

Discrepâncias das coordenadas obtidas por Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

Lécio Alves Nascimento¹
William Dal Poz¹
Julio Cesar de Oliveira¹
Thiago Antônio de Oliveira¹

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV
Departamento de Engenharia Civil – Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica
CEP: 36.570-900 – Viçosa – MG – Brasil
{lecio.nascimento, william.dalpoz, oliveirajc, thiago.antonio}@ufv.br

Abstract. The availability of processing systems of GPS data, online and free, have increased in last years. The free GNSS online post-processing service GNSS available in Brazil called IBGE-PPP enables users with GPS and/or GLONASS receivers obtain coordinates with good accuracy. This service uses the Precise Point Positioning (PPP) method. The PPP is a powerful tool to be used in applications requiring high level of precision. However, it is essential to analyze the quality of data generated. In this study were analyzed the discrepancies between the updated coordinates and processed by PPP technique. For this, were used GNSS data collected of the station called VICO belonging to RBMC (Brazilian Network for Continuous Monitoring of the GNSS systems). In addition, was analyzed the influence of the data collection period (of 0.5 to 24 hours) on estimation of coordinates for each day during 2013. Considering the results obtained, we can observe that as increases the data collection period the discrepancies decrease. The mean discrepancies ranged of 3.2 to 8.2 centimeter according to the data collection period. Besides, the statistical tests showed that the data collection period of 12 hours provided the lower discrepancies.

Palavras-chave: RBMC; Precise Point Positioning; GPS; discrepancy; RBMC; Posicionamento por Ponto Preciso; GPS; discrepância.

1. Introdução

Os Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS) vem contribuindo para a disseminação de informações e dados por meio dos serviços on-line proporcionando aos usuários técnicas de posicionamento sobre a superfície terrestre ou próximo a ela, apresentando soluções que auxiliam um número relevante de atividades. Dentre as técnicas de posicionamento com GNSS pode-se citar o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP).

Com o advento da rede mundial de computadores diversos serviços de PPP são oferecidos, em especial para o pós-processamento de dados GNSS. Estes serviços são disponibilizados por diversas agências e institutos ligados às áreas das geociências. No Brasil este serviço é disponibilizado IBGE e denominado IBGE-PPP. Neste serviço o usuário envia seus arquivos com observações GNSS para um servidor onde os dados são processados e disponibilizados para o usuário em um relatório detalhado contendo as coordenadas cartesianas e elipsoidais em conjunto com suas precisões nos referenciais SIRGAS2000 e IGB08 (alinhado ou compatível com o ITRF2008), arquivos contendo uma estimativa das coordenadas época por época e por fim um arquivo de visualização Google Earth (IBGE, 2013).

É importante salientar que o PPP é realizado de modo absoluto, ou seja, com apenas um receptor. Nesse caso faz-se necessário que se utilizem as observações da pseudodistância e da fase da onda portadora atrelados ao uso de efemérides precisas e correções para os relógios dos satélites. Em relação às observáveis originais GNSS utilizadas no PPP, as medições da fase de batimento da onda portadora, também conhecida somente por fase da onda portadora, são mais precisas que as da pseudodistância (MONICO, 2008).

O serviço de posicionamento IBGE-PPP tem sido amplamente empregado pela comunidade científica e geodésica em um grande número de aplicações. Neste caso, é de grande importância que se efetue uma análise dos resultados obtidos, de forma a apresentar a relação de desempenho em função do tempo de rastreamento bem como o comportamento das discrepâncias durante o período analisado.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do tempo de rastreamento no posicionamento por ponto preciso (PPP), utilizando dados coletados pela estação VICO, pertencente da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS). Pretende-se também analisar o comportamento da discrepância utilizando as coordenadas cartesianas (X, Y, Z) referenciadas ao IGB08 (ITRF2008) estimada com o posicionamento por ponto preciso (PPP) para diferentes intervalos de rastreamento.

