

# ANÁLISE DOS ÍNDICES DE MULTICAMINHO MP1 E MP2 EM ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO CONTÍNUO

*P. V. S. Pinto<sup>1</sup>, M. C. O. Caldeira<sup>1</sup>, C. R. T. Caldeira<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Belém – PA, Brasil

**Comissão II: Geodésia, Astronomia, Topografia, Agrimensura**

## RESUMO

A modelagem do multicaminho é complexa, pois depende de diversos fatores (ângulo de elevação, refratividade do meio, características da antena, objeto refletor, entre outros). Após coletados os dados, existem alguns fatores que funcionam como indicativos de multicaminho, como os índices MP1 e MP2. Sendo assim, esta pesquisa tem por objetivo avaliar através destes índices a existência e magnitude do multicaminho em estações de referência da RBMC. Além disso, verificar quais eventos podem influenciar os valores obtidos por esses índices, como cintilação ionosférica.

**Palavras chave:** Multicaminho, Índices MP1 e MP2, Cintilação Ionosférica.

## ABSTRACT

Multipath modeling is complex because it depends on several factors (elevation angle, refractivity, antenna characteristics, reflector object, among others). After collecting the data, there are some factors that move as indicative of multipath, such as MP1 and MP2. Therefore, this research has as objective to evaluate through these indices the existence and magnitude of the multipath in reference stations of RBMC. Furthermore, verify which events may influence the values obtained by these indices, such as ionospheric scintillation.

**Keywords:** Multipath, MP1 and MP2 Indices, Ionospheric Scintillation.

### 1- INTRODUÇÃO

Atualmente, as tecnologias espaciais têm sido amplamente empregadas, dentre elas uma das principais e mais modernas é o GNSS (Global Navigation Satellite System). O GNSS apresenta como características a dispensa de visibilidade entre as estações, obtenção das coordenadas em um curto período de tempo e disponibilidade de uso em qualquer condição climática. Os dados transmitidos pelos sistemas GNSS estão sujeitos a erros, tanto devido aos próprios satélites que compõem as constelações, como a propagação do sinal, receptor e à estação (MONICO, 2008; LEICK, 1995).

Dependendo do método de posicionamento empregado e da própria acurácia almejada, a maior parte dos erros pode ser eliminada, reduzida ou modelada. Deste modo, dois erros merecem destaque: o erro ionosférico e o multicaminho. O erro ionosférico varia no tempo e espaço e é influenciado por diversas variáveis, tais como: ciclo solar, época do ano, hora local, localização geográfica, atividade geomagnética, entre outros (MONICO, 2008). Já o Multicaminho é o fenômeno pelo qual o sinal GNSS reflete em objetos localizados no ambiente próximo do levantamento e chega ao receptor via múltiplos caminhos.

No entanto o multicaminho, é de difícil modelagem, pois depende das condições específicas de cada local, como o ângulo de elevação do satélite, a refratividade do meio onde se posiciona a antena, a

distância perpendicular entre a antena e o objeto refletor, as características da antena e do objeto refletor, técnicas utilizadas nos receptores para reduzir os sinais refletidos, por isso, o que se tenta é realizar a coleta de dados evitando tal efeito, o que nem sempre é possível (ALVES et al, 2013; SOUZA, 2008).

Além disso, após coletados os dados, existem alguns fatores que funcionam como indicativos de multicaminho. Assim, pode-se avaliar a possível presença de tal efeito nos dados. Um desses indicativos é a repetibilidade em dias consecutivos, pois como o efeito do multicaminho depende da geometria dos satélites e do ambiente físico que a antena está inserida, o efeito permanece praticamente o mesmo depois de um dia sideral em condições atmosféricas similares (ALVES et al, 2013). Estações em repouso (como no caso das estações de monitoramento contínuo), onde as características físicas do meio permanecem inalteradas, o multicaminho em dias consecutivos também deve permanecer inalterado, o que o torna de fácil detecção.

Outro indicativo da ocorrência de multicaminho referente a L1 e L2 é o índice MP1 e MP2, esses índices podem ser obtidos através do software TEQC (*Translate/Edit/Quality Check* - Transferência/ Edição/ Checagem de Qualidade).

Sendo assim, esta pesquisa tem por objetivo avaliar através dos índices de multicaminho MP1 e MP2 a existência e magnitude do multicaminho em estações de

referência da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo. Além disso, verificar quais eventos podem influenciar os valores obtidos por esses índices, como cintilação ionosférica.

