

Revista Brasileira de Cartografia (2017), N° 69/3: 463-472
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA TÉCNICA DE PPP EM TEMPO REAL USANDO EFEMÉRIDES IGS

Preliminary Evaluation of Real-Time PPP Technique Using IGS Ephemeris

Renan Rodrigues da Motta & Luiz Paulo Souto Fortes

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
Faculdade de Engenharia – FEN / Departamento de Engenharia Cartográfica – CARTO
Rua São Francisco Xavier, 524 – Maracanã – CEP 20550-900, Brasil
{renanrmotta, luiz.paulo.fortes}@gmail.com

Recebido em 16 de Janeiro, 2017/ Aceito em 21 de Março, 2017
Received on January 16, 2017/ Accepted on March 21, 2017

RESUMO

A técnica de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) em modo pós-processado tem sido largamente utilizada como alternativa ao posicionamento relativo. Com a disponibilidade em tempo real de correções às órbitas e relógios dos satélites GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) através do IGS, tornou-se possível implementar esta técnica em sua modalidade em tempo real (RTPPP). O presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do posicionamento cinemático utilizando o RTPPP. Para tanto, foram coletados dados GNSS por um receptor de duas frequências, instalado em uma estação de referência e conectado a um computador com acesso à Internet para receber os fluxos de correções às órbitas e relógios dos satélites GPS e GLONASS disponibilizados pelo IBGE referidos ao SIRGAS2000. Exatidões de 3 a 25 cm em latitude, 10 a 44 cm em longitude e 10 a 59 cm em altitude foram obtidas em tempo real com o *software* BNC, dependendo das constelações utilizadas (GPS ou GPS+GLONASS) e do período do dia da sessão de observação.

Palavras chave: GNSS, PPP em Tempo Real, Efemérides IGS, NTRIP, BNC.

ABSTRACT

The Precise Point Positioning (PPP) technique in post-mission mode has been largely used as an alternative to relative positioning. With the real time availability of GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) satellites orbit and clock corrections by IGS, it has become possible to implement this technique in its real time mode (RTPPP). The present study aimed to evaluate the quality of kinematic positioning using RTPPP. To achieve this objective, GNSS data has been collected by a dual frequency receiver, set up at a reference station and connected to a computer with Internet access to receive IGS orbit and clock corrections data streams made available by IBGE, referred to SIRGAS2000. Accuracies from 4 to 25 cm in latitude, 10 to 44 cm in longitude and 10 to 59 cm in height have been obtained in real time using the BNC software, depending on the constellations used (GPS or GPS+GLONASS) and the time of the day of the observation session.

Keywords: GNSS. Real Time PPP, IGS Ephemeris, NTRIP, BNC.

1. INTRODUÇÃO

O uso do Posicionamento por Ponto Simples vem crescendo muito, devido à disponibilidade de sensores GNSS (Global Navigation Satellite Systems) em smartphones associada ao aumento massivo de aplicações que se baseiam na navegação por GNSS. Porém, por ser um método de posicionamento absoluto que utiliza as observações de pseudodistância em uma frequência e as efemérides transmitidas pelos satélites, a sua exatidão nominal planimétrica é de 9 metros e a altimétrica de 15 metros, em 95% do tempo (U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE, 2008). Esta exatidão, no entanto, não atende a muitos dos usuários que necessitam de coordenadas mais exatas. Para estes usuários têm-se os métodos relativos e o chamado Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) (MONICO, 2008). Este último utiliza obrigatoriamente as efemérides e correções aos relógios dos satélites precisas, tais como as produzidas pelo International GNSS Service (IGS). O uso de efemérides IGS, cuja precisão é superior às transmitidas (2,5 a 5 cm x 1 m, 1σ - IGS, 2016a), juntamente com observações da fase da onda portadora em uma ou duas frequências e modelos de correção dos erros sistemáticos que afetam o posicionamento, melhora substancialmente a qualidade dos resultados do Posicionamento por Ponto, permitindo a obtenção de coordenadas em modo pós-processado com qualidade decimétrica (com uma frequência) e centimétrica (com duas frequências) (IBGE, 2017a).

Contudo, há usuários que não são atendidos apenas com a alta exatidão, pois precisam desses resultados em tempo real. Com o objetivo de atender estes usuários, sem a necessidade de estações base na região de trabalho (que ocorre no caso da técnica de Real Time Kinematic - RTK), o IGS criou o Real-Time Service (Serviço em Tempo Real) que é um serviço de correção de órbitas e relógios dos satélites GNSS. Este serviço baseia-se na infraestrutura global de estações da rede IGS e seus centros de dados e de análise que fornecem gratuitamente produtos de alta precisão em tempo real (IGS, 2016b).

Com a disponibilidade de correções da órbita e relógio dos satélites em tempo real, tornou-se possível implementar o método

PPP em Tempo Real (Real Time Precise Point Positioning - RTPPP), tendo sido reportadas exatidões a nível decimétrico em modo cinemático (EL-DIASTY e EL-SOBEIEY, 2015; KRZAN e PRZESTRZELSKI, 2015). O PPP em Tempo Real tem diversas aplicações, tais como navegação precisa de aeronaves e veículos em geral, determinação de órbitas de satélites LEO (Low Earth Orbit), locação de obras, posicionamento geodésico e topográfico, integração GNSS/Meteorologia, suporte para aplicações científicas, entre outras (MARQUES, 2012).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do posicionamento cinemático utilizando o RTPPP. Para atingi-lo, foram coletados dados GNSS por um receptor de duas frequências, instalado em uma estação de referência e conectado a um computador com acesso à Internet. Os dados foram processados em tempo real no modo cinemático pelo software livre BNC (BKG Ntrip Client – BKG, 2017a), usando os fluxos de órbitas e correções aos relógios dos satélites gerados em tempo real pelo IGS e disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referidos ao SIRGAS2000 (IBGE, 2017b). Desta forma, foi possível comparar os resultados com as coordenadas da estação de referência, localizada no IBGE, em Parada de Lucas, Rio de Janeiro, e avaliar a qualidade atual do método RTPPP.

