

Influência do multicaminhamento de sinais dos satélites GNSS e do tempo de rastreo na precisão do PPP para vértices de limites da NTGIR

George Nascimento Carvalho¹

Luiz Guimarães Barbosa²

Rosane Maciel de Araújo Vargas³

Tiago Lima Rodrigues⁴

Resumo

Com o avanço das tecnologias na área de posicionamento terrestre, aumentam as expectativas em contribuir para a regularização fundiária no país. Esta atividade é importante para o desenvolvimento da nação. Manter atualizada a documentação e determinar precisamente a quem pertence o imóvel é um desafio. Nos últimos anos, as técnicas de levantamento têm evoluído significativamente com relação aos métodos de Posicionamento GNSS (Global Navigation Satellite System). A partir da segunda edição da Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA (NTGIR), o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) passou a ser aceito como método de processamento de dados GNSS. Neste trabalho foram avaliados os efeitos do multicaminhamento e do tempo de rastreo para a determinação de pontos de limites da NTGIR utilizando o método PPP. Os resultados foram avaliados com base nos indicadores MP1 e MP2 e nos gráficos de PDOP e foram, em sua maioria, adequados à precisão dessa norma. Foi observado que a maior influência do efeito do multicaminhamento ocorre na portadora L2. Ressalta-se que, apesar deste fato, é importante utilizar receptores de dupla frequência para a coleta dos dados para o PPP para que os efeitos de primeira ordem da ionosfera sejam modelados. Recomendam-se para trabalhos futuros mais avaliações do efeito do multicaminhamento em ambientes onde os sinais dos satélites não alcançam diretamente o receptor e que apresentem superfícies refletoras ou bloqueadoras dos sinais e a construção de mapas de obstruções e testes estatísticos para que seja analisada também a acurácia dos pontos.

Palavras-chave: GNSS. Georreferenciamento. Multicaminhamento. Precisão posicional.

Introdução

Com o avanço das tecnologias associadas à área de posicionamento sobre a superfície terrestre, aumentam as expectativas de contribuir para a regularização fundiária no país de forma mais ágil e eficiente. A regularização fundiária é de suma importância para o desenvolvimento de qualquer nação. Com o intuito de aprimorar ainda mais a certificação dos Imóveis Rurais no Brasil foi incorporado o uso do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) como método de processamento de dados GNSS (Global Navigation Satellite System) pela Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais (NTGIR). Esta Norma é aplicada à Lei 10.267, de 28/08/2001 e ao Decreto 4.449, de 30/10/2002. A aceitação do PPP pela NTGIR ocorreu a partir da sua segunda edição. Esta norma, atualmente em

1 Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, graduado em Engenharia de Agrimensura. george_vw@hotmail.com. BR 465, Km 07, Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, *Campus* Universitário, Seropédica (RJ), CEP 23890-000.

2 Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, professor pesquisador. luizgbarbosa@gmail.com.

3 Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, professor pesquisador. rosvargas@ufrj.br.

4 Universidade Federal do Paraná, professor pesquisador. engtlrodrigues@yahoo.com.br.

sua terceira edição, continua a recomendar o uso deste método de posicionamento. Sendo assim, os profissionais atuantes na área têm mais uma ferramenta para a solução desse problema. Ressalta-se que no trabalho realizado, apresentado neste artigo, foi utilizada a terceira edição da NTGIR.

A principal vantagem apresentada no uso do PPP consiste na utilização de apenas um receptor GNSS, ao invés de um par, como ocorre nas técnicas de posicionamento relativo. Em termos de qualidade no posicionamento, o PPP potencialmente apresenta melhores precisões e acurácias do que o Posicionamento por Ponto Simples (PPS), uma vez que, além de utilizar as observáveis das fases das ondas portadoras e utilizar dados das efemérides precisas, ainda há a modelagem da maioria dos erros sistemáticos presentes nas observações (ZUMBERGE et al., 1997). Como exemplo, podem-se citar os deslocamentos dos centros de fase das antenas do receptor e do satélite, a refração troposférica e a ionosférica, a fase *Wind-up*, o efeito da relatividade, a rotação da Terra, as marés terrestres e a carga oceânica (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2008).

Atualmente diversos aplicativos estão disponíveis para o processamento dos dados de rastreio a partir do PPP. Uma das opções de processamento é o serviço disponibilizado gratuitamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em seu site. A gratuidade, a facilidade e a confiabilidade deste serviço fazem com que ele seja o mais utilizado atualmente, sendo indicado inclusive pela NTGIR para o processamento. Além disso, o IBGE-PPP fornece as coordenadas em SIRGAS 2000 (época 2000,4).

De acordo com a NTGIR, o PPP pode ser usado para a determinação de coordenadas dos vértices de apoio e de vértices de limites. No entanto, para que o resultado seja aceito, é necessário que a precisão posicional absoluta, referente à resultante planimétrica (horizontal) obtida por meio do desvio padrão da latitude e da longitude esteja de acordo com o padrão de precisão estabelecido pela NTGIR (3ª edição, item 4.4). Este padrão é variável de acordo com o tipo de ponto. Localizando-se este ponto em um limite artificial, a precisão deve ser melhor ou igual a 0,50 m; quando situado em limite natural, a precisão deve ser melhor ou igual a 3,00 m e quando estiver em local inacessível, a precisão deve ser melhor ou igual a 7,50 m.

Considerando a necessidade de atender aos padrões de precisão estabelecidos pela NTGIR para o PPP, é importante que seja feita a modelagem de todos os erros sistemáticos envolvidos, como de fato ocorre no processamento a partir do serviço oferecido pelo IBGE em seu site. Um erro não passível de ser modelado no processamento e que afeta diretamente a qualidade dos resultados é o efeito do multicaminhamento. Este efeito é unicamente dependente das condições do entorno do ponto rastreado. No georreferenciamento de imóveis rurais, por diversas vezes, há a necessidade de rastreios em lugares propensos à ocorrência de multicaminhamento, seja pela presença de árvores, seja pela existência de relevos residuais. Dessa forma, torna-se viável a investigação deste efeito e, também, do tempo de rastreio para se obter precisão posicional estabelecida pela NTGIR. Diante do exposto, este trabalho objetivou realizar um estudo sobre a influência do multicaminhamento e do tempo de rastreio na precisão do PPP para atendimento da NTGIR.

Revisão bibliográfica

Posicionamento por Ponto Preciso - PPP

O método de posicionamento absoluto, também designado posicionamento por ponto, consiste na determinação de coordenadas tridimensionais utilizando um receptor isolado realizando medições de pseudodistâncias baseadas em observações de código ou de fase das portadoras (HOFMANN-

-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2008). O resultado é um conjunto de coordenadas que têm seu referencial vinculado ao sistema utilizado: WGS 84 G1762 para o GPS ou PZ-90.11 para o GLONASS (NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY - NGA, 2014).