## 2- MULTICAMINHO

Quando ocorre multicaminho, o sinal chega ao receptor por dois caminhos diferentes: um direto e um indireto que são refletidos em superfícies vizinhas a antena, tais como construções, carros, árvores, massa d'água, cercas e etc, como pode ser visto na Figura 1. Desta forma, os sinais recebidos no receptor podem ser composições do sinal direto como indiretos e apresentar distorções na fase da onda portadora e na modulação sobre ela (SOUZA, 2008; LEICK, 1995; MONICO 2008). Portanto, em muitas situações, as observáveis (fase da onda portadora e pseudodistância) são degradadas em razão do multicaminho, afetando diretamente a qualidade do posicionamento (MONICO, 2008).

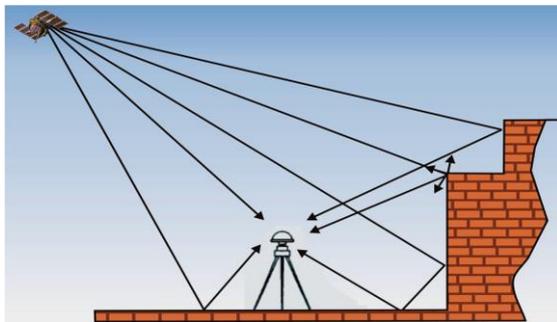


Figura 1- Ilustração da Ocorrência do Multicaminho  
Fonte: Adaptado de Monico, 2008

De acordo com Leick (1995) na observável fase o erro máximo pode chegar a aproximadamente um quarto do comprimento de onda, ou seja, 4,8 cm para a portadora L1. Já na pseudodistância a magnitude é maior, chegando na ordem dos metros, pois sua frequência é menor. Além disso, a frequência do multicaminhamento é proporcional à distância perpendicular entre a superfície refletora e a antena, e inversamente proporcional ao comprimento de onda, além de estar relacionado com o ângulo de elevação do satélite, pois satélites com baixo ângulo de elevação são mais suscetíveis ao fenômeno em questão (MONICO, 2008).

A modelagem do multicaminho é bastante complicada, pois tal efeito depende de diversos fatores, tais como: ângulo de elevação do satélite, refratividade do meio onde se posiciona a antena, características da antena, objeto refletor e técnicas utilizadas nos receptores para reduzir os sinais refletidos (SOUZA, 2008; MONICO2008). Existem algumas possibilidades de atenuação como, por exemplo, a utilização de antenas construídas com base na polarização do sinal (no qual GNSS é polarizado circularmente a direita), no entanto apenas parte do sinais polarizados a esquerda é atenuada, assim como, o uso de antenas especiais do tipo

*chocke ring* ou tecnologia *pinwheel*, e até mesmo métodos de processamento no receptor ou dados (SOUZA, 2008). Mas, ainda a melhor maneira seria tentar evitar tal efeito.

### 2. 1 – Indicadores MP1 e MP2

Os indicadores mais empregados para se avaliar o nível do multicaminho em estações GNSS são o MP1 e MP2. Esses índices podem ser obtidos através do software TEQC (*Translate/Edit/Quality Check*). Para obter a formulação matemática do MP1 e MP2, é realizada uma subtração entre as observáveis de fase ( $\phi$ ) e pseudodistância (PD).

Com isso, a menos dos resíduos, os termos referentes aos relógios, troposfera e órbita são eliminados, sobrando apenas os termos de ambiguidade, multicaminho e ionosfera. Posteriormente são realizadas simplificações e os índices são obtidos, como apresentados nas equações 1 e 2 (MONICO, 2008; ALVES et al, 2013)

$$MP1 = PD_{L1} - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right) \phi_{L1} + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) \phi_{L2} \quad (1)$$

$$MP2 = PD_{L2} - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right) \phi_{L1} + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right) \phi_{L2} \quad (2)$$

Onde:

MP1 e MP2 referem-se, respectivamente, ao multicaminho em L1 e L2;

$\alpha$  é dado por  $(f_{L1}/f_{L2})^2$ , sendo as frequências  $f_{L1}$  e  $f_{L2}$  em L1 e L2 respectivamente;

$PD_{L1}$  e  $PD_{L2}$  são as medidas simultâneas da pseudodistância nas portadoras L1 e L2;

$\phi_{L1}$  e  $\phi_{L2}$  são as medidas da fase para as portadoras L1 e L2.