1.1. Estação VICO/RBMC

As técnicas de posicionamento têm evoluído de forma rápida e constante gerando uma demanda em diversas aplicações em tempo real e pós-processada, tornando assim, o papel da RBMC cada vez maior na coleta de dados. Implantada em dezembro de 1996, a RBMC é constituída de um conjunto de estações que utilizam alguns dos sistemas integrantes da tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite System*), nesse caso o GPS (*Global Position System*) e o GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), para coleta e armazenamento de dados assegurando a sua importância para a manutenção e a atualização da estrutura geodésica no país (FORTES *et al.*, 2007).

A materialização das estações é efetuada utilizando pinos de centragem forçada, especialmente projetados, cravados em pilares estáveis. Os receptores GNSS da rede possuem, atualmente, a capacidade de rastrear satélites GPS e GLONASS, enquanto alguns rastreiam apenas GPS. Tais receptores coletam continuamente as observações do código e da fase das ondas portadoras transmitidos pelos satélites das constelações GPS e/ou GLONASS. Cada estação possui um receptor e antena de alta qualidade, conexão com a Internet e fornecimento constante de energia elétrica, o que possibilita sua operação contínua. Dotadas de receptores de alto desempenho, proporcionam observações de alta qualidade e confiabilidade (IBGE, 2014a).

A estação VICO é uma das estações que integram a RBMC. Instalada no município de Viçosa-MG está localizada no campus da Universidade Federal de Viçosa, no terraço do prédio do Centro de Vivência. É composta por um marco principal com um pilar de concreto de forma cilíndrica, implantado no terraço do prédio do centro de vivência, medindo 1,19 m de altura e com 0,30 m de diâmetro com um pino de centragem forçada cravado no centro (IBGE, 2014b). É relevante citar que esta estação pertence à Rede de Densificação do IGS e à Rede SIRGAS de Funcionamento Contínuo (SIRGAS-CON) onde suas observações contribuem, desde 1997, para a densificação regional da rede do IGS (International GPS Service), proporcionando assim um ganho de precisão nos produtos do IGS sobre o território brasileiro (IBGE, 2014a).

1.2. Posicionamento por ponto preciso (PPP)

O posicionamento por ponto preciso (PPP) pode ser aplicado em uma grande variedade de atividades geodésicas. Este tipo de posicionamento é caracterizado quando as observações são pós-processadas, utilizando as efemérides precisas e correções para os relógios dos satélites. Nesse caso essas informações podem ser usadas tanto no processamento de observações de pseudodistância, como de fase da onda portadora ou em ambos os casos. Tais observáveis

podem ser coletadas por receptores de simples (L1) ou dupla frequência (L1L2) (MONICO, 2008).

Um fator importante por trás do PPP é a utilização de órbitas precisas e relógios dos satélites estimados com base em observações de uma rede global de confiança e alta qualidade, como por exemplo, a rede do IGS (SEEBER, 2003).

Nesse contexto surgem diversos serviços de PPP online oferecidos por várias intuições de forma gratuita ou particular destacando-se, dentre eles, o GPS Analysis and Positioning Service (GAPS), Automatic Precise Positioning Service (APPS), magicGNSS, Center Point desenvolvido pela Trimble, sendo esse último um serviço particular.

No Brasil o PPP é oferecido pelo IBGE, denominado de IBGE-PPP. Consiste em um serviço gratuito para pós-processamento de dados GNSS. Esse aplicativo utiliza o programa CSRS-PPP (*GPS Precise Point Positioning*) desenvolvido pelo NRCan (*Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada*), permitindo aos usuários com receptores GPS e/ou GLONASS obterem coordenadas de alta precisão no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e atualmente, no IGB08 (ITRF2008).

Esta disponibilidade proporcionou um aumento no número de usuários deste tipo de serviço, pois apresenta vantagens como o uso de apenas um receptor, a não necessidade de se adquirir um software de processamento bem como a utilização, por parte do usuário, de somente o arquivo de observação GNSS no formato RINEX. Quando se submete os arquivos RINEX ao processamento, o serviço IBGE-PPP utiliza outros arquivos necessários para gerar os resultados, tais como órbitas e relógios (satélite), correção do centro de fase das antenas dos satélites e dos receptores, parâmetros de transformação IGB08/SIRGAS2000, modelo de carga oceânica, modelo de velocidades, e o Modelo de Ondulação Geoidal – MAPGEO2010 (IBGE, 2013).