2. MÉTODO PPP EM TEMPO REAL

O PPP em tempo real consiste no posicionamento pelo GNSS de forma absoluta, utilizando um único receptor e em tempo real, sendo necessário o uso das efemérides e das correções aos relógios dos satélites, como as produzidas em tempo real pelo IGS a fim de se obter acurácias a nível decimétrico ou melhor. Estas efemérides, disponibilizadas através de fluxos de dados na Internet, podem ser acessadas através do servidor *caster* NTRIP disponibilizado pelo IBGE (IBGE, 2017b). NTRIP é um protocolo de transmissão de dados GNSS pela Internet, baseado em HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*)/1.1 (BKG, 2017b). Esses fluxos são recebidos pelo *software* que realiza o PPP em tempo real através do IP 186.228.51.52, porta 2101, sendo utilizados juntamente com o fluxo de dados GNSS que também está sendo recebido

pelo *software* (no caso, o *BNC*).

Para utilizar este método, é necessário satisfazer alguns requisitos, sendo eles:

- Receptor GNSS enviando observações no formato RTCM (2 ou 3) para um computador com um *software* de processamento PPP;
- Conexão com a Internet para receber os fluxos de correção às efemérides e aos relógios dos satélites;
- Cadastro de acesso ao servidor NTRIP *caster* do IBGE.

3. EFEMÉRIDES TRANSMITIDAS E PRECISAS

Efemérides, em se tratando de GNSS, nada mais são do que um conjunto de dados que descrevem as órbitas dos satélites, permitindo aos usuários determinar as coordenadas dos satélites nos instantes que estes emitem os sinais que serão recebidos pelos receptores.

O IGS anunciou o lançamento do seu Serviço de Tempo Real (RTS) em abril de 2013. O IGS RTS produz e publica em tempo real as correções às órbitas e relógios dos satélites GPS e GLONASS de forma gratuita. Este serviço baseia-se na infraestrutura global de estações de rede do IGS, seus centros de dados e de análise que fornecem gratuitamente produtos de alta precisão em tempo real.

3.1 Órbitas Transmitidas

Segundo Monico (2008), para se determinar as coordenadas da antena de um receptor GNSS de forma instantânea, o usuário deve ter acesso aos dados das órbitas e dos relógios dos satélites em tempo real. De acordo com Seeber (1993), essas informações são preditas pelos segmentos de controle dos sistemas GNSS e transmitidas pelos satélites aos usuários através das mensagens de navegação, denominando-se de efemérides transmitidas. Essas efemérides, embora possuam a vantagem de estarem disponíveis de forma instantânea, as mesmas não satisfazem os usuários que necessitam de alta precisão em posicionamentos por ponto. Para estes usuários, é obrigatória a utilização de efemérides precisas.

3.2 Órbitas Precisas

As efemérides precisas são oriundas de estimativas feitas por centros de análise

subordinados ao IGS. Os arquivos produzidos contêm as coordenadas X, Y e Z dos satélites (em km) e as correções aos seus relógios, dadas a cada 15 minutos (IGS, 2016a). As coordenadas são referidas à realização do IGS no ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) vigente em cada ocasião. Durante a coleta dos dados deste trabalho, a realização IGB08, baseada no ITRF2008, era a adotada; desde 29 de janeiro de 2017, o IGS adotou a IGS14, baseada no ITRF2014 (REBISCHUNG *et al.*, 2017).

É imprescindível o uso das efemérides precisas para o Posicionamento por Ponto Preciso, pois as efemérides transmitidas contêm um erro inerente de aproximadamente 1 metro (1σ) (IGS, 2016a), sendo esse erro diretamente propagado às coordenadas do ponto levantado, tornando impossível o alcance de uma exatidão centimétrica.

As efemérides precisas para aplicações de pós-processamento e algumas em tempo real (por exemplo, determinação do conteúdo de vapor d'água da atmosfera para fins de previsão do tempo), são divididas de acordo com sua disponibilidade, em: IGU (Ultrarrápidas), IGR (Rápidas) e IGS (Finais) (IGS, 2016a).

Com o propósito de subsidiar aplicações tais como o PPP em tempo real, o IGS disponibilizou o seu Serviço RTS (IGS, 2016b). Os fluxos deste serviço retransmitidos pelo IBGE são os seguintes:

- IGS03: Correções às órbitas e relógios GPS + GLONASS referidas ao ITRF2014 (anteriormente, ao ITRF2008);
- SIRGAS200001: Correções às órbitas e relógios GPS referidas ao SIRGAS2000;
- SIRGAS200002: Correções às órbitas e relógios GPS + GLONASS referidas ao SIRGAS2000;
- RTCM3EPH: Órbitas transmitidas.

Os fluxos acima se referem à época de coleta das observações. Os utilizados neste trabalho para avaliação da qualidade do RTPPP foram os SIRGAS200001 e SIRGAS200002, associados ao RTCM3EPH.

4. METODOLOGIA

Nesta seção são abordadas todas as etapas que foram seguidas para a realização do trabalho, incluindo os equipamentos empregados, a forma de coleta dos dados, o processamento e os procedimentos realizados.

4.1 Localização

Este trabalho foi realizado na unidade de Parada de Lucas do IBGE, tendo sido ocupada a estação geodésica 93625, dotada de dispositivo de centragem forçada. Esta estação está situada na laje do prédio da Coordenação de Geodésia – CGED, a cerca de 5 m da estação RIOD da RBMC.

4.2 Equipamentos

Foram utilizados o Receptor Geodésico *Topcon Net-G3A* e a antena *Topcon G3-A1*, com capacidade de rastreamento dos sinais GPS L1 (C/A & P), L2, L2C, L5; GLONASS L1 e L2; e GALILEO, dependendo da devida ativação do *firmware* correspondente (TOPCON, 2017a). Neste trabalho, foram utilizadas as observações de código e fase em L1 e L2 dos sistemas GPS e GLONASS.

4.3 Softwares

Para a configuração do receptor, foi utilizado o *TRU (Topcon Receiver Utility – TOPCON, 2017b)*, conforme recomendação de Langen (2016).