Nota-se, com base nas equações apresentadas que os MPs só podem ser obtidos quando as observáveis pseudodistância e fase da onda portadora estão disponíveis, ou seja, só é possível obter esses valores empregando apenas um receptor geodésico de dupla frequência (ALVES et al, 2013; MONICO, 2008).

Vale ressaltar que se um valor do MP1 muda bruscamente, isso significa que houve um efeito acentuado de multicaminho em  $PD_{L1}$  ou ocorreu uma perda de ciclos, e uma das principais causas das perdas de ciclo é a ionosfera, mais caracterizada pela cintilação ionosférica. Além disso, mesmo considerando estações de referência com mínima presença de objetos refletores, os índices MP1 e MP2 nunca serão nulos (ALVES et al, 2013)

## 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram selecionadas as estações de monitoramento contínuo pertencentes a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) (destacadas em vermelho na Figura 2): POAL (Porto Alegre – RS) e MGIN (Inconfidentes –MG) e PPTTE (Presidente Prudente – SP), das quais apresentaram bons índices de acordo com relatório de controle de qualidade do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; IBGE, 2017).



Figura 2 - Estações da RBMC selecionadas para realizar os experimentos  
Fonte: IBGE, 2017

Vale ressaltar que o critério foi optar por diferentes regiões geográficas, para posteriormente relacionar com a ionosfera. Além disso, foram escolhidas estações nas proximidade das estações (POAL, INCO, PRU1) pertencentes a rede do projeto CIGALA (*Concept for Ionospheric Scintillation Mitigation for Professional GNSS in Latin America*), finalizado em 2012, e atualmente do projeto CALIBRA (*Countering GNSS high Accuracy applications Limitations due to Ionospheric disturbances in BRAzil*), para que a comparação do Índice de Cintilação S4, fosse possível, através da ferramenta de visualização *ISMR Query Tools*.

Foram empregados dados de 10 dias de Outubro (maior densidade de elétrons, sendo o mês de maior efeito ionosférico) e 10 dias Junho (menor densidade de elétrons, sendo o mês de menor efeito ionosférico) de 2014 (pico da atividade solar do ciclo 24), sendo do 16° ao 26° dia dos meses de estudo.

Posteriormente, foi utilizado o software TEQC para obter os arquivos \*.S, \*.MP1, \*.MP2, das estações selecionadas através do comando `teqc +qc`. O resultado contido nestes arquivos foram utilizados para análises da comparação dos índices de multicaminho com o efeito ionosférico, através de gráficos gerados no Gnuplot.

#### 4 – RESULTADOS E ANÁLISES

As Figura 3 e 4, e as Figuras 5 e 6 apresentam respectivamente, as séries temporais de MP1 e MP2 referente as três estações de estudo para o mês de junho e outubro.

Antes das análises, vale ressaltar que os valores de MP1 e MP2 da estação POAL não foram gerados devido ausência dos dados de observação no banco de dados do IBGE para o dia 23/10/2014.

