

AValiação DO POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO GNSS EM TEMPO REAL

William Robson Silva de Queiroz¹; Haroldo Antonio Marques²

¹Estudante do Curso de Engenharia Cartográfica - CTG – UFPE; E-mail: willyamqueiroz@hotmail.com,

²Docente/pesquisador do Depto de Engenharia Cartográfica – CTG – UFPE. E-mail: haroldoh2o@gmail.com.

Sumário: O posicionamento geodésico em tempo real a partir do método PPP via GNSS tem sido alvo de muitas investigações da comunidade científica nos últimos anos. Este método permite estimar a posição de uma estação em tempo real com acurácia de poucos centímetros. Contudo a modelagem matemática de diversos efeitos envolvidos com a propagação dos sinais na atmosfera deve ser empregada. Dentre os efeitos atmosféricos destacam-se os efeitos relacionados com as camadas da troposfera e da ionosfera, assim dividida para fins de posicionamento com GNSS. Enquanto a ionosfera é a camada mais alta da atmosfera e composta por ions e elétrons, a troposfera é a camada mais baixa composta por gases, umidade entre outros componentes. A aplicação de PPP em tempo real e modelagem da atmosfera tem sido investigada no Brasil por Marques (2012), o qual desenvolveu um sistema computacional para a realização de tal tarefa. O sistema desenvolvido encontra-se disponível na UFPE para fins de pesquisas e está envolvido em um projeto de cooperação entre as instituições UFPE, UNESP e EMBRAER com objetivos de pesquisas e desenvolvimentos do sistema para utilização nas aeronaves da EMBRAER. O projeto de iniciação científica desenvolvido se enquadra dentro do objetivo de cooperação supracitado. Neste caso, foram realizadas pesquisas e experimentos relacionados ao método PPP em tempo real e pós-processado. Os experimentos foram realizados para o caso estático e cinemático com dados GNSS das estações da RBMC no Brasil. Foram utilizados o software RTPPP e também o BNC desenvolvido pela agência alemã BKG/IGS..

Palavras-chave: GNSS; PPP; Ionosfera

INTRODUÇÃO

Os efeitos relacionados com os satélites GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e receptores são devidos aos erros no processo de determinação das órbitas dos satélites, não sincronização dos relógios com o sistema de tempo GNSS (erros dos relógios), atrasos dos sinais devido ao *hardware*, variação do centro de fase das antenas, entre outros. Dentre os efeitos atmosféricos destacam-se os efeitos relacionados com as camadas da troposfera e da ionosfera, assim dividida para fins de posicionamento com GNSS. Enquanto a ionosfera é a camada mais alta da atmosfera e composta por ions e elétrons, a troposfera é a camada mais baixa composta por gases, umidade entre outros componentes.

A aplicação de PPP em tempo real e modelagem da atmosfera tem sido investigada no Brasil por Marques, 2012, o qual desenvolveu um sistema computacional denominado RTPPP para a realização de tal tarefa. O sistema desenvolvido encontra-se disponível na UFPE para fins de pesquisas e está envolvido em um projeto de cooperação entre as instituições UFPE, UNESP e EMBRAER com objetivos de pesquisas e desenvolvimentos do sistema para utilização nas aeronaves da EMBRAER. O projeto de iniciação científica se enquadra dentro do objetivo deste projeto de cooperação.

O desenvolvimento do projeto envolveu pesquisa e avaliação de metodologias para mitigação dos efeitos atmosféricos no PPP. Para tanto foi aplicada a estimativa dos efeitos atmosféricos (ionosfera e troposfera no posicionamento) envolvendo os sinais de simples frequência do GPS (*Global Positioning System*), o qual faz parte do GNSS. A estimativa para simples frequência apresentou resultados semelhantes ao utilizar dados de duas frequências no posicionamento estático para estações na região brasileira. Os experimentos foram realizados para o caso estático e cinemático com dados GNSS das estações da RBMC no Brasil. Foram utilizados o software RTPPP e também o BNC desenvolvido pela agência alemã BKG/IGS. O relatório apresenta a revisão bibliográfica relacionada ao assunto, a metodologia adotada, bem como os resultados e análises.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos processamentos de dados GPS e análises com a estimativa dos efeitos atmosféricos foi utilizado o software chamado RT_PPP (*Real Time PPP*) que permite realizar PPP tanto em tempo real como no modo pós processados. As observações GPS foram obtidas de estações terrestres localizadas no Brasil. Existem diversas estações GNSS que fazem parte da RBMC e coletam dados 24 horas por dia com disponibilidade ao público. Uma das estações está localizada na biblioteca central da UFPE e é denominada RECF. Os arquivos são obtidos em formato RINEX (*ReceiverIndependent Exchange Format*) e são usados pelo software RT_PPP para estimar as coordenadas da estação, além de outros parâmetros.