Para o processamento RTPPP, foi utilizado o *software BNC (BKG, 2017a)*. Para os outros cálculos foi utilizado o *software livre SMath Studio (SMATH, 2017)*.

A Figura 1 ilustra o funcionamento do *software BNC* operando no método PPP em Tempo Real.

4.4 Sessões de Observação

A coleta foi realizada em dois dias: um dia para gerar a solução utilizando apenas satélites GPS; e outro usando GPS+GLONASS. Cada dia contou com cinco sessões de observação de duas horas de duração, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Sessões de Observação

| Hora local (início/fim) | Dia 30/05/2016 | Dia 01/06/2016 |
|-------------------------|----------------|----------------|
| 08:00/10:00 | GPS+GLONASS | GPS |
| 10:00/12:00 | GPS+GLONASS | GPS |
| 12:00/14:00 | GPS+GLONASS | GPS |
| 14:00/16:00 | GPS+GLONASS | GPS |
| 16:00/18:00 | GPS+GLONASS | GPS |

O objetivo de se realizar várias sessões de observação nestes dois dias foi o de avaliar a performance do RTPPP, incluindo a convergência dos seus resultados, em períodos do dia sujeitos a diferentes condições atmosféricas, utilizando uma (GPS) e duas constelações (GPS + GLONASS).

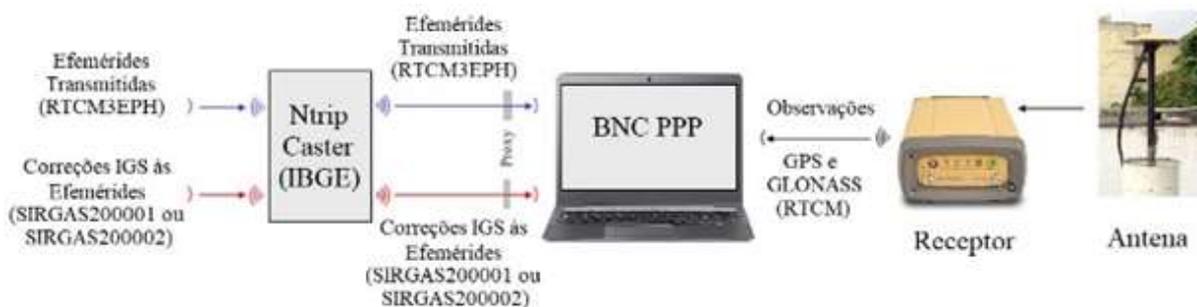


Fig. 1 – Diagrama de funcionamento do *BNC*.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

São apresentados nesta seção os resultados e análises do levantamento realizado, empregando-se gráficos que mostram as diferenças em latitude, longitude e altitude, em metros, entre as coordenadas determinadas pelo RTPPP e as coordenadas de referência da estação 93625. Para tanto, as coordenadas geodésicas conhecidas desta estação em SIRGAS2000, referidas à época 2000,4, foram

atualizadas para a época de medição utilizando as velocidades determinadas pelo IBGE para a estação RIOD (IBGE, 2017c), conforme a Equação 1.

$$\begin{pmatrix} \varphi \\ \lambda \\ h \end{pmatrix}_{2016,4} = \begin{pmatrix} \varphi \\ \lambda \\ h \end{pmatrix}_{2000,4} + \Delta t \times \begin{pmatrix} v_{\varphi} \\ v_{\lambda} \\ v_h \end{pmatrix} \quad (1)$$

onde:

$(\varphi \ \lambda \ h)_t^T$: vetor das coordenadas geodésicas da estação, na época t ;

Δt : intervalo de tempo, em anos, entre a época da medição (2016,4) e a época de referência das coordenadas da estação 93625 (2000,4), igual a 16 anos;

$(v_\varphi \ v_\lambda \ v_h)^T$: vetor de velocidades anuais em latitude, longitude e altitude elipsoidal, disponibilizadas pelo IBGE (2017c), respectivamente iguais a 0,0127, 0,0042 e 0,0005 m/ano.

Ressalte-se que, apesar da estação ser estática, o processamento foi realizado em modo cinemático, o que permitiu determinar os erros do posicionamento em cada época.

Para fins de comparação, as observações

coletadas pelo receptor em todas as sessões foram salvas em formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) e submetidas em modo cinemático (pós-processado) ao serviço IBGE-PPP (IBGE, 2017d).

5.1 Resultados

As figuras 2, 3, 4, 5 e 6 apresentam as diferenças, época a época, em metros, entre as coordenadas determinadas pelo PPP em Tempo Real e pelo PPP pós-processado, no modo cinemático, usando GPS+GLONASS (em 31/05/2017) e GPS (em 01/06/2017), e as coordenadas de referência da estação atualizadas para a época da medição. As figuras estão agrupadas por horário da sessão, para facilitar a comparação dos resultados obtidos nos mesmos horários dos dias 31/05/2016 e 01/06/2016.