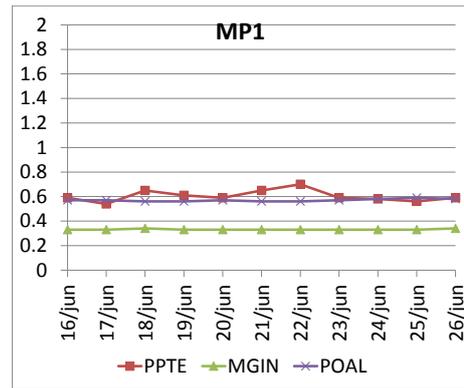


Figura 3 – Série temporal de junho do Índice MP1 das estações estudadas

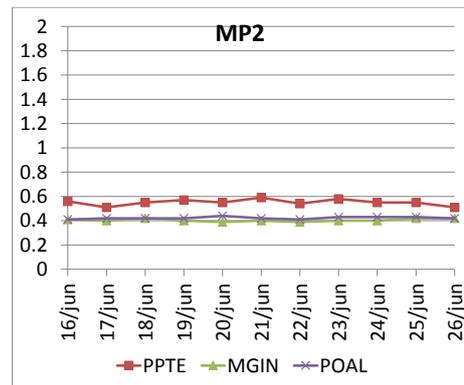


Figura 4 – Série temporal de junho do Índice MP2 das estações estudadas

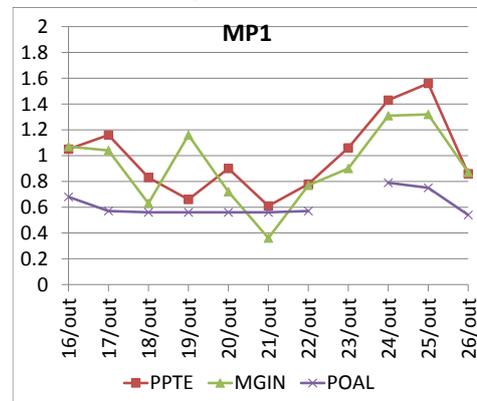


Figura 5 – Série temporal de outubro do Índice MP1 das estações estudadas

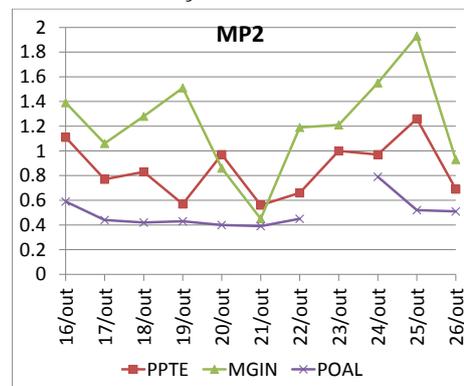


Figura 6 – Série temporal de outubro do Índice MP2 das estações estudadas

Com base nas Figuras 5 e 6 percebe-se que a magnitude do índice MP1 e MP2 se aproxima de 2m, principalmente para a estação MGIN, que possui os maiores valores, e além disso, apresenta valores similares a de PPTE. Ambas estações, como pode ser visto na Figura 2, estão localizadas na região de baixas latitudes (Equatorial), onde existe uma alta atividade da ionosfera, estando por exemplo, numa localização que normalmente sofre o efeito do pico da anomalia equatorial de ionização, ou seja, região do despejamento do plasma do efeito fonte. No que concerne à estação POAL (ao sul) responsável pelos menores valores, principalmente para MP2, mantém seus valores em torno de 0,40 m.

No entanto, vale ressaltar que esta disparidade entre as estações é menor em junho (Figuras 3 e 4). Em suma, no que concerne aos valores da discrepância entre os MP1 e MP2 da estação POAL e as outras duas, em junho esta discrepância atinge um máximo de 0,25m para MP1, enquanto, em outubro esta diferença atinge 1.4 m em MP2. Mas, verifica-se que em ambos os casos, os valores dos índices MPs de POAL são aproximadamente 50% menores.

Algo que também é notório, nas séries temporais das Figuras 5 e 6, é a variabilidade dos valores de MP, pois como se tratam de estações de referência, a expectativa é que essas séries permanecessem estáveis no decorrer do tempo, devido a repetibilidade do multicaminho. Mas, o que se vê, é que esse comportamento aparentemente estável só ocorre para a estação POAL.

Deste modo, pode relacionar esta variabilidade com os efeitos ionosféricos, pois a ionosfera pode não apenas degradar a acurácia do posicionamento como reduzir sua disponibilidade, pois existe uma alta dependência entre perdas do sinal e irregularidades ionosféricas, principal causa para a cintilação ionosférica. De acordo com Conker et al. (2003) quando o índice de cintilação S4 é maior que 0,707 os receptores podem perder quase ou totalmente o sinal transmitido pelos satélites.

Deste modo, correlacionando os resultados de MP1 e MP2 de Outubro (Figura 5 e 6) com a Figuras 7, referentes ao índice de cintilação S4 das estações PRU1, INCO e POAL, nota-se que a cintilação pode impactar nesse tipo de fenômeno, pois os dias que apresentaram menores valores do índice S4 (19 a 21 de outubro), correspondem os menores índices MP1 e MP2.

Em suma, o que se viu nas séries temporais foi um efeito sazonal acentuado para as estações de estudo, principalmente para aquelas situadas na região do Equador Geomagnético (PPTE e MGIN). Além disso, os menores valores de MP se concentram no mês de junho. Essa característica das séries apresenta alta correlação com o efeito ionosférico, em especial a cintilação ionosférica. Efeito esse que pode ocasionar perdas de ciclos, e consequentemente afetar os índices MP1 e MP2.