No contexto do posicionamento absoluto ou por ponto tem-se o Posicionamento por Ponto Simples (PPS) e o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). No PPS a observável utilizada é a pseudodistância, sendo possível incluir a fase da onda portadora, situação não muito usual, por não trazer melhoria. Neste método os principais erros que o afetam estão relacionados com a qualidade da observável utilizada e a acurácia dos parâmetros transmitidos nas mensagens de navegação (efemérides e coeficientes do erro do relógio do satélite). Acrescenta-se a esses erros aqueles advindos da refração troposférica e ionosférica, multicaminhamento do sinal, entre outros, os quais são desconsiderados no modelo matemático funcional.

No método PPP a observável utilizada é a pseudodistância com possibilidade de utilização da fase da onda portadora ou ambas simultaneamente. A diferença em relação ao método anterior é que as componentes das posições dos satélites e os erros dos relógios desses satélites são obtidos a partir das efemérides precisas, sejam rápidas, ultrarrápidas ou finais (SEEBER, 2003), estando as coordenadas referenciadas ao Sistema de Referência Terrestre IGB08. Outra diferença é que todos os erros sistemáticos envolvidos no processo de coleta das observações devem ser corrigidos a partir de modelagem matemática ou serem estimados no ajustamento durante o processamento dos dados (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2008). No modelo matemático funcional são adicionados termos referentes às correções tais como atraso das portadoras no hardware do satélite, deslocamento do centro de massa para o centro de fase da antena transmissora do satélite, variação do centro de fase da antena transmissora do satélite, influência da rotação da Terra nos sinais GNSS, refração troposférica e ionosférica, variação do centro de fase da antena do receptor, atraso das portadoras no hardware do receptor, fase *Wind-up*, marés terrestres e carga oceânica (MONICO, 2008). Cabe ressaltar que para a correção da refração troposférica pode-se adicionar um termo residual da refração, o qual será estimado no ajustamento. Outro ponto a se destacar é que quando equipamentos de dupla frequência (L1, L2) são utilizados, a observável combinada livre de ionosfera (ion-free) L_0 é utilizada para suprimir os efeitos de primeira ordem da refração ionosférica.

De acordo com Leick (2004), com o uso de equipamento monofrequência (L1), é possível alcançar acurácias centimétricas, desde que se colem observações por longo período. Ainda segundo o mesmo autor, com o uso de equipamentos de dupla frequência (L1, L2) utilizando as observáveis pseudodistância e fase da portadora livres de ionosfera (PD_{L_0} e ϕ_{L_0}) combinadas, obtêm-se acurácias sub-decimétricas. De uma forma geral, a qualidade do posicionamento aumenta à medida que se colem observações por mais tempo em campo (ZUMBERGE et al., 1997; KLEIN; MATSUOKA; SOUZA, 2010; PERDIGÃO; SANTOS, 2010).

Hoje em dia existem diversos aplicativos gratuitos para processamento do PPP no formato on-line ou off-line. Alguns exemplos de formatos on-line são os aplicativos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Jet Propulsion Laboratory (JPL), da Universidade de New Brunswick, denominado GPS Analysis and Positioning Software (GAPS) e da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), denominado RT_PPP. Como exemplo de formato off-line podem-se citar os aplicativos científicos RTKLIB, GLAB, GIPSY-OASIS e Bernese GPS software. Cabe ressaltar que apenas o aplicativo do IBGE realiza ao fim do processamento a transformação de coordenadas do Sistema de Referência Terrestre IGB08 para o SIRGAS 2000. Além disso, este aplicativo permite

proceder a atualização ou a redução das coordenadas da época da coleta dos dados para a época (2000,4) adotada para as coordenadas do SIRGAS2000.

Efeitos do multicaminhamento

Multicaminhamento é um fenômeno pelo qual o sinal proveniente da antena transmissora dos satélites alcança a antena do receptor depois de refletir em algumas superfícies próximas a ela. Os sinais refletidos são dependentes das condições do ambiente do entorno da antena receptora e da posição do satélite no momento da observação, o que torna o efeito do multicaminhamento de difícil determinação. Há ainda que se considerar que a superfície refletora é geralmente estática com relação ao receptor, no entanto, o satélite se move com o tempo, fazendo com que o multicaminhamento tenha seus efeitos variáveis no tempo.

De acordo com Leick (2004), o multicaminhamento distorce não só os códigos, mas também as fases das ondas portadoras. Porém, embora os comportamentos sejam similares, a magnitude do multicaminhamento no código é quatro vezes maior que na fase (LEICK, 2004). De uma forma geral, quanto maior a frequência, menor será o erro máximo devido ao multicaminhamento. Ainda segundo Leick (2004), o erro máximo do multicaminhamento corresponde a aproximadamente $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda dos sinais. Cabe ressaltar que existem no mercado algumas antenas que apresentam padrões que permitem a atenuação dos sinais refletidos abaixo da linha do horizonte, como as antenas *choke-rings*. No entanto, os sinais refletidos podem chegar à antena com ângulos de elevação acima da linha do horizonte. Assim sendo, é sempre recomendada a realização do rastreo longe de locais favoráveis ao efeito, sendo que nem sempre isso é possível.

Os erros do multicaminhamento podem ser estimados por meio de uma combinação das medições da fase da portadora e do código. As equações de pseudodistância e fase da onda portadora, em metros, na frequência L1, são (SEEBER, 2003; HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2008):

$$PD_{L1} = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + d_{orb} + I_{PD_{L1}} + T + B + b + MP_{PD_{L1}} + \varepsilon_{PD_{L1}} + v_{PD_{L1}}, \quad (1)$$

$$\lambda_{L1}\Phi_{L1} = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + \lambda_{L1}N_{L1} + d_{orb} - I_{\Phi_{L1}} + T + B + b + MP_{\Phi_{L1}} + \varepsilon_{\Phi_{L1}} + v_{\Phi_{L1}}, \quad (2)$$

em que PD_{L1} é a pseudodistância na portadora L1 em metros; ρ_r^s é a distância geométrica satélite-receptor; c é o módulo da velocidade da luz no vácuo; dt_r e dt^s são os erros dos relógios do receptor e dos satélites; d_{orb} é o erro de órbita de um determinado satélite; $I_{\rho_{L1}}$ e $I_{\Phi_{L1}}$ são os erros devido ao atraso ionosférico; T é o erro devido ao atraso troposférico, b e B são, respectivamente, os atrasos de *hardware* do satélite e do receptor; $MP_{\rho_{L1}}$ e $MP_{\Phi_{L1}}$ são os erros do multicaminhamento; $\varepsilon_{\rho_{L1}}$ e $\varepsilon_{\Phi_{L1}}$ são os ruídos, em metros; $\lambda_{L1}N_{L1}$ refere-se à ambiguidade da fase na L1 em metros e $v_{PD_{L1}}$ e $v_{\Phi_{L1}}$ representam os erros aleatórios e demais erros sistemáticos, como deslocamento de centro de fase da antena, marés terrestres, carga oceânica e fase *windup* (no caso de $v_{\Phi_{L1}}$). Os termos subscritos com PD são devidos à pseudodistância e os termos subscritos com Φ correspondem à fase. Cabe ressaltar que dentro de dt^s são levados em consideração os erros remanescentes do efeito de relatividade nos relógios dos satélites.