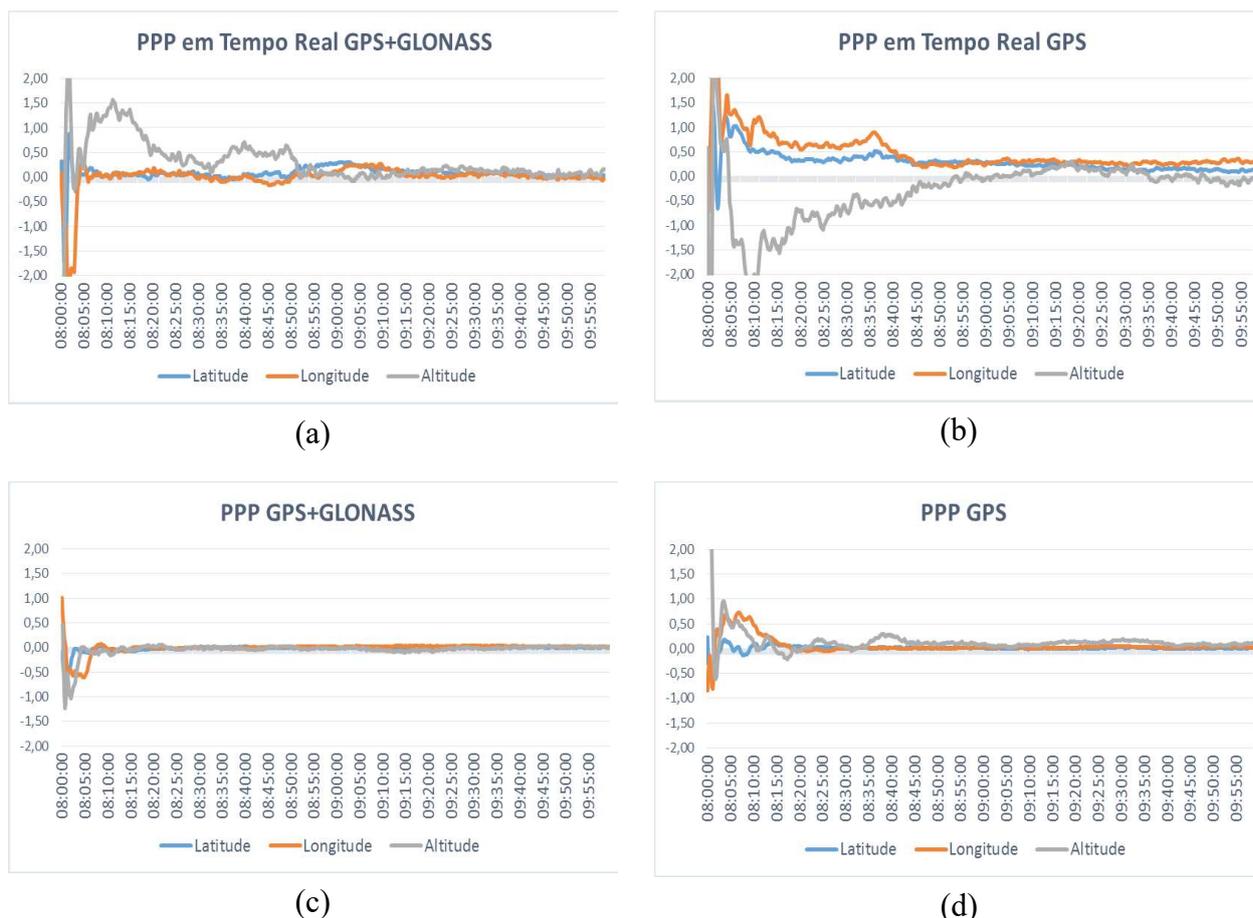


Fig. 2 - Diferenças, em metros, entre as coordenadas determinadas pelo PPP em tempo real (a e b) e PPP pós-processado (c e d) e as coordenadas de referência da estação para as sessões de 31/05/2016 (usando GPS+GLONASS) e 01/06/2016 (usando GPS) das 08:00 às 10:00hs (hora local).

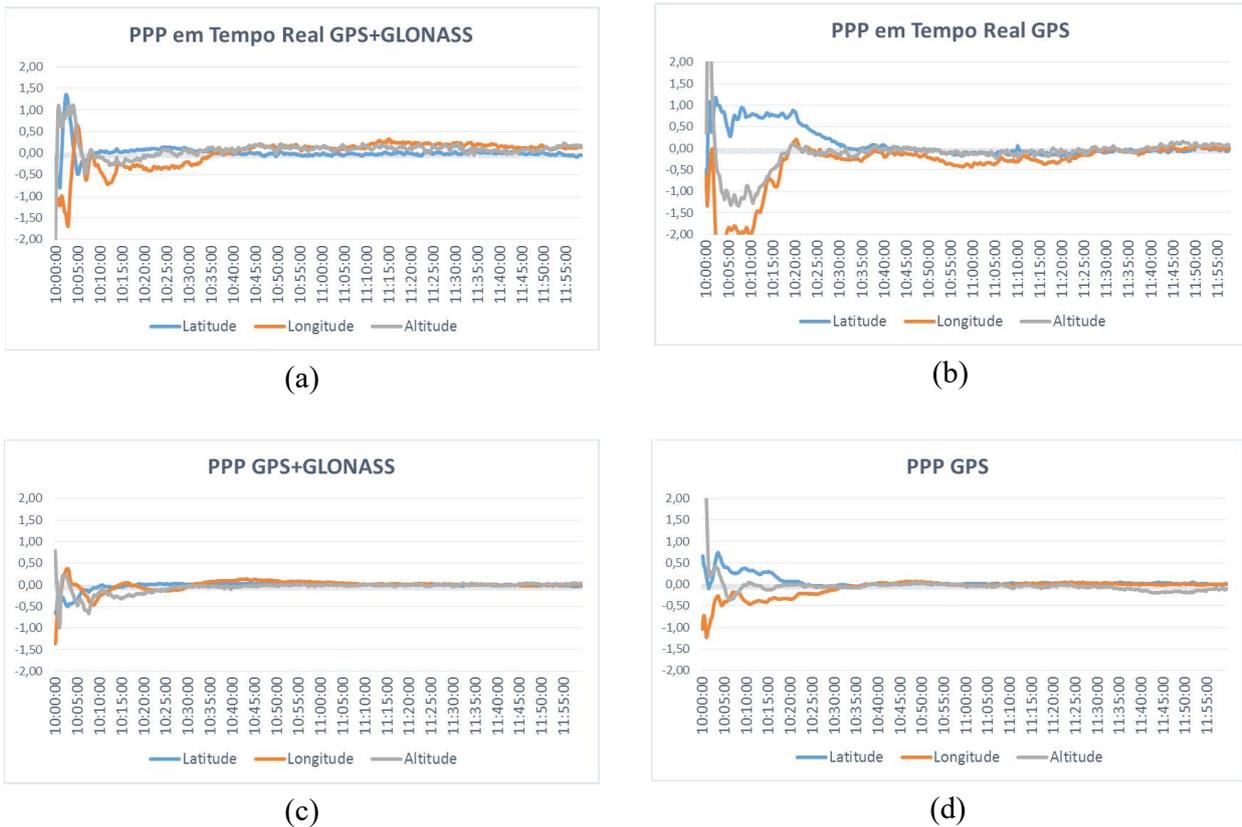


Fig. 3 - Diferenças, em metros, entre as coordenadas determinadas pelo PPP em tempo real (a e b) e PPP pós-processado (c e d) e as coordenadas de referência da estação para as sessões de 31/05/2016 (usando GPS+GLONASS) e 01/06/2016 (usando GPS) das 10:00 às 12:00hs (hora local).