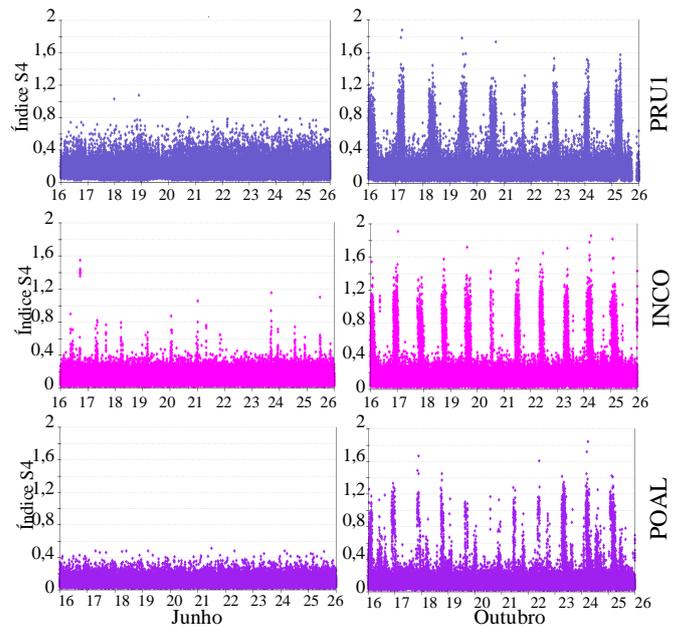


Figura 7 - Índice de Cintilação S4 para esta estação PRU1 (próxima da PPTE), INCO (próxima da MGIN), POAL (próxima da POAL) em Junho e Outubro  
Fonte: ISMR Query Tools (CIGALA/CALIBRA)

Por outro lado, a fim de obter melhores análises, foram verificados os MPs em diferentes horários do dia. Para tais fins, foi utilizado o arquivos \*.MP1 e \*.MP2, porém, esta análise foi restrita para um satélite e para o dia que obteve os maiores resultados. De acordo com os gráficos das figuras 4 à 6, os dias que obtiveram o maior resultados são 21 de junho e 25 de outubro, assim foi escolhido o satélite G02 e G03 para a análise diária. As Figuras 8 e 9 apresentam o resultado diário de MP1 e MP2, dos satélites de estudo.

No que concerne ao multicaminho relacionado ao ângulo de elevação, sabe-se que satélites com baixo ângulo de elevação são mais suscetíveis ao fenômeno em questão. Deste modo, ao relacionar os valores para MP1 e MP2 (Figuras 8 e 9) e o ângulo de elevação do satélite (Figura 10) verifica-se a coincidência dos altos valores dos índices nos períodos de baixa elevação.

No entanto, nota-se que embora o satélite G02 após o pôr do sol estava aproximadamente na vertical, são observados os maiores valores do índice neste período, este efeito é notado principalmente na estação PPTE. Como sabe-se, no Brasil, os horários de cintilação mais intensos são limitados à uma hora após o pôr do Sol até, aproximadamente, à meia noite local. Dessa forma, comprometem-se os resultados desses períodos.