Na dedução dois pontos devem ser levados em consideração: o primeiro, em concordância com o mencionado no parágrafo anterior, $MP_{\Phi_{L1}} + \varepsilon_{\Phi_{L1}}$ são assumidos como valores muito baixos e podem ser negligenciáveis nas medições da fase, assim como o erro de fase *windup*. O segundo refere-se aos erros de troposfera, de relógios, de órbitas, de atrasos de *hardware*, remanescentes de relatividade, de deslocamento de centro de fase da antena, de marés terrestres e de carga oceânica, que indepen-

dem da frequência, influenciando as observáveis de código e fase da mesma forma. Por outro lado, os erros de atraso ionosférico e multicaminhamento dependem da frequência. Desta forma, utilizando receptores de dupla frequência e formando diferenças entre as equações de fase e pseudodistância, todos os efeitos são cancelados exceto os de atraso ionosférico, de multicaminhamento e os de ruídos. Tem-se então (YEDUKONDALU et al., 2011):

$$PD_{L1} - \lambda_{L1}\Phi_{L1} - \lambda_{L1}N_{L1} \cong 2I_{PD_{L1}} + MP_{PD_{L1}} + \varepsilon_{PD_{L1}}, \quad (3)$$

ou ainda:

$$MP_{PD_{L1}} + \varepsilon_{PD_{L1}} \cong PD_{L1} - \lambda_{L1}\Phi_{L1} - \lambda_{L1}N_{L1} - 2I_{PD_{L1}}. \quad (4)$$

De acordo com Misra e Enge (2006) apud Yedukondalu et al., (2011), utilizando um receptor de dupla frequência, o atraso da ionosfera na pseudodistância em L1 pode ser estimado por:

$$I_{PD_{L1}} = \frac{f_{L2}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} (\Phi_{L1} - \Phi_{L2}), \quad (5)$$

onde f_1 e f_2 são as frequências das portadoras L1 e L2, respectivamente. Substituindo a Equação (5) na Equação (4) obtém-se que o multicaminhamento na pseudodistância em L1 junto com as medições de ruído podem ser detectados e quantificados utilizando um receptor de monofrequência por:

$$MP_{PD_{L1}} \cong PD_{L1} - \frac{f_{L2}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} (\Phi_{L1}) + \frac{2f_{L2}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} (\Phi_{L2}) - K_{L1}, \quad (6)$$

em que K_{L1} representa o agrupamento da ambiguidade da fase da L1 em metros com o ruído $\varepsilon_{PD_{L1}}$. Da mesma maneira, para a portadora L2 tem-se:

$$MP_{PD_{L2}} \cong PD_{L2} - \frac{2f_{L1}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} (\Phi_{L1}) + \frac{f_{L1}^2 + f_{L2}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} (\Phi_{L2}) - K_{L2}, \quad (7)$$

com K_{L2} sendo o agrupamento da ambiguidade da fase da L2, em metros, com o ruído $\varepsilon_{PD_{L2}}$. Por simplicidade, neste texto, a partir do item 3, o termo $MP_{PD_{L1}}$ será indicado por MP1 e $MP_{PD_{L2}}$ por MP2.

Métodos e materiais

A área de estudo está situada no *Campus* da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no município de Seropédica (RJ). Foram selecionados dezesseis pontos para as observações, situados em locais com diferentes condições de recepção de sinal dos satélites. A Figura 1 apresenta estes pontos distribuídos ao longo da área de estudo.

Figura 1. Área de estudo - Campus Universitário UFRRJ



Fonte: Elaborada pelos autores (2016)

Os locais dos pontos variaram entre áreas com horizonte desobstruído, como campo de futebol, até locais de mata fechada. A Tabela 1 apresenta a descrição dos pontos com relação às características do seu entorno e a codificação utilizada neste trabalho.

Tabela 1. Características e localização dos pontos

Codificação	Localização	Característica do entorno
BA1	base de aferição	aberto
BA2	base de aferição	aberto
BA3	base de aferição	aberto
BA4	base de aferição	parcialmente aberto
BA5	base de aferição	aberto
BA6	base de aferição	aberto
BA7	base de aferição	aberto
BA8	base de aferição	parcialmente aberto
P1	frente do prédio principal (p1)	aberto
FIT	frente do instituto de tecnologia (it)	aberto
CIT	ao lado da cantina do it	parcialmente aberto
DIT	dentro do it	parcialmente aberto
LIT	laje do it	aberto
EIT	estacionamento do it	totalmente fechado
EEF	eucaliptal da educação física	totalmente fechado
EPIT	palmeiras da esquina do pat-it	totalmente fechado

Fonte: Elaborada pelos autores (2016)

O trabalho foi dividido em três grupos de experimentos que se diferenciaram em tempo de rastreamento, sendo 20, 40 e 60 minutos, respectivamente, para os grupos 1, 2 e 3.

As observações aos pontos ocorreram entre os meses de junho e agosto de 2013. O receptor GNSS foi configurado para coletar os dados no sistema de referência WGS-84, com ângulo de elevação de 10 graus e intervalo de gravação de 5 segundos. No processamento dos dados foram utilizados os dados mais precisos disponibilizados pelo IGS, ou seja, as efemérides finais. Porém, conforme mencionado anteriormente, o aplicativo PPP do IBGE entrega as coordenadas finais em SIRGAS 2000 época 2000,4, sendo uma particularidade deste serviço.