O formato RINEX é um formato que se refere a intercâmbio de dados, o que permite que o usuário utilize dados de diferentes receptores GNSS em diversos formatos e converta para um único. Existem os arquivos de observação com medidas de pseudodistância e fase, os arquivos de navegação com informações da órbita, arquivos com parâmetros atmosféricos e outros. Os arquivos RINEX das estações RBMC podem ser baixados a partir do endereço www.ibge.gov.br/home/geociencias/download/tela_inicial.php?tipo=8 depois de ser feito um cadastro de usuário com senha. A localização das estações RBMC no Brasil pode ser vista na Figura 1.



Figura 1 - Localização das estações da RBMC no Brasil

Com as observações obtidas da RBMC e configurações adequadas foi possível realizar PPP a partir do software RT_PPP, considerando que diversas outras informações são necessárias para a realização de PPP, tais como as correções de centro de fase das antenas, efeitos de carga dos oceanos entre outros. A versão utilizada do RT_PPP roda via sistema operacional em Windows sendo necessário executar o programa a partir do CMD do Windows onde o RT_PPP se encarrega de baixar automaticamente diversas outras informações necessárias ao processamento. Foram realizados alguns processamentos para a estação RECF e as análises são apresentadas a seguir

Também foi usado o software Cliente BKG NTRIP (BNC) que é um programa para realizar PPP em tempo real utilizando transmissão de dados via protocolo NTRIP (*Network Transport of RTCM via Internet Protocol*). O BNC foi escrito sob a licença GNU *General Public License* (GPL) e o código fonte está disponível em: <http://software.rtcntrip.org/svn/trunk/BNC>. Os executáveis do BNC estão disponíveis para sistemas X Windows, Linux e Mac OS. Como padrão, os arquivos de configuração para executar o BNC em sistemas Unix / Linux / Mac OS X são salvos no diretório '\$ {HOME} /. Config / BKG'. Em sistemas Windows, eles são normalmente salvos no diretório "C: / Documents and Settings / usuário / .config / BKG".

O nome de arquivo padrão 'BNC.bnc' pode ser mudado e o conteúdo do arquivo podem ser facilmente editadas. Em interfaces gráficas de usuário, é possível arrastar e soltar um ícone de arquivo de configuração para iniciar BNC (não em sistemas Mac OS X). Algumas opções de configuração podem ser alteradas *on-the-fly*.

RESULTADOS

Após o processamento dos dados no modo PPP as coordenadas estimadas foram comparadas com as coordenadas oficiais e os 'erros' obtidos foram convertidos para o Sistema Geodésico Local (SGL) com origem no receptor. A Figura 2 apresenta os erros no SGL e as precisões estimadas para a estação BATF no dia 13/03/2012

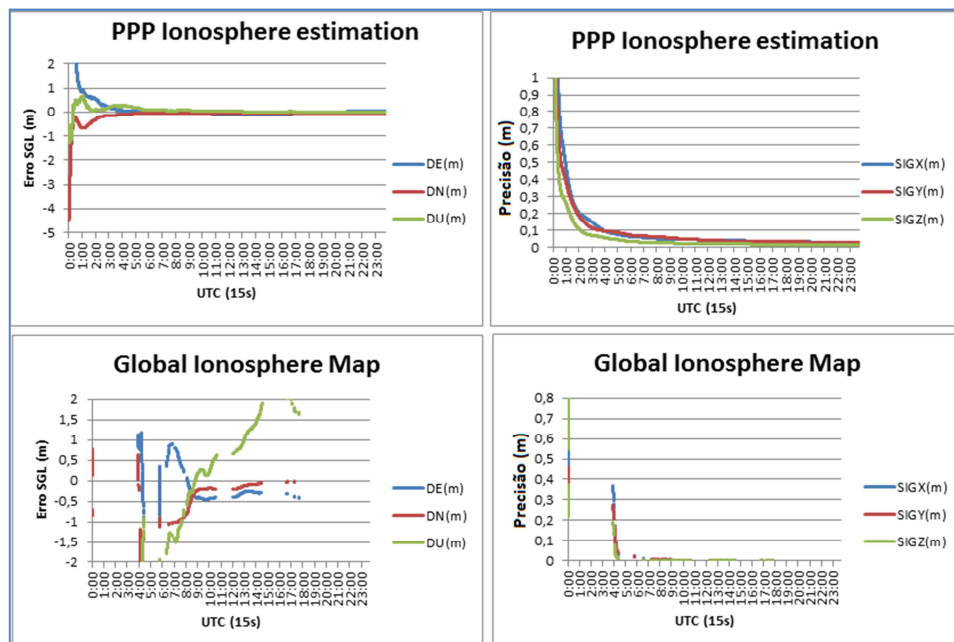


Figura 2 – Erros no SGL e Precisões para a estação BATF (13/03/2012)