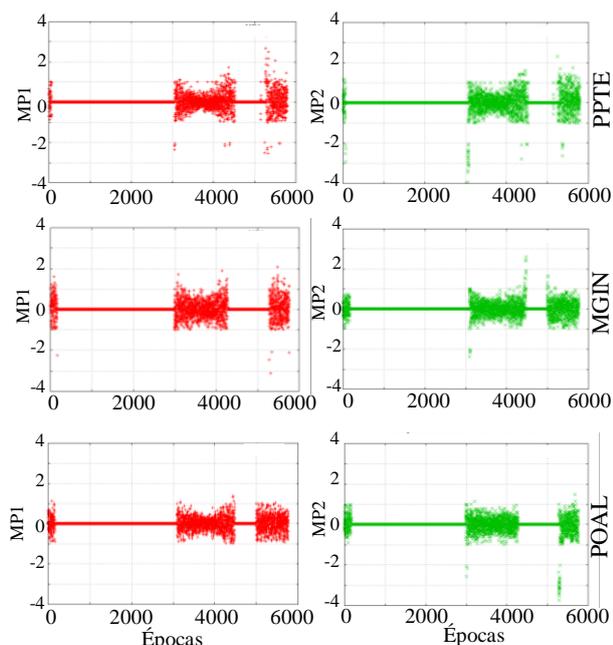


Figura 8 – MP1 (a) e MP2 (b) diário (G03) das estações de estudo em Junho

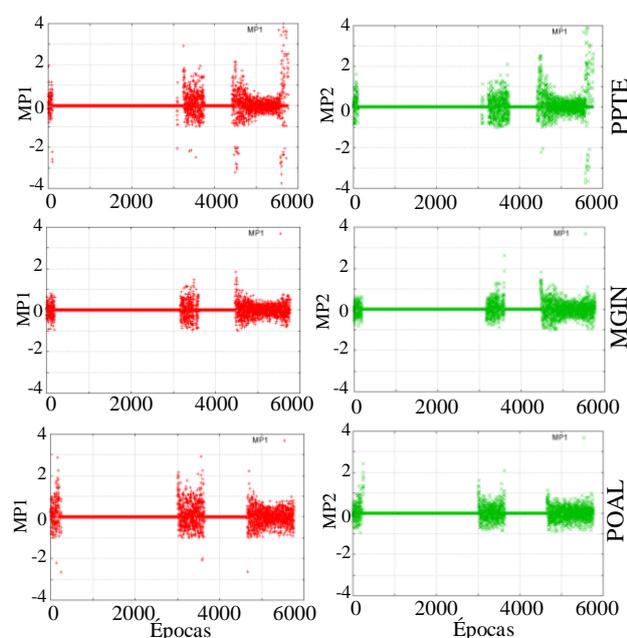


Figura 9 – MP1 (a) e MP2 (b) diário (G02) das estações de estudo em Outubro

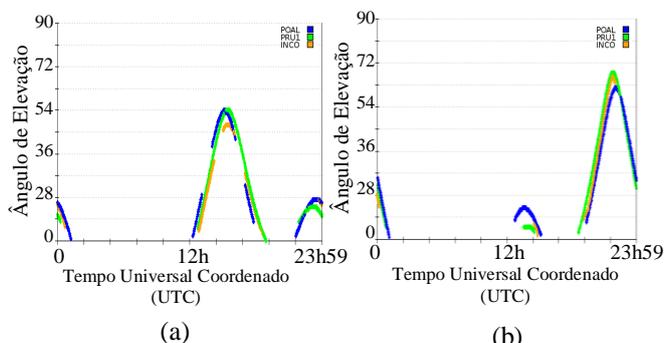


Figura 10 – Ângulo de elevação do Satélite G03 (a) e G02 (b)

Uma outra análise, que merece mais investigação, é a relação dos satélites mais antigos e os índices, pois satélites mais antigos, normalmente, apresentam maior perda de ciclo, e conseqüentemente, maiores valores de MP1 e MP2.

## 5 – CONCLUSÃO

Com base nas análises realizadas foi possível perceber que diferentes estações possuem magnitudes de MP1 e MP2 bastante distintas. Uma das causas dessa diferença deve-se aos efeitos e irregularidades ionosféricas, pois foi possível notar nas séries temporais a sazonalidade das estações PPTE e MGIN. Pois, como os índices de MP são altamente correlacionados com perda de ciclos, e se sabe que os efeitos da ionosfera, em especial da cintilação ionosférica, podem ocasionar essas perdas, essa sazonalidade, provavelmente se deve a tal efeito.

Vale ressaltar, que por se tratar de estações de referência, o esperado é que o efeito do multicaminho se mantivesse estável no decorrer do tempo. No entanto, este comportamento só é notável nas estações estudadas no mês de baixa densidade de elétrons (Junho), porém em contrapartida, em outubro apresenta variações dos valores nas estações PPTE e MGIN, enquanto POAL, mesmo em período de máxima densidade de elétrons é mais estável.

Deste modo, é possível destacar a influência da localização, pois regiões equatoriais (MGIN e PPTE) são altamente densificadas eletromagneticamente, além disso, vários fenômenos ocorrem nessa região como anomalia equatorial e cintilação ionosférica, ao contrário da região de médias latitudes (POAL) que são consideradas relativamente livres destes fenômenos.

## REFERÊNCIAS

Alves, D. B. M; Souza, E. M; Kaneshiro, V. Y; Souza, J. S. Análise de Séries Temporais de Multicaminho em Estações de Monitoramento Contínuo, 2013, BCG - Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line version, ISSN 1982-2170.

Conker; R. S.; El-Arini, M. B.; Hegarty, C. J.; Hsiao, T. Modeling the Effects of Ionospheric Scintillation on GPS/Satellite-Based Augmentation System Availability. Radio Science, v. 38, 2003.

Leick, A. GPS – Satellite Surveying. 2.ed. John Wiley & Sons, 1995. 560p.

Monico, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

Souza, E. M. Análise de Wavelets para Detecção e Correção do Multicaminho no Posicionamento Relativo GNSS Estático e Cinemático, 2008. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.