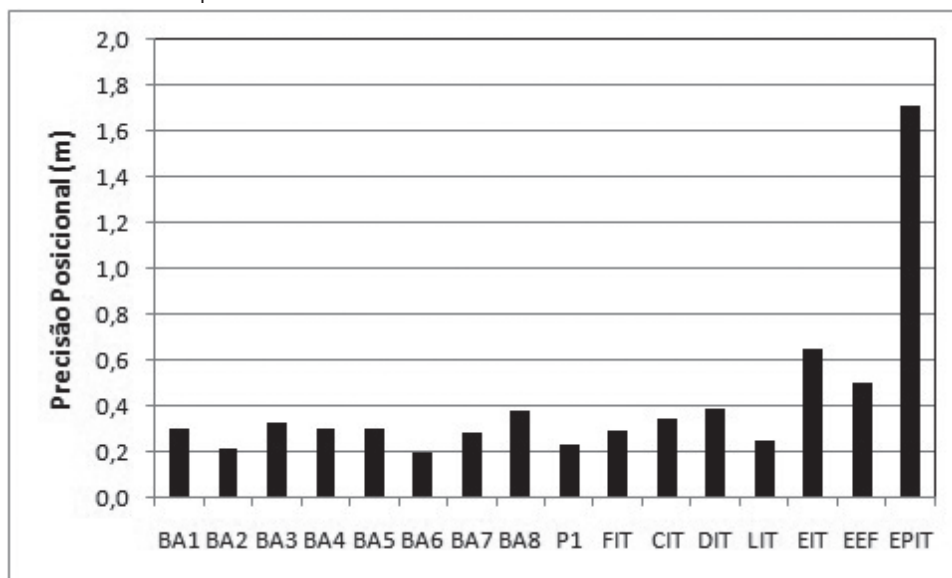
Nos arquivos com os dados brutos foram feitas a conversão para o formato RINEX por meio do software GNSS Solution. Houve a necessidade de esperar 13 dias após o levantamento para a obtenção das efemérides precisas finais. Após, esses arquivos foram enviados para o endereço eletrônico do IBGE para processamento.

Os dados de campo foram obtidos por um receptor GNSS Promark 200 L1/L2 e foi empregado o aplicativo GNSS Solutions para as conversões dos dados brutos em RINEX. Para a obtenção de MP1 e MP2 e para a construção dos gráficos das mesmas quantidades, foi utilizado o aplicativo RTKLIB versão 2.4.2. Para o processamento do PPP foi utilizado o programa on-line do IBGE.

Resultados e discussão

A precisão posicional oriunda da resultante das incertezas das componentes latitude e longitude dos pontos foi obtida segundo a NTGIR e comparada com a precisão posicional de 0,50 m para vértices de limites artificiais. Os resultados são apresentados com duas casas decimais, concordando com o padrão de precisão de 0,50 m. Para o grupo 1, os resultados variaram de 0,07 m a 1,53 m para a latitude e de 0,18 m a 0,82 m para a longitude. A Figura 2 ilustra os resultados para cada um dos 16 pontos.

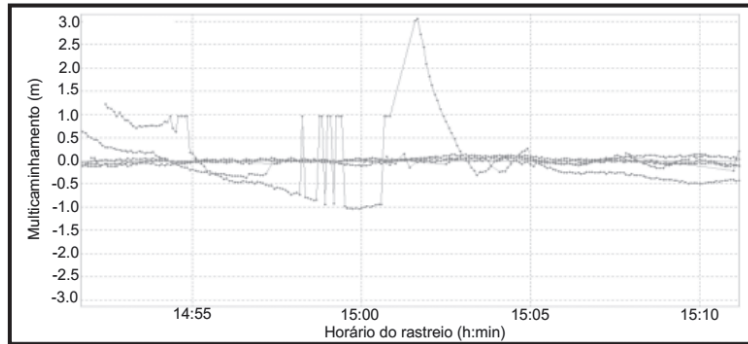
Figura 2. Precisão Posicional para rastreamento de 20 minutos



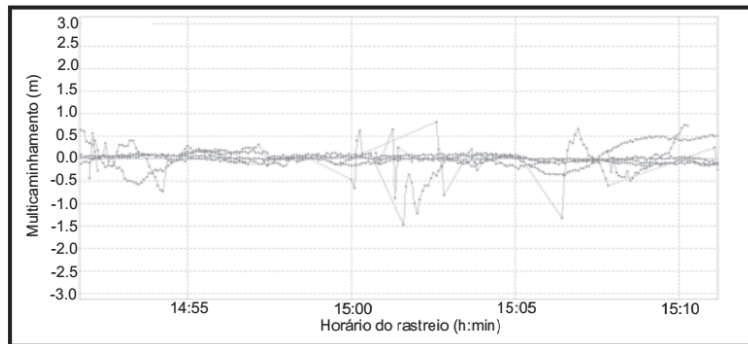
Fonte: Elaborada pelos autores (2016)

O nível de influência do multicaminhamento na precisão posicional dos pontos foi analisado a partir dos gráficos de MP1 e MP2 obtidos com base no emprego do módulo RTKPLOT do software RTKLIB. A Figura 3 apresenta os gráficos de MP1 e MP2 para os pontos EPIT e CIT.

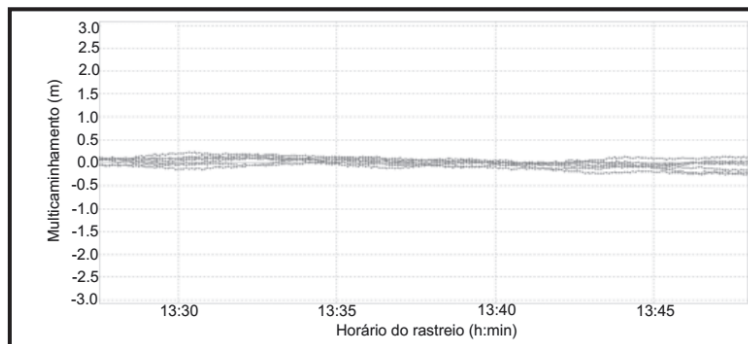
Figura 3. Rastreo de 20 minutos - MP1 (a) e MP2 (b) do ponto EPIT e MP1 (c) e MP2 (d) do ponto CIT



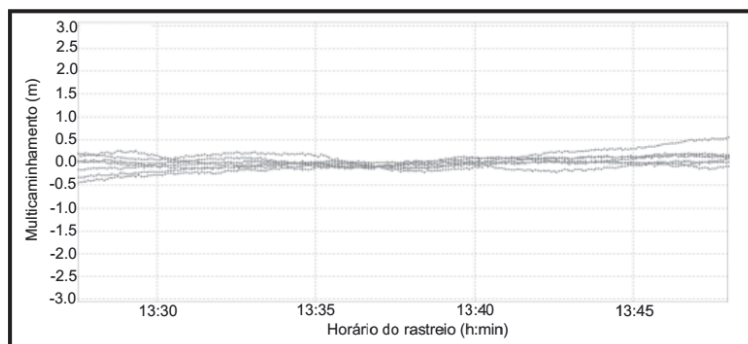
(a)



(b)



(c)



(d)

