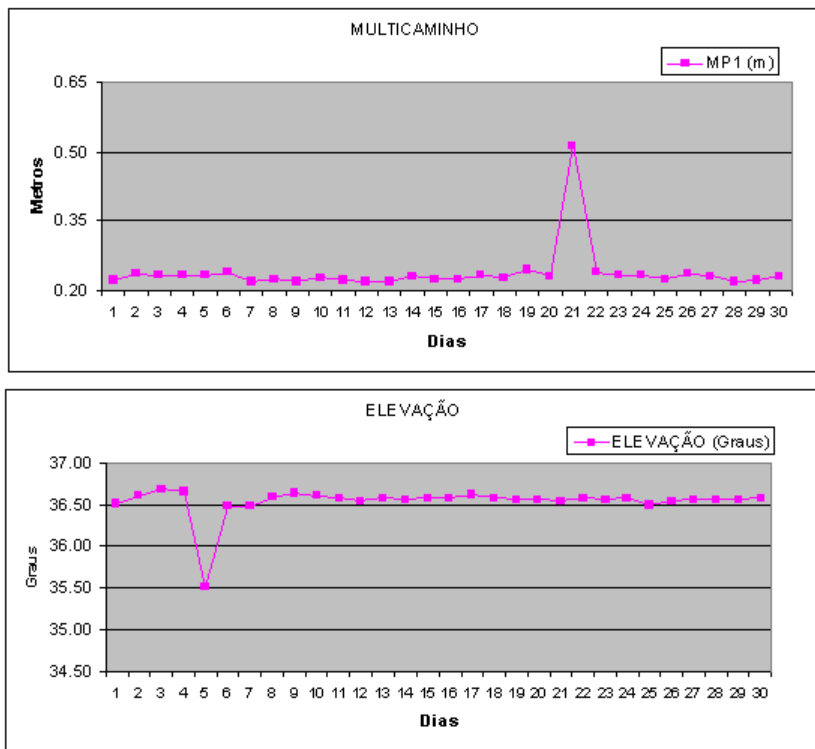


Figura 9 : Indicadores de qualidade da estação VICO, referente ao mês de novembro de 2007

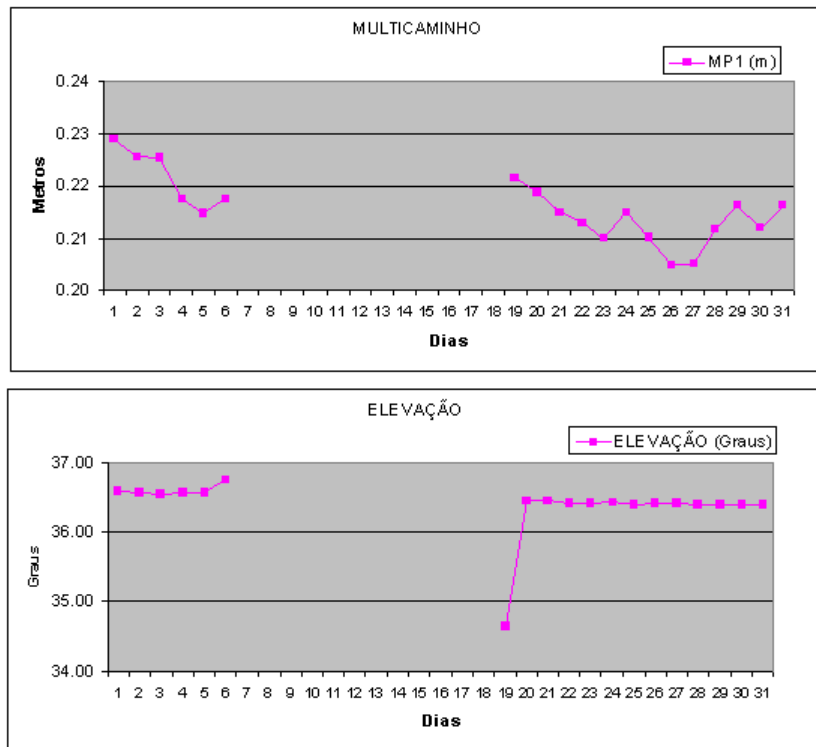


Figura 10 : Indicadores de qualidade da estação VICO, referente ao mês de dezembro de 2007

Analisando o gráfico de multicaminho nota-se que os valores de MP1 de janeiro a 2 de abril, ocorrem sem se afastar muito da sua média. Do dia 3 de abril ao dia 30 de maio, os dados não estão disponíveis devido à inoperância da estação VICO. A partir do dia 31 de maio, quando a estação voltou a ser ativada, os valores de MP1 apresentaram-se bem acima dos que vinham ocorrendo.