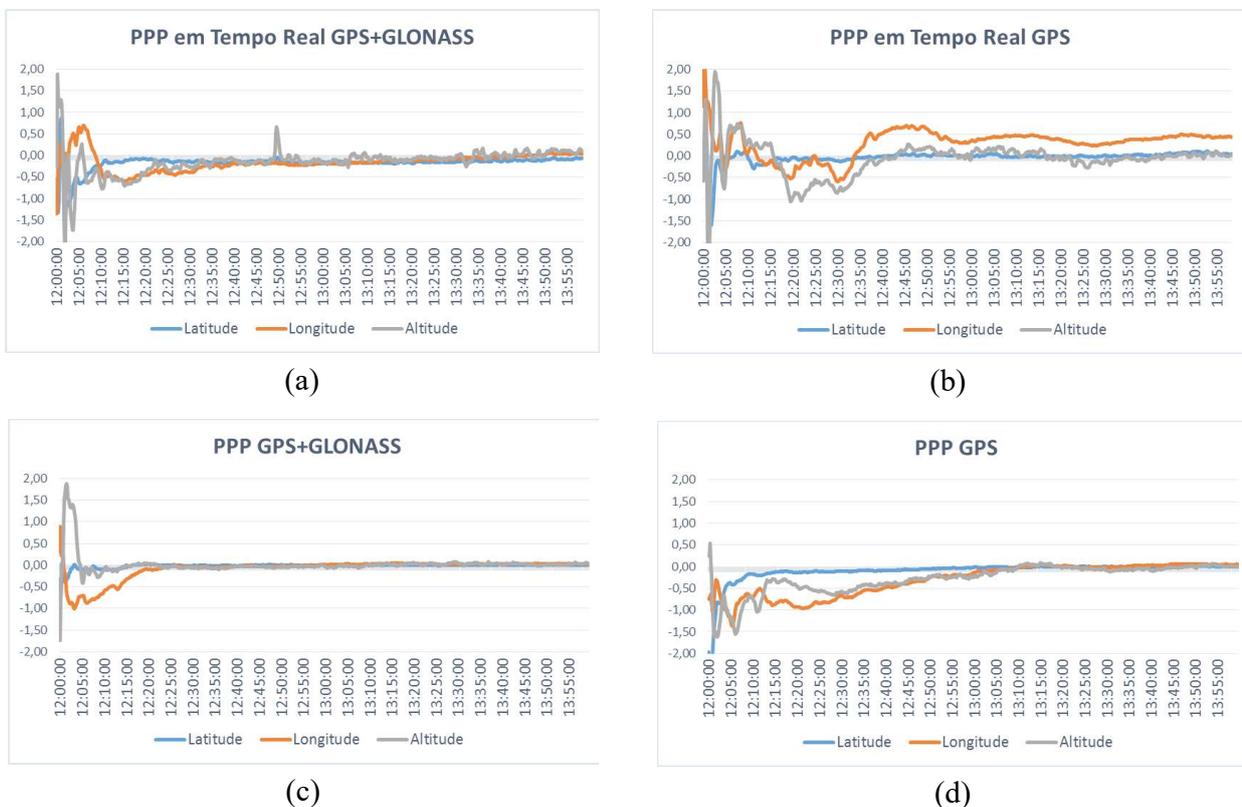


Fig. 4 - Diferenças, em metros, entre as coordenadas determinadas pelo PPP em tempo real (a e b) e PPP pós-processado (c e d) e as coordenadas de referência da estação para as sessões de 31/05/2016 (usando GPS+GLONASS) e 01/06/2016 (usando GPS) das 12:00 às 14:00hs (hora local).