1.3. Formato Rinex

O formato RINEX (*Receiver Independent Exchange*) consiste de três arquivos do tipo ASCII, constituído por arquivo de dados de observação, de mensagens de navegação (GLONASS e GPS) e de dados meteorológicos. Cada tipo de arquivo, de forma individual, consiste de uma seção de cabeçalho e uma seção de dados. Os arquivos de observação e meteorológicos contêm dados para uma determinada estação e sessão, enquanto que os arquivos de navegação fornecem parâmetros orbitais, coeficientes para a correção ionosférica, informações sobre os satélites e sinais por estes transmitidos.

O RINEX2 foi apresentado e aceito no Segundo Simpósio Internacional de Posicionamento Preciso com o Sistema de Posicionamento Global (*International Symposium of Precise Positioning with the Global Positioning*), em *Ottawa*, 1990. Diferencia-se da primeira versão, pois, adiciona principalmente a possibilidade de incluir dados de diferentes sistemas de satélite, tais como GLONASS, SBAS, Galileo, etc.

2. Metodologia

A sequência metodológica desse trabalho foi dividida em três fases conforme apresentado na Figura 1. Posteriormente as fases serão detalhadas com o objetivo de descrever os procedimentos realizados.

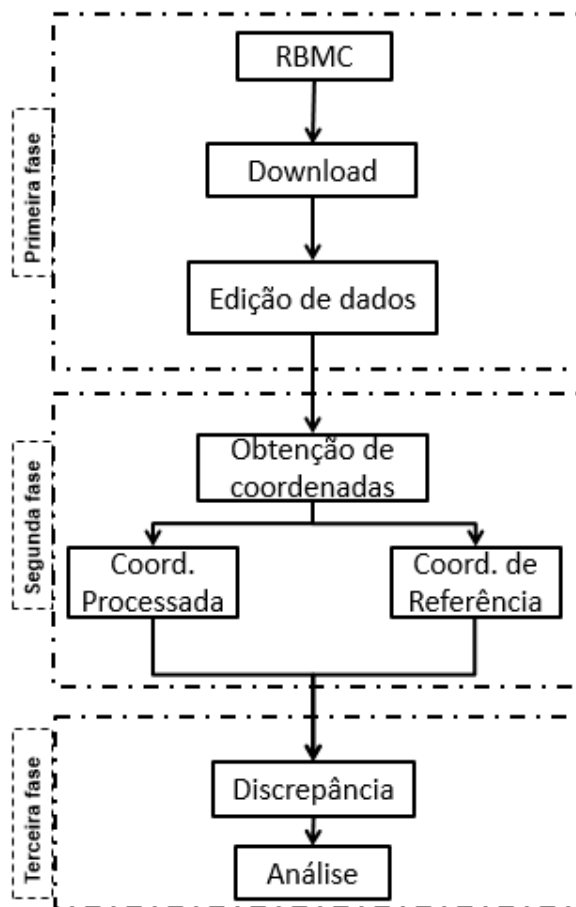


Figura 1: Sequência metodológica aplicada

Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizados os dados diários de observáveis do sistema GPS coletados pela estação VICO-RBMC e disponibilizados de forma gratuita pelo IBGE, em formato RINEX2 referente ao longo do ano de 2013.

Com a estação definida, se iniciou o download dos dados na página eletrônica do IBGE, e após a coleta de dados foram extraídas informações para os seguintes intervalos de rastreamento: 30 minutos, (0.5 hs.), 1, 2, 4, 8, 12 e 24 horas considerando o Tempo Universal (TU) adotado nos arquivos RINEX2. Os horários foram estabelecidos de 8 às 8h30, 8 às 9h, 8 às 10h, 8 às 12h, 8 às 16h, 8 às 20h e 0 às 24h, respectivamente, justificados por serem horários em que muitos usuários efetuam coleta de dados utilizando receptores GNSS. Com os horários definidos se iniciou o pré-processamento utilizando o software TEQC (Translate Edit Quality Check) desenvolvido pela UNAVCO Consortium.