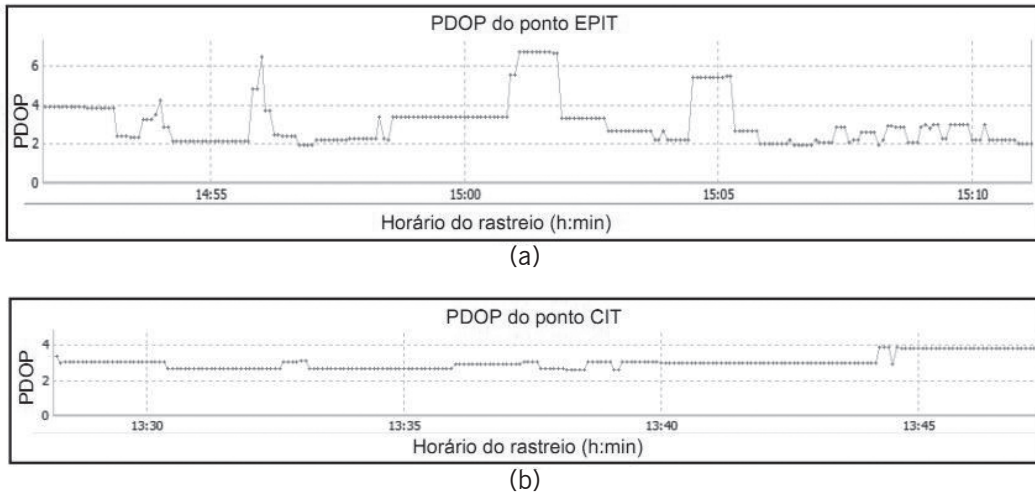
Fonte: Elaborada pelos autores (2016)

Comparando os gráficos da Figura 3 percebe-se uma considerável dispersão do multicaminhamento ocorrido para o ponto EPIT e que essa dispersão é mais acentuada na portadora L2 do que na

L1, neste caso, tanto para o ponto EPIT quanto para o CIT. Essa maior dispersão em MP2 do que em MP1 já era esperada de acordo com o método de acesso à portadora L2 a partir do código W.

Na Figura 4 são apresentados os gráficos da variação do PDOP, também gerados no RTKPLOT, durante o tempo de rastreamento de 20 minutos para os pontos EPIT e CIT.

Figura 4. Rastreamento de 20 minutos - PDOP EPIT (a) e PDOP CIT (b)

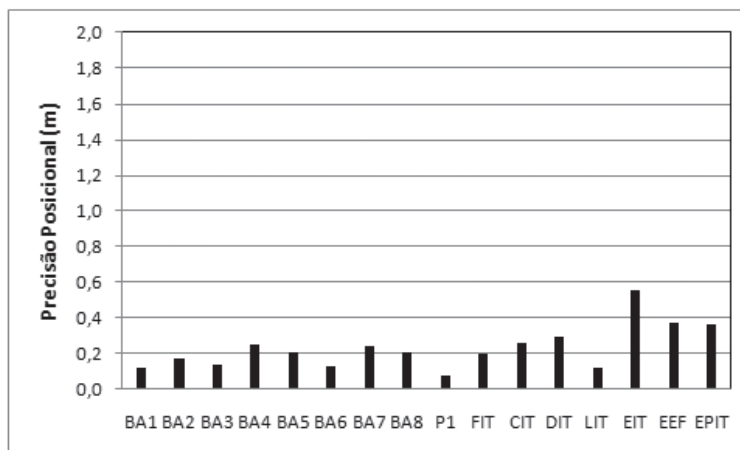


Fonte: Elaborada pelos autores (2016)

É possível observar na Figura 4 que no rastreamento do ponto EPIT, o PDOP alcança valores maiores que 6, extrapolando o limite exigido pela NTGIR. Este aumento foi relacionado com a diminuição do número de satélites visíveis que em conjunto com os efeitos do multicaminhamento podem ter contribuído para a baixa precisão do ponto EPIT. Observa-se que, para o ponto CIT, o PDOP apresentou-se abaixo de 4, ficando dentro do limite estabelecido por esta norma.

Para o grupo de experimento 2, os resultados com relação à precisão das coordenadas dos pontos variaram de 0,03 m a 0,31 m para a latitude e de 0,06 m a 0,45 m para a longitude. Na Figura 5 é apresentado o gráfico indicando a precisão posicional de cada ponto. Observa-se que somente o ponto EIT não apresentou a precisão abaixo do permitido pela NTGIR para limites artificiais.

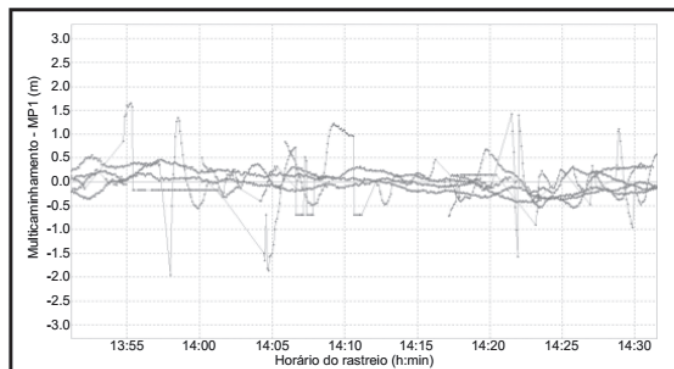
Figura 5. Precisão posicional para rastreamento de 40 minutos



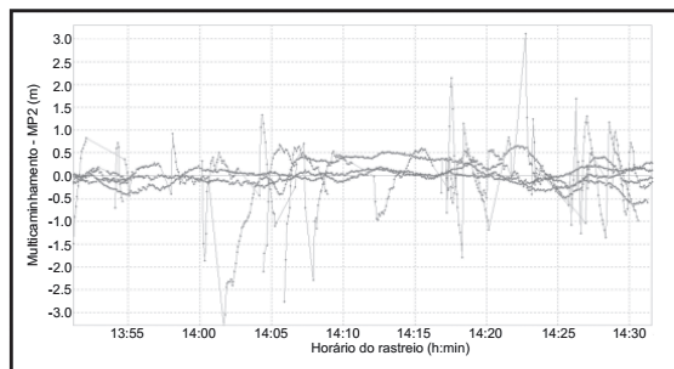
Fonte: Elaborada pelos autores (2016)

Na Figura 6 são apresentados os gráficos de MP1 e MP2 para os pontos EIT e DIT. Este último apresentou precisão posicional abaixo do limite da NTGIR.