Para PPP em tempo real com o BNC foram escolhidos os dias 03/07/2015 e 04/07/2015 utilizando a estação RECF e assim gerado Abaixo estão os erros gerados pela

estimativa do BNC para os respectivos dias considerando que foram aplicada as configurações de uso de código e fase do GPS e GLONASS e estimativa da troposfera.

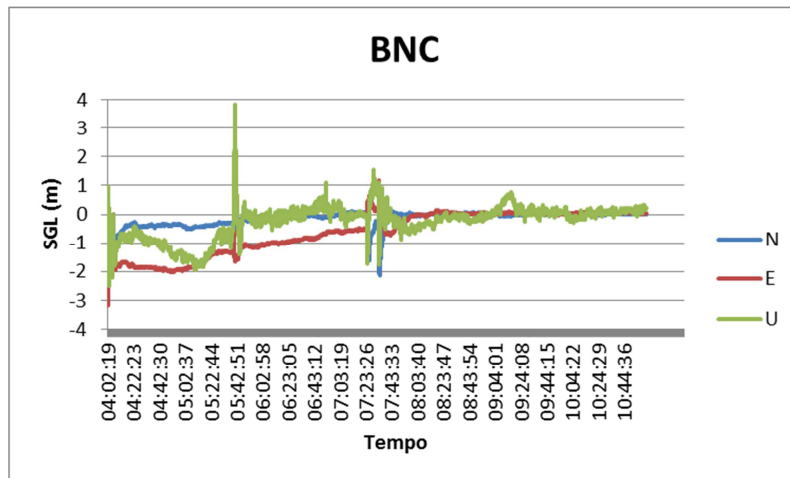


Figura 3 – Erro no SGL para o dia 03/07/2015 com o BNC

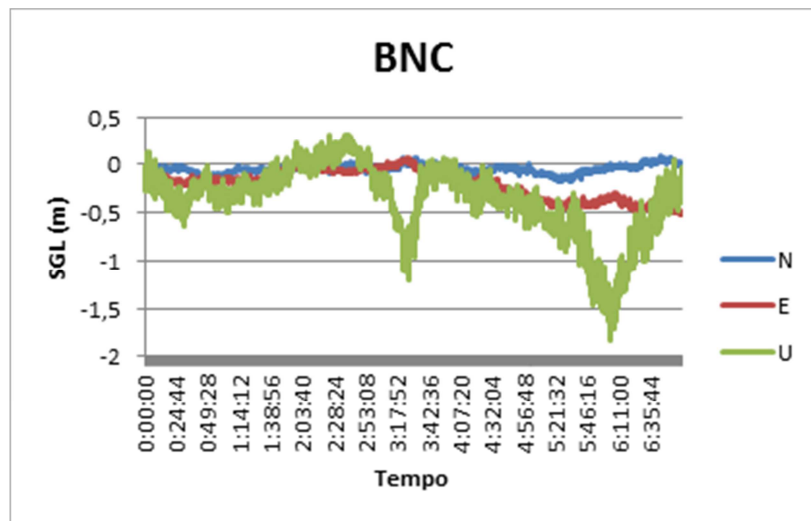


Figura 4 – Erro no SGL para o dia 04/07/2015 com o BNC

A Tabela 1 apresenta o Erro Médio Quadrático (valores em metros) para cada uma das componentes do SGL no caso do processamento com o BNC.

Tabela 1 - Erro Quadrático Médio (EMQ)

DIA	EMQ N	EMQ E	EMQ U	EMQ 2D	EMQ 3D
03/07/2015	0,299	0,961	0,653	1,007	1,200
04/07/2015	0,063	0,248	0,527	0,256	0,586

DISCUSSÃO

Nota-se na Figura 2 que a estimativa da ionosfera apresentou erros no SGL da ordem de poucos centímetros após o período de convergência do ajustamento dos dados. Para o caso da utilização do GIM, problemas ocorreram durante os processamentos e muitas épocas não apresentaram resultados, o que requer mais investigações.