Foram considerados válidos para análise somente os dados coletados ao longo de todo o intervalo de rastreamento pré-estabelecido. Em casos de falha durante a coleta de dados pela estação, esta coordenada será estimada por meio de interpolação linear entre os dados válidos posterior e anterior à data de interesse.

A determinação das coordenadas de referência é fundamentada em coordenadas fornecidas pelo IBGE inseridas nos relatórios descritivos das estações da RBMC. Este relatório consiste na apresentação de informações relevantes de cada estação como a descrição dos equipamentos utilizados, suas coordenadas geodésicas, planas e cartesianas vinculadas à época de referência (Sirgas 2000, época 2000,4), a altura da antena, a localização da estação dentre outras.

A obtenção das coordenadas processadas se realizou com a utilização do aplicativo disponível na página eletrônica do IBGE intitulado de IBGE-PPP on-line. Com este aplicativo é possível estimar as coordenadas cartesianas no sistema IGB08 (ITRF2008).

A partir das coordenadas de referência (ref.) e processadas (proc.) obteve-se os valores de discrepâncias tridimensionais conforme Equação 1.

$$D_{3D} = \left((X_{proc} - X_{ref})^2 + (Y_{proc} - Y_{ref})^2 + (Z_{proc} - Z_{ref})^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

3. Resultados

No total foram coletados dados para os 365 dias do ano (Day of year-DOY), exceto para o DOY 161 e 188, pois não apresentaram registro de dados. Os dias 122, 147, 160 e 189 apresentaram dados incompletos, ou seja, não houve rastreo para as 24h completas e para estes DOY se realizou uma interpolação linear visando o preenchimento das falhas.

Com as discrepâncias calculadas conforme a equação 1 para os intervalos definidos, iniciou-se as análises por meio das aplicações estatísticas com o software R. Inicialmente gerou-se um gráfico Box-Plot para os dados calculados considerando os diferentes intervalos, como se pode observar na Figura 2.

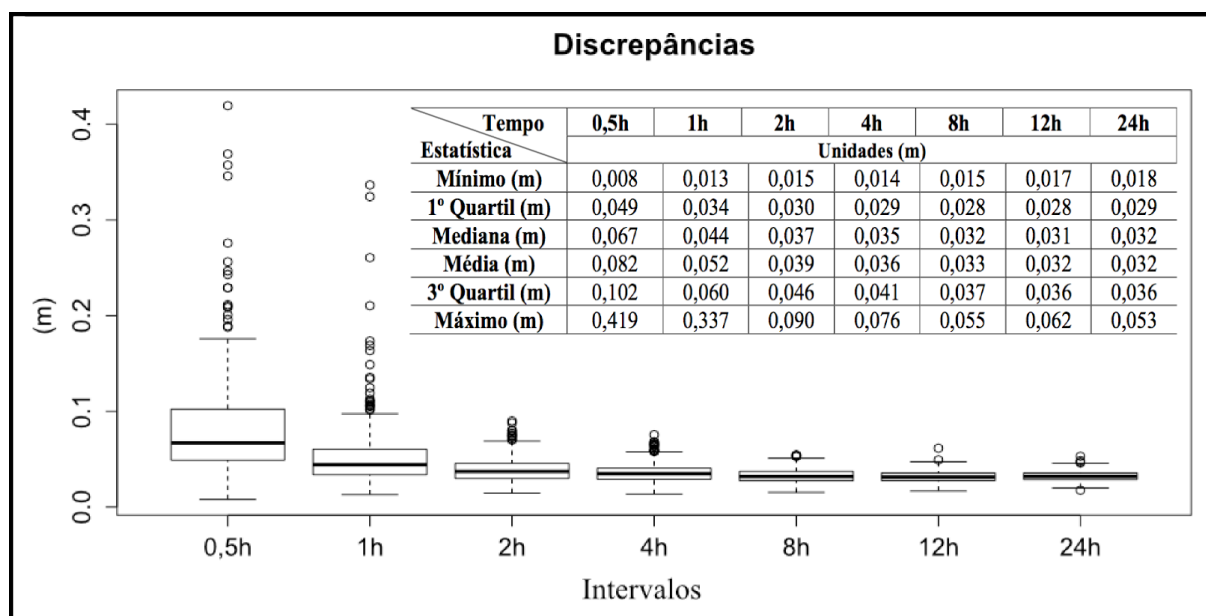


Figura 2: Box-plot das discrepâncias para cada intervalo de rastreo

A partir da Figura 2 se observa que os valores para a mediana dos intervalos de 0,5, 1 e 2 horas apresentam uma variação maior que para os demais intervalos de rastreo. Infere-se também que à medida que aumenta o tempo de rastreo, a dispersão dos valores de discrepâncias diminui. Além disso, as médias das discrepâncias variaram entre 3,2 e 8,2 cm conforme o tempo de rastreo analisado.