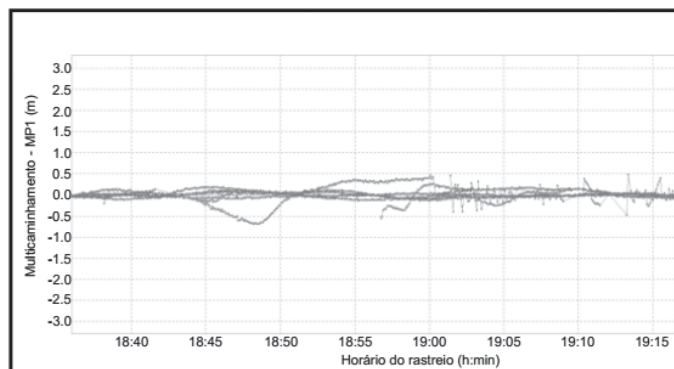
Figura 6. Rastreo de 40 minutos: MP1 (a) e MP2 (b) do ponto EIT e MP1 (c) e MP2 (d) do ponto DIT



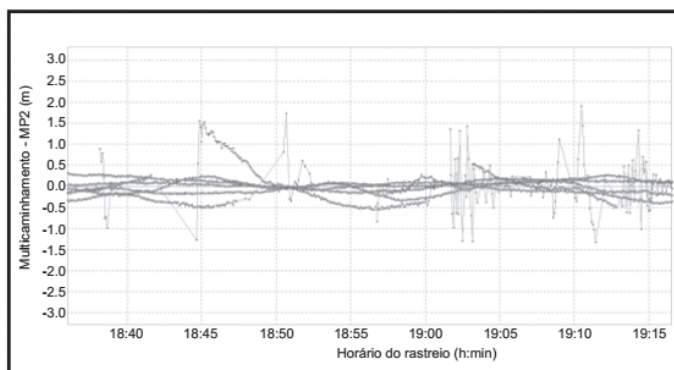
(a)



(b)



(c)



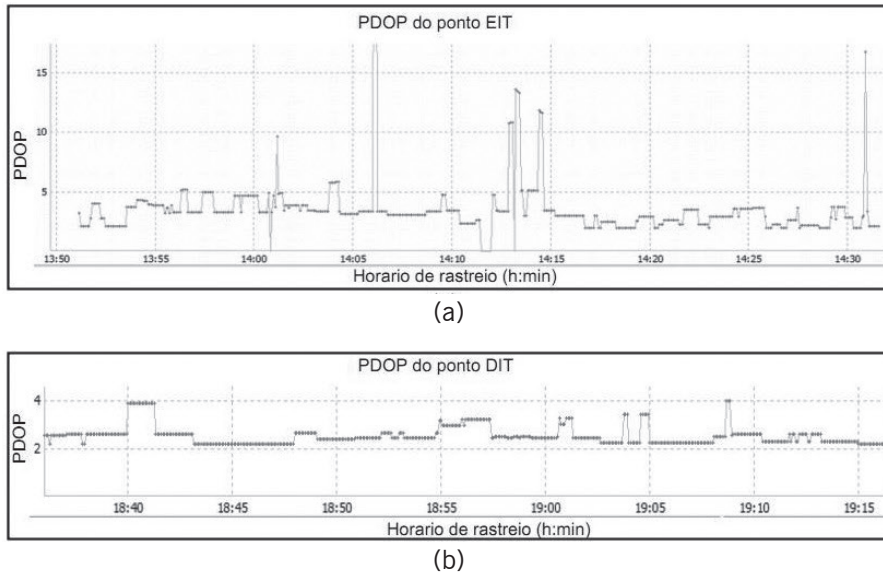
(d)

Fonte: Elaborada pelos autores (2016)

Observa-se que os valores do multicaminhamento, tanto na portadora L1 quanto na portadora L2, foram consideravelmente dispersos. Em termos de magnitude, o ponto EIT apresentou na portadora L1 valores de +1,7 m até -2,0 m; enquanto que na portadora L2 variou de aproximadamente +3,2 m até -3,5 m. Apesar do alto índice de multicaminhamento nas duas situações, nota-se que na portadora L2 esse efeito ainda é mais acentuado.

Com relação ao PDOP, observa-se no gráfico da Figura 7 que o ponto EIT diversas vezes teve picos no qual ficou fora do limite estipulado pela NTGIR, enquanto que o ponto DIT manteve o PDOP sempre abaixo desse limite.

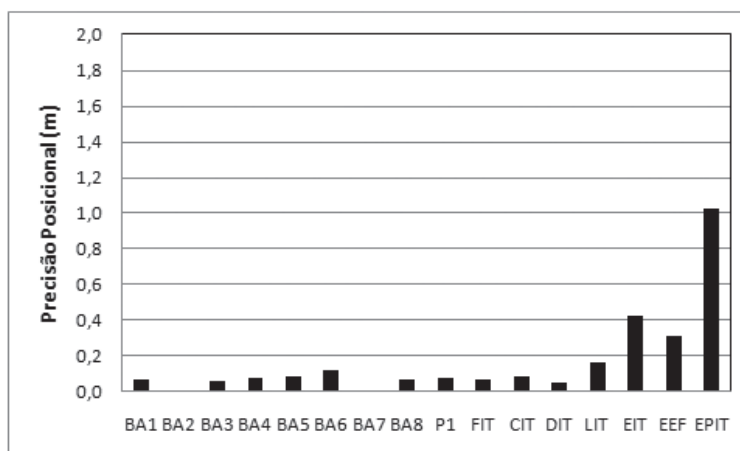
Figura 7. Rastreo de 40 minutos - PDOP EIT (a) e PDOP DIT (b)



Fonte: Elaborada pelos autores (2016)

Para o grupo do experimento 3, os resultados com relação à precisão das coordenadas dos pontos variaram de 0,02 m a 0,77 m para a latitude e de 0,04 m a 0,67 m para a longitude, desconsiderando os pontos BA2 e BA7 que tiveram problema no processamento. Na Figura 8 é apresentado o gráfico indicando a precisão posicional de cada ponto. Observa-se que somente o ponto EPIT não apresentou precisão dentro do permitido pela NTGIR. Ressalta-se que este ponto foi o menos preciso no grupo de experimento 1, no rastreo de 20 minutos.

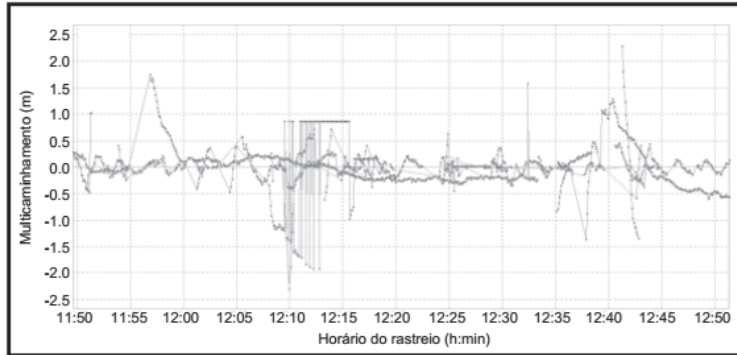
Figura 8. Precisão posicional para rastreo de 60 minutos



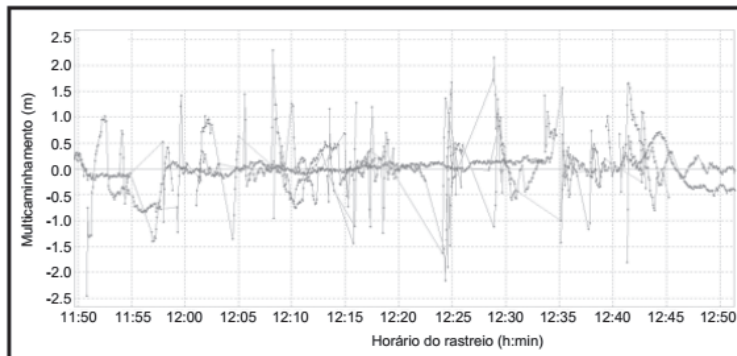
Fonte: Elaborada pelos autores (2016)

Na Figura 9 são apresentados os gráficos de MP1 e MP2 para os pontos EPIT e FIT. Este último obteve precisão posicional abaixo do limite da NTGIR.