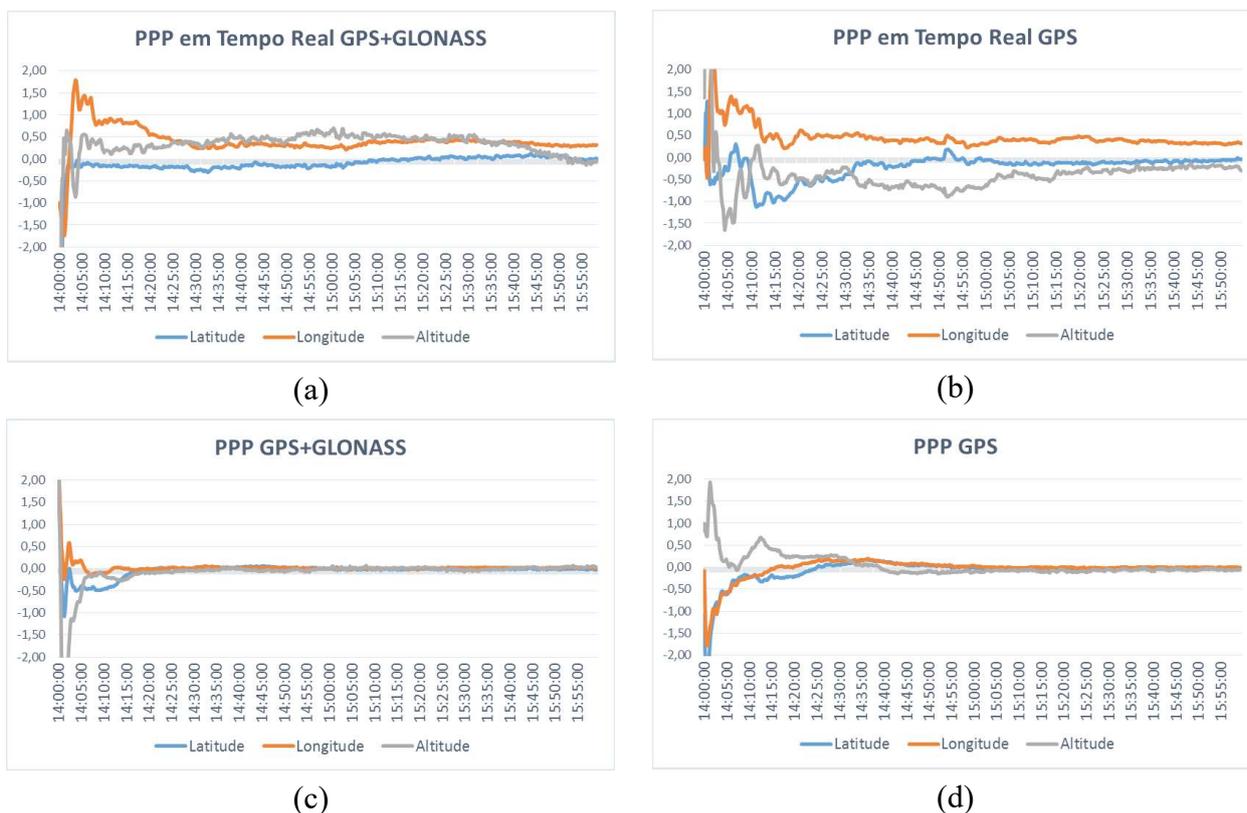


Fig. 5 - Diferenças, em metros, entre as coordenadas determinadas pelo PPP em tempo real (a e b) e PPP pós-processado (c e d) e as coordenadas de referência da estação para as sessões de 31/05/2016 (usando GPS+GLONASS) e 01/06/2016 (usando GPS) das 14:00 às 16:00hs (hora local).

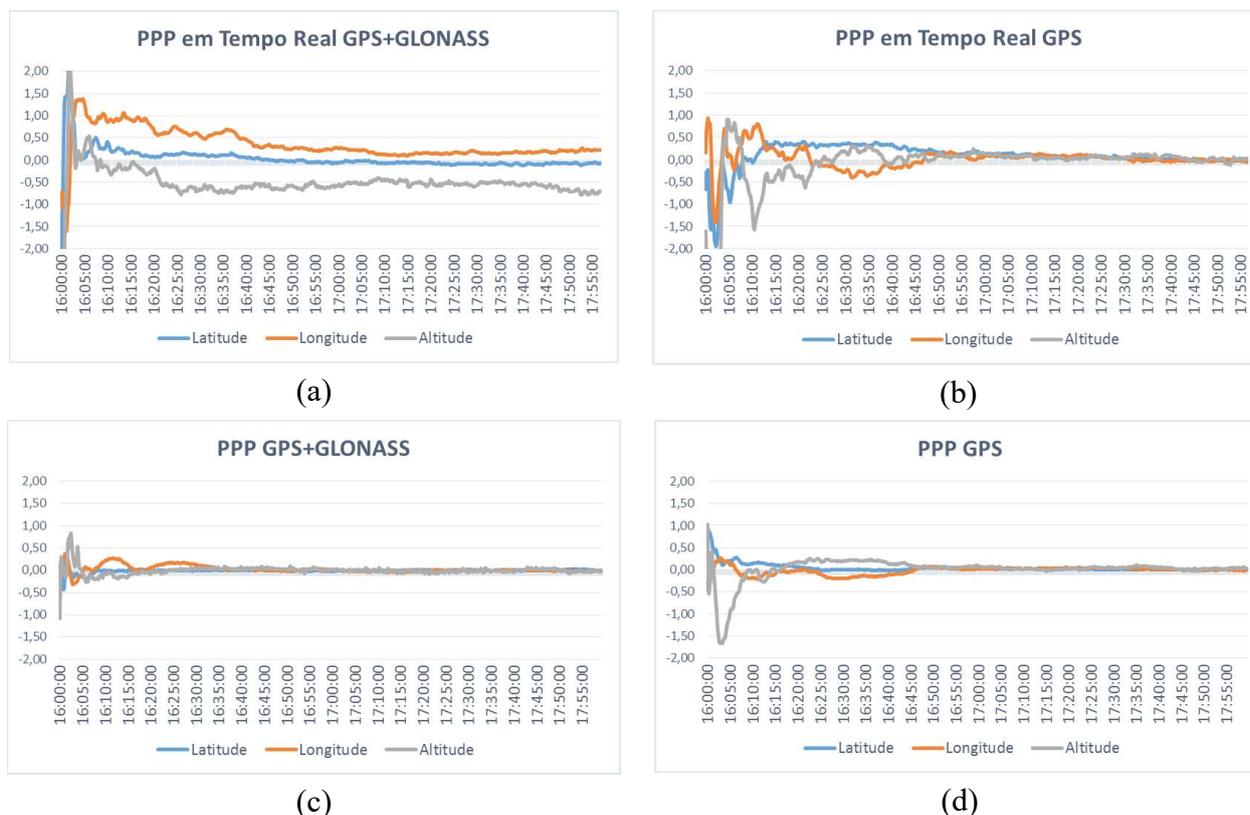


Fig. 6 - Diferenças, em metros, entre as coordenadas determinadas pelo PPP em tempo real (a e b) e PPP pós-processado (c e d) e as coordenadas de referência da estação para as sessões de 31/05/2016 (usando GPS+GLONASS) e 01/06/2016 (usando GPS) das 16:00 às 18:00hs (hora local).

As figuras 7, 8, 9, 10 e 11 apresentam os valores do Erro Médio Quadrático (EMQ) das diferenças em latitude (SLAT), longitude (SLON) e altitude (SH) para o PPP em Tempo Real e o PPP pós-processado respectivamente nos cinco períodos de 31/05/2016 e 01/06/2016, calculados a partir do período de convergência das ambiguidades (considerado como 30 minutos após o início da coleta).