Foi efetuado um teste de Wilcoxon pareado unilateral com um nível de significância de 5% com a finalidade de verificar qual intervalo obteve melhor desempenho, ou seja, o intervalo de rastreo que forneceu as menores discrepâncias ao longo do ano de 2013. A partir dos p-valores resultantes das análises pareadas pode-se inferir o seguinte ordenamento decrescente em relação ao desempenho dos intervalos de rastreo: 12 – 24* – 08* – 04 – 02 – 01 e 0,5 horas. Ressalta-se que os intervalos em destaque (*) não apresentaram diferenças

significativas a um nível de significância de 5%. A Tabela 1 ilustra os resultados das análises pareadas entre os intervalos de rastreo

Tabela 1: Intervalo com melhor desempenho após análise pareada

Intervalos	0,5h	01h	02h	04h	08h	12h	24h
0,5h	----						
01h	01h	----					
02h	02h	02h	----				
04h	04h	04h	04h	----			
08h	08h	08h	08h	08h	----		
12h	12h	12h	12h	12h	12h	----	
24h	24h	24h	24h	24h	08h*	12h	----

Obs.: Ordem de leitura dos dados – linha / coluna

* valores não significativos a um nível de significância de 5%.

4. Conclusão

As discrepâncias obtidas entre as coordenadas processadas pelas técnicas PPP e coordenadas de referência para a estação VICO / RBMC ao longo de 2013 apresentaram desempenhos distintos conforme o tempo de rastreo. Pode-se concluir que o aumento no tempo de rastreo influencia diretamente na qualidade das coordenadas, e que o intervalo equivalente a 12 horas forneceu as menores discrepâncias em relação aos demais conjuntos de dados analisados.

Maiores estudos são necessários para identificar as causas e efeitos de fatores relacionados as várias fontes de erros associados ao GNSS durante a aquisição dos dados pela estação. Demais análises devem ser realizadas ao longo de vários anos englobando o ciclo solar 24 (11 anos) com o objetivo de verificar o comportamento das discrepâncias ao longo do tempo, bem como a influência da localização geográfica da estação nas estimativas das coordenadas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio na divulgação desta pesquisa.

6. Referências Bibliográficas

FORTES, L. P. S., COSTA, S. M. A., ABREU, M. A., MOURA JUNIOR, N. J. de, DA SILVA, A. L., LIMA, M. A. A., MONICO, J. F. G. e SANTOS, M. C. Plano de Expansão e Modernização das Redes Ativas RBMC/RIBAC. **XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia**, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

GURTNER, W. RINEX: **The Receiver Independent Exchange Format**, Version 3.00, Lou Estey UNAVCO Boulder, Co.

IBGE. **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo**. 2014a. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm>>. Acessado em 14.out.2014.

_____. **Relatório de Informação de Estação – VICO – Viçosa**. 2014b. IBGE - DGC - Coordenação de Geodésia - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo. <ftp://geofp.ibge.gov.br/RBMC/relatorio/Descritivo_VICO.pdf>. Acessado em 28.out.2014.

_____. **Manual do Usuário Aplicativo Online IBGE-PPP**. 2013. Coordenação de Geodésia, Diretoria de Geociências, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Versão: Dezembro de 2013. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/default.shtm>>. Acessado em 08.nov.2014.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476 p.

OLIVEIRA, A. B. V., **Uso Do Gps Para O Estudo Da Anomalia Equatorial**, 2003, 144f. Dissertação (mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação) Divisão de Pós-Graduação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy**. 2nd. ed. Berlin; New York: Walter de Gruyter, 2003. 589 p.