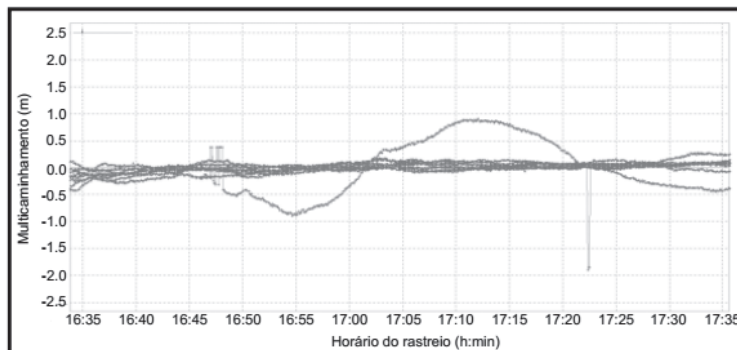
Figura 9. Rastreo de 60 minutos - MP1 (a) e MP2 (b) do ponto EPIT e MP1 (c) e MP2 (d) do ponto FIT



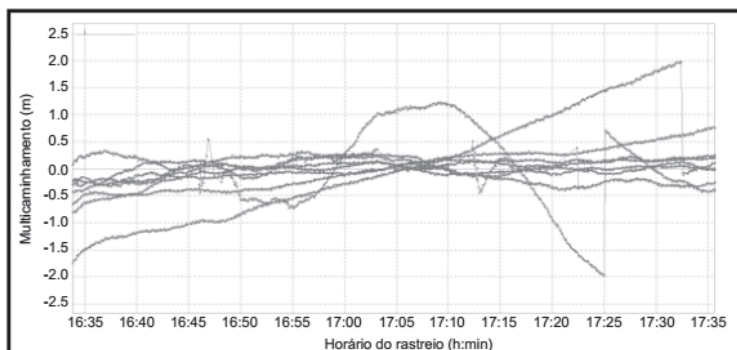
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Elaborada pelos autores (2016)

Observa-se que os valores do efeito do multicaminhamento na portadora L1 e L2 para o ponto EPIT foram consideravelmente dispersos em relação aos resultados do ponto FIT. O ponto FIT, para a portadora L1, não teve sua precisão posicional comprometida pelo efeito do multicaminhamento, apesar de algumas dispersões pontuais mais elevadas. Esses pontos tiveram maior dispersão de valores na portadora L2, como era esperado.

Análise global de precisão e tendência

Os dados estatísticos calculados para os experimentos são apresentados na Tabela 2. A coluna 60 min apresenta os resultados dos rastreios de 60 minutos ignorando os pontos BA2 e BA7 por terem apresentado problemas não identificados no processamento.

Tabela 2. Análise estatística a partir dos testes de precisão e tendência

	20 min	40 min	60 min
Média amostral	0,42	0,23	0,19
Desvio padrão amostral	0,20	0,09	0,17
Estatística <i>t</i> de Student amostral	8,35	10,40	4,18
Estatísticas <i>t</i> de Student teóricas	±2,13	±2,13	±2,16
Estatística qui-quadrado amostral	0,62	0,12	0,40
Estatística qui-quadrado teórica	24,99	24,99	22,36

Fonte: Elaborada pelos autores (2016)

A partir dos dados da Tabela 2 pode-se verificar que, em todos os conjuntos de experimentos, as tendências foram significativas a um nível de confiança de 95 %, uma vez que os valores das estatísticas *t* de *student* amostrais se apresentaram fora do intervalo teórico. Com relação ao teste de Qui-quadrado, as hipóteses básicas não foram rejeitadas em nenhum dos conjuntos de experimentos, indicando que, a um nível de confiança de 95 %, os conjuntos de dados de incertezas apresentaram-se precisos dentro do contexto da NTGIR.

Discussão dos resultados

Os resultados mostraram que os pontos com menor precisão posicional também foram aqueles com maior amplitude nos valores de MP1 e MP2. Como esperado, a maior dispersão dos valores de MP1 e MP2 ocorreu na portadora L2, uma vez que existe a dificuldade de acesso a essa portadora a partir do código W.

Outro fato observado foi a ocorrência de grandes variações de PDOP em curtos espaços de tempo, o que pode estar associado ao efeito do multicaminhamento. Porém, em geral, os valores de PDOP apresentaram-se abaixo do estipulado na NTGIR.

Com relação ao tempo de rastreio, os resultados de cada grupo de experimentos permitiram observar que, à medida que o tempo aumenta, a precisão tende a aumentar também.

O ponto BA2 do grupo de experimento 3 foi descartado da amostra por ter obtido um valor de precisão posicional (7,90 m) consideravelmente superior ao limite de 0,50 m para vértices de limites artificiais da NTGIR. O ponto BA7 no grupo de experimento 3 também apresentou problema no processamento. Para este ponto não foi obtida solução.

Na análise de precisão e tendência todos os pontos passaram no teste global de precisão do Qui-Quadrado a um nível de confiança de 95 %, indicando que para 95 % dos casos o PPP pode ser utilizado para aplicações que requeiram precisão limite máxima de 0,5 m, como o georreferenciamento de imóveis rurais de acordo com a NTGIR do INCRA. No teste global de tendência, baseada na distribuição *t* de *Student* a um nível de confiança de 95 %, a hipótese básica foi rejeitada, indicando que os posicionamentos não estão isentos completamente de erros sistemáticos, inclusive os efeitos do multicaminhamento.

Conclusão

Neste trabalho foi realizada uma análise do efeito do multicaminhamento e do tempo de rastreamento na precisão do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) para atendimento da NTGIR para vértices de limites artificiais, com precisão posicional menor ou igual a 0,50 m. Considerando os três grupos de experimentos, em média 92 % dos pontos observados atenderam à precisão desta norma. No entanto, é necessária a continuidade de análises para condições críticas de recepção do sinal do satélite que são afetados pelo efeito do multicaminhamento. Recomenda-se a construção de mapas de obstruções e outros testes, analisando, além da precisão, a acurácia dos pontos.