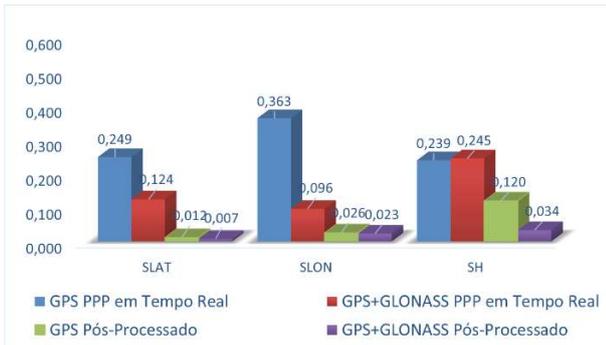


Fig. 7 - Erro Médio Quadrático das quatro soluções de PPP em modo cinemático para as sessões das 08:00 às 10:00hs (hora local).

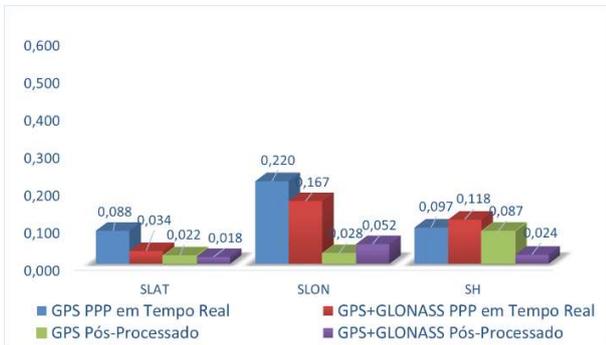


Fig. 8 - Erro Médio Quadrático das quatro soluções de PPP em modo cinemático para as sessões das 10:00 às 12:00hs (hora local).

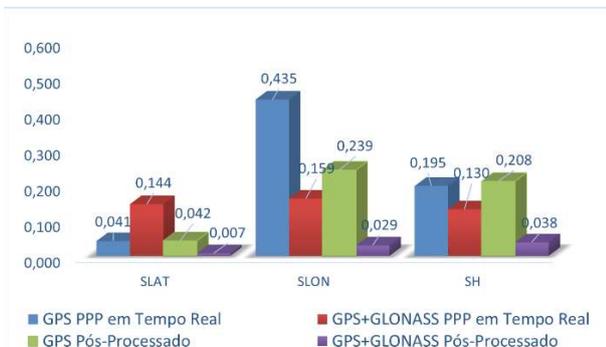


Fig. 9 - Erro Médio Quadrático das quatro soluções de PPP em modo cinemático para as sessões das 12:00 às 14:00hs (hora local).

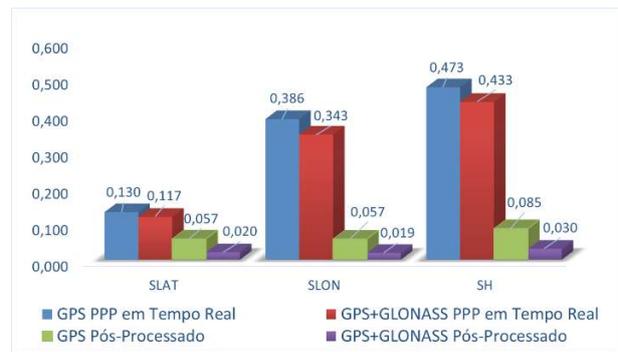


Fig. 10 - Erro Médio Quadrático das quatro soluções de PPP em modo cinemático para as sessões das 14:00 às 16:00hs (hora local).

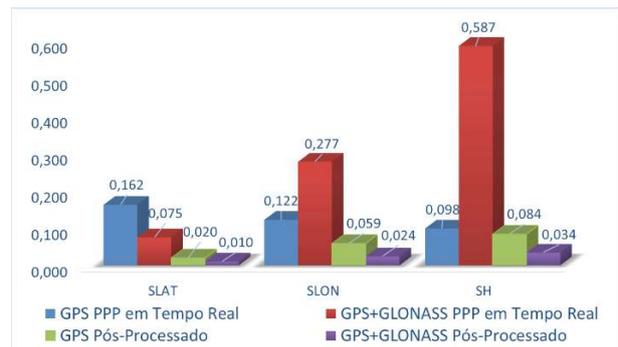


Fig. 11 - Erro Médio Quadrático das quatro soluções de PPP em modo cinemático para as sessões das 16:00 às 18:00hs (hora local).

5.2 Análises

Analisando os gráficos **a** e **b** das figuras 2 a 6 e as figuras 7 a 11, nota-se que os resultados estão dentro do previsto para um levantamento PPP em Tempo Real em modo cinemático utilizando dupla frequência, confirmando a exatidão decimétrica obtida anteriormente em outras pesquisas na área (EL-DIASTY e ELSOBEIEY, 2015; KRZAN e PRZESTRZELSKI, 2015). Os Erros Médios Quadráticos variaram de 3 a 25 cm em latitude, 10 a 44 cm em longitude e 10 a 59 cm em altitude. A média dos valores de EMQ para os cinco períodos é de 10 cm em latitude, 21 cm em longitude e 30 cm em altitude para GPS+GLONASS e 13 cm em latitude, 30 cm em longitude e 22 cm em altitude para GPS, excluindo o período de convergência.

Pode-se observar, em geral, a qualidade superior dos resultados planimétricos do levantamento utilizando os satélites GPS e GLONASS se comparado com GPS apenas. Foi constatado uma melhora de 23% na latitude e 30% na longitude nos levantamentos

GPS+GLONASS, em média. Porém, nota-se uma melhora, em média, de 27% na componente altimétrica nos resultados dos levantamentos que utilizaram apenas satélites GPS. Analisando a Figura 11, verifica-se que os resultados desta sessão contaminaram ligeiramente o cálculo do EMQ médio em longitude e fortemente em altitude. Comparando as figuras 6(a) e (b) verifica-se que, neste caso, a solução GPS+GLONASS apresenta um erro sistemático em longitude e, especialmente, em altitude. Uma possível justificativa para este fato seria a ocorrência de algum problema com as efemérides GLONASS geradas em tempo real pelo IGS, uma vez que o problema não aparece nem no modo pós-processado - figuras 6(c) e (d) – nem no processamento em tempo real com GPS – Figura 6(b).