Verificando as possíveis causas constatou-se que ocorreu troca de antena e receptor na estação VICO no dia 3 de abril, a antena até então usada era do tipo DORNE MARGOLIN T (TRM 29659.00), com número de série 070171 e altura 0.0160 m (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena). O receptor era do tipo TRIMBLE 4000SSI, com número de série 3631A16595 e Versão do Firmware 7.01. A partir do dia 93 a antena passou a ser do tipo ZEPHYR GNSS GEODETIC MODEL 2 (TRM 55971.00), com número de série 30278433 e altura igual a 0.0080 m (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena), já o receptor passou a ser do tipo TRIMBLE NetR5, com número de série 4651K03571 e Versão do Firmware 3.50. O que provavelmente foi a causa da mudança de comportamento nos valores de MP1 em tal época.

Observando a Tabela 2 pode-se ver os piores resultados de MP1 da estação VICO. Percebe-se que nesses dias ocorreram distúrbios nos dados, pois os resultados de MP1 são ruins. Porém nesses casos, não ocorreu correlação entre os indicadores. Logo, pode-se afirmar que os valores de MP1 sofreram influências externas, ou seja, do meio ao redor da antena.

Tabela 2 – Indicadores de qualidade

Dia/Mês	MP1 (m)	Elevação (Graus)
23/02	0.217653	38.53
20/11	0.512295	36.54

5 – Conclusões

Analisando os gráficos percebe-se que o efeito do multicaminho pode ser afetado pela elevação do satélite, como acontece, por exemplo, nos dias 14/06, 25/06, 03/07, 16/07, 03/08 a 07/08, 29/09 e 30/09, que ocorre um aumento em MP1 e simultaneamente uma queda na elevação média dos satélites. Porém isso não se repete em todos os casos, mostrando que o valor de MP1 não é gerado apenas pela elevação do satélite, mas existem outros fatores, não discutidos aqui, correlacionados com o MP1 e que também o influenciam.

Percebe-se também que as mudanças de estações do ano parecem não refletir no efeito do multicaminho, já que nos dias em que ocorrem as mudanças de estações não se observa alterações significativas nos valores de MP1.

Pode-se atenuar o efeito do multicaminho, aplicando-se alguns algoritmos que irão diminuir o efeito do mesmo nas observações GPS, estes algoritmos não influenciam negativamente os dados que chegaram diretamente na antena, melhorando os dados de forma significativa (PALMA, 2006)

6 – Referências Bibliográficas

ARAÚJO, S.C.. *Investigação do comportamento de integração das tecnologias SIG/GPS: definição de metodologia cadastral para a SABESP de Presidente Prudente*. Presidente Prudente, 1999. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Estadual Paulista.

FARRET, J.C. *O Efeito do Multicaminho Estático nas Medidas da Fase das Portadoras GPS*. Tese (Doutorado em Geodésia). Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas,. Curitiba, 2000.

FAZAN, J.A., MONICO, J.F.G. *Controle de qualidade dos dados GPS da RBMC*, Relatório Científico de Bolsa de Pesquisa de Iniciação Científica – FAPESP (Processo n. 01/03145-2), FCT/UNESP - Departamento de Cartografia, 2002.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. *GPS: Theory and Practice*. 4. ed. Wien: Springer, 1994.

IBGE. *ESPECIFICAÇÕES E NORMAS GERAIS PARA LEVANTAMENTOS GPS*. Disponível em <www.ibge.gov.br>. Acessado em 20 novembro de 2007.

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

PALMA, E., 2006, *A precisão possível com gps em georreferenciamento: o desafio do multicaminho (Artigo)*, Universidade Federal de Santa Maria, RS.

ROCHA, L.P., 2006, *Relação entre o multicaminho e a elevação do satélite nas bases da RBMC do Estado de Minas Gerais (Monografia)*, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

WEILL, L.R. *Conquering Multipath: The GPS Accuracy Battle*. *GPS World*, p. 59- 66, abril.1997.