Neste estudo ficou clara a maior influência do efeito do multicaminhamento ocorrer na portadora L2. Ressalta-se que, apesar deste fato, é importante utilizar um receptor de dupla frequência para a coleta dos dados para o PPP para que os efeitos de primeira ordem da ionosfera sejam modelados.

O trabalho permitiu observar que as diferentes condições de recepção de sinal dos satélites alteram o tempo necessário para atingir a precisão requerida na NTGIR. Em lugares abertos o PPP responde de forma muito satisfatória, atendendo à precisão requerida na NTGIR sem a necessidade de um tempo de rastreamento acima de 20 minutos. Em lugares mais fechados é necessário um tempo maior de rastreamento, como 40 minutos. No entanto, o efeito do multicaminhamento em lugares onde o sinal é de difícil acesso tem que ser estudado com maior rigor. Isso porque o mesmo ponto pode ter precisão menor mesmo com um tempo de rastreamento maior devido à posição do satélite no instante do rastreamento, fazendo com que o efeito do multicaminhamento atue de forma diferente em cada situação. Cabe ressaltar que nos experimentos foi utilizado um intervalo de coleta de observáveis de 5 segundos, máscara de elevação de 10° e efemérides finais IGS. Recomenda-se a realização de outros experimentos com diferentes intervalos de coleta de observáveis e com máscara de elevação de 15°.

Influence of GNSS satellite signal multipathing and tracking time on PPP accuracy for boundary vertices of NTGIR

Abstract

With the advance of technologies in the field of terrestrial positioning, expectations to help on solving the country's land property issues increase. This activity is important for the development of the nation. Keeping the documentation updated and defining precisely to whom the property belongs to is a challenge. Over the last years, surveying techniques have been evolving significantly in relation to Global Navigation Satellite System (GNSS) positioning. From the second edition of the Technical Standard for Georeferencing Rural Property (NTGIR) of National Institute for Colonization and Agrarian Reform (INCRA), Precise Point Positioning (PPP) has become accepted as GNSS data processing

method. In this work, an analysis of the multipath effect and the tracking time on the PPP precision of NTGIR's boundary points has been made. The results were evaluated based on the MP1 and MP2 indicators and PDOP charts, and most of these results were appropriate to the NTGIR's precision. It was observed that the higher influence of the multipath effect occurs on the L2 carrier. Note that, despite this fact, it is important to use dual frequency receivers for the PPP data acquisition, so the ionosphere first order effects can be modeled. For future work, it is recommended more evaluations of the multipath effect for conditions where satellite signals often do not directly reach the receiver and have reflective surfaces or even blockers of signals. It is also suggested the construction of obstruction maps and statistical tests so that the accuracy of the points is also analyzed.

Keywords: GNSS. Georeferencing. Multipath. Positional Precision.

Referências

BRASIL. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 2. ed. rev. Brasília, 2010. 82 p. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/media/politica_fundiaria/regularizacao_fundiaria/2_edicao_norma_tecnica_.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2014.

BRASIL. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 3. ed. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/media/institucional/norma%20tecnica%20para%20georreferenciamento%20de%20imoveis%20rurais%203%20edi%C3%A7ao.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2016>.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite System: GPS, GLONASS, GALILEO, and More**. New York: Springer Wien, 2008. p. 105 - 272.

KLEIN, I.; MATSUOKA, M. T.; SOUZA, S. F. Análise do serviço on-line de PPP (GDGPS - APPS) para receptores de dupla frequência: um estudo envolvendo dados de estações da RBMC. **Gaea - Journal of Geoscience**, v. 6, n. 2, p. 90-98, jul/dez 2010. Disponível em: <<http://revistas.unisinos.br/index.php/gaea/article/view/4698>>. Acesso em: 13 set. 2014.

LEICK, A. **GPS Surveying**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004. p.188 - 300

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamento e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. p. 183 - 330.

NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY – NGA. **World Geodetic System 1984 - Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems**. v.1.0.0. [S.l.:s.n], Julho, 2014. Disponível em: <http://earth-info.nga.mil/gandg/publications/NGA_STND_0036_1_0_0_WGS84/NGA.STND.0036_1.0.0_WGS84.pdf>. Acesso em: 16 set. 2014.

PERDIGÃO, T. D.; SANTOS, A. P. Avaliação da acurácia a partir de diferentes tempos de rastreamento utilizando a solução PPP on-line do IBGE. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2010, Recife. **Anais...** Recife, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/297001179_avaliacao_da_acuracia_a_partir_de_diferentes_tempos_de_rastreio_utilizando_a_solucao_ppp_on-line_do_ibge>. Acesso em: 25 ago. 2014.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods, and applications**. Berlin: Walter de Gruyter, 2003. p. 297 – 323. ISBN 3-11-017549-5.

YEDUKONDALU, K.; SARMA, A. D.; SRINIVAS, V. SATYA. Estimation and mitigation of GPS multipath interference using adaptive filtering. **Progress in Electromagnetics Research M**, v. 21, p. 133-148, 2011. Disponível em: <<http://mobile.jpier.org/PIERM/pierm21/10.11080811.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2015.

ZUMBERGE, J. F.; HEFLIN, M. B.; JEFFERSON, D. C.; WATKINS, M. M.; WEBB, F. H. Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. B3, p. 5005-5017, mar. 1997. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/96JB03860/pdf>>. Acesso em: 13 set. 2015.

Histórico editorial:

Submetido em: 17/03/2016

Aceito em:30/01/2017

Como citar:

ABNT

CARVALHO, G. N.; BARBOSA, L. G.; VARGAS, R. M. A.; RODRIGUES, T. L. Influência do multicaminhamento de sinais dos satélites GNSS e do tempo de rastreamento na precisão do PPP para vértices de limites da NTGIR. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 1, p. 11-26, jan./mar. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n12018967>

APA

CARVALHO, G. N., BARBOSA, L. G., VARGAS, R. M. A. & RODRIGUES, T. L. (2018). Influência do multicaminhamento de sinais dos satélites GNSS e do tempo de rastreamento na precisão do PPP para vértices de limites da NTGIR. *Revista Agrogeoambiental*, 10 (1), 11-26. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n12018967>

ISO

CARVALHO, G. N.; BARBOSA, L. G.; VARGAS, R. M. A. e RODRIGUES, T. L. Influência do multicaminhamento de sinais dos satélites GNSS e do tempo de rastreamento na precisão do PPP para vértices de limites da NTGIR. *Revista Agrogeoambiental*, 2018, vol. 10, n. 1, pp. 11-26. Eissn 2316-1817. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n12018967>

VANCOUVER

Carvalho GN, Barbosa LG, Vargas RMA, Rodrigues TL. Influência do multicaminhamento de sinais dos satélites GNSS e do tempo de rastreamento na precisão do PPP para vértices de limites da NTGIR. *Rev agrogeoambiental*. 2018 jan/mar; 10(1): 11-26. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n12018967>