A partir da análise visual das figuras 2 a 6 observa-se também uma tendência de que o uso de dados GPS+GLONASS reduz o tempo de convergência das coordenadas, tanto em tempo real quanto em modo pós-processado. A única exceção foi o caso indicado no parágrafo anterior.

O período em que se obtiveram os resultados mais satisfatórios foi o 2º período (10:00/12:00), i.e., mais de duas horas antes do pico diário da refração ionosférica, quando se atingiu a exatidão média de 3 cm em latitude, 17 cm em longitude e 12 cm em altitude para GPS+GLONASS e 9 cm em latitude, 22 cm em longitude e 10 cm em altitude para GPS.

De um modo geral, as soluções em modo pós-processado obtidas através do serviço IBGE-PPP apresentaram qualidade superior às obtidas em tempo real, como era de se esperar. Atribui-se este fato ao uso, neste serviço, de órbitas e correções aos erros dos relógios dos satélites determinadas pelo IGS em modo pós-processado, com acurácias de 2,5 a 3 cm e 20 a 150 ps (IGS, 2016a), respectivamente, além de sofisticado *software* de processamento PPP.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos atenderam às expectativas quanto à qualidade esperada para as diversas modalidades de posicionamento, com o melhor resultado sendo o PPP pós-processado GPS+GLONASS, seguido do PPP pós-processado GPS; PPP em tempo real

GPS+GLONASS e; PPP em tempo real GPS, salvo algumas exceções já destacadas.

Com base nestes resultados e a partir das análises realizadas, pode-se concluir que o PPP em Tempo Real é uma excelente alternativa para usuários interessados em realizar posicionamentos cinemáticos em tempo real com acurácia ao nível decimétrico sem a necessidade de estações base na região de trabalho, como no caso do RTK.

O método mostrou-se simples do ponto de vista prático, a partir do momento em que se dispõe do conhecimento técnico necessário e dos recursos de equipamentos, *software* e acesso à internet para executá-lo.

Por se tratar de um método que fornece resultados com uma exatidão em tempo real relativamente alta, presume-se que seria bastante útil em várias aplicações, tais como navegação de automóveis, onde os aplicativos de navegação seriam capazes de alertar os usuários sobre algum perigo próximo na faixa exata da via em que o automóvel se encontra, além de diversas aplicações já mencionadas anteriormente.

Não é recomendado que se faça levantamentos PPP em tempo real com sessões de observações com menos de uma hora de duração, pois como visto no período de 16:00 às 18:00 houve uma demora de uma hora para a convergência das ambiguidades (Figura 6(b)).

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Coordenação de Geodésia (CGED) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) pelo apoio na realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (BKG). **BKG Ntrip Client (BNC)**. Disponível em <<https://igs.bkg.bund.de/ntrip/bnc>>. Acesso: 16 maio 2017(a).

BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (BKG). **Ntrip - Networked Transport of RTCM via Internet Protocol**. Disponível em <<https://igs.bkg.bund.de/ntrip/about>>. Acesso: 16 maio 2017(b).

EL-DIASTY, M. E ELSOBEIEY, M. Precise Point Positioning Technique with IGS Real-Time Service (RTS) for Maritime Applications.

- Positioning**, v. 6, n. 4, p. 71, 2015. DOI: 10.4236/pos.2015.64008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual do Usuário - Aplicativo Online IBGE-PPP, Versão: janeiro 2017**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf>. Acesso: 16 maio 2017(a).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **PPP em tempo real**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ppp_tempo_real.shtm>. Acesso: 16 maio 2017(b).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Centro de Processamento SIRGAS – IBGE - Séries Temporais das Estações (Velocidades)**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sirgas_proc/series_temporais_estacoes.php>. Acesso: 16 maio 2017(c).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Serviço online para pós-processamento de dados GNSS (IBGE-PPP)**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/default.shtm>>. Acesso: 16 maio 2017(d).
- INTERNATIONAL GNSS SERVICE (IGS). **Products**. Disponível em: <<http://www.igs.org/products>> Acesso: 9 agosto 2016(a).
- INTERNATIONAL GNSS SERVICE (IGS). **Real Time Service (RTS)**. Disponível em: <<http://www.igs.org/rts>> Acesso: 11 agosto 2016(b).
- KRZAN, G.; PRZESTRZELSKI, P. **GLONASS/GPS precise point positioning with IGS real-time service products**. *Acta Geodyn. Geomater.* v. 13, n. 1, p. 69, 2016. DOI: 10.13168/AGG.2015.0047.
- LANGEN, D. Gerente de Produtos da *Topcon* no Canadá. Comunicação Pessoal, 2016.
- MARQUES, H. A. **PPP em tempo real com estimativa das correções dos relógios dos satélites no contexto de rede GNSS**. 2012. 244 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2008. 476 p.
- REBISCHUNG, P., SCHMID, R., CRADDOCK, A. **IGS14 Reference Frame Transition**. Disponível em <<http://www.igs.org/article/igs14-reference-frame-transition>>. Acesso: 16 maio 2017.
- SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin; New York: de Gruyter, 356p., 1993.
- SMATH. **SMath Studio**. Disponível em <http://en.smath.info/view/SMathStudio/summary>. Acesso: 16 maio 2017.
- TOPCON. **NET-G3A Operator's Manual**. Disponível em <http://kb.unavco.org/kb/assets/529/Net-G3A_OM.pdf>. Acesso: 16 mai0 2017a.
- TOPCON. **Utility Software**. Disponível em <<https://positioning.topcon.co.jp/en/application/utility/#sec15>>. Acesso: 16 mai0 2017b.
- U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE **GPS Standard Positioning Service (SPS) Performance Standard**, 4th Edition, September 2008. Disponível em: <<http://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf>>. Acesso: 16 maio 2017.