Verifica-se que para o dia 03/07/2015 (Figura 3) o PPP em tempo real apresentou longo tempo de convergência com duração de aproximadamente 7 horas. Esse efeito pode ocorrer quando a qualidade dos produtos em tempo real não é boa ou os produtos não estão disponíveis. Após o período de convergência, os erros foram da ordem de poucos centímetros. Para o caso do dia 04/07/2015 o período de convergência foi bem curto com erros oscilando na casa de poucos centímetros conforme pode ser visto na Figura 4. Nota-se a partir da Tabela 1 que o dia 04/07/2015 apresentou melhores resultados com valor de 0,256 m e 0,586m, respectivamente para o EMQ 2D e EMQ 3D. No caso do dia 03/07/2015 o EMQ foi da ordem do metro.

CONCLUSÕES

Neste trabalho de Iniciação científica foi investigado o método de PPP em tempo real e estratégia de mitigação dos efeitos ionosféricos no posicionamento GNSS. Os dados GNSS foram processados no software RT_PPP desenvolvido por Marques (2012) e no BNC desenvolvido pela Agência Federal de Cartografia e Geodésia (BKG) da Alemanha. A estimativa da ionosfera produziu melhores resultados que ao utilizar o Mapa Global da Ionosfera - GIM. Desta forma, pode-se concluir que a estimativa da ionosfera e troposfera no PPP é uma solução muito boa e mais investigações sobre o assunto devem ser realizadas. Os processamentos realizados neste trabalho foram para dados coletados nas estações BATF e UFPR nos dias 13/03/2012 e 13/08/2012 no caso do RT_PPP e para a estação RECF nos dias 03/07/2015 e 04/07/2015 no caso do BNC. O processamento PPP realizado pelo BNC em tempo real produziu erros no SGL da ordem de 25 cm em planimetria, sendo este um resultado considerado bom para o caso em tempo real. Novas análises deverão ser realizadas considerando período maior de dados e condições adversas de atmosfera.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem à UFPE/PIBIC-CNPq pelo apoio em forma de bolsa de iniciação científica, ao CNPq pelo apoio em forma de projeto Universal (Processo:475775/2013-9) e a UFPE/UNESP/EMBRAER pela parceria em forma de projeto de cooperação científica.

REFERÊNCIAS

- ALVES, D. B. M. **Posicionamento Baseado em Redes de Estações de Referência GPS Utilizando o Conceito de Estação Virtual**. 2008. 160 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2008.
- BOCK, Y.; GOUREVITCH, S. A.; COUNSELMAN III, C. C.; KING, R. W.; ABBOT, R. I. Interferometric analysis of GPS phase observations. **Manuser. Geod.**, v. 11, p. 282-288, 1986.
- CAMARGO, P. O. **Controle de qualidade aplicado ao filtro de Kalman**, Curitiba, 1992. 94 p. Dissertação (Mestrado) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CAMARGO, P. O. **Modelo regional da ionosfera para uso em receptores de uma frequência**. 1999. 191 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- HAN, S. C.; KWON, J. H.; JEKELI, C. Accurate absolute GPS positioning through satellite clock error estimation. **Journal of Geodesy**. v. 75, p. 33-43, 2001.
- HAUSCHILD, A.; MONTENBRUCK, O. Kalman-filter-based GPS clock estimation for near real time positioning. **GPS Solut.** v. 13, p. 173-182, nov. 2008.

- HAUSCHILD, A. **Precise GNSS Clock-Estimation for Real-Time Navigation and Precise Point Positioning**. 2010. PhD Thesis - Technical University of Munich. Munique, Alemanha. 2010.
- IBGE, 2012 - **RBMC-IP: Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – Internet Protocol**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/>>. Acesso em mar. de 2013.
- IGS, 2013. **RTPPP: Real Time Pilot Project**. Disponível em: <<http://www.rtigs.net>>. Acesso em: mar. de 2013.
- LEICK, A. **GPS satellite surveying**. 3rd. ed.: New York: John Wiley & Sons, 2004. 435p.
- LIU, G. C. **Ionosphere weighted global positioning system carrier phase ambiguity resolution**. 2001. 157 f. M.Sc. dissertation. Department of Geomatics Engineering - The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.
- MARQUES, H. A. **Influência da ionosfera no posicionamento GPS: estimativa dos resíduos no contexto de duplas diferenças e eliminação dos efeitos de 2ª e 3ª ordem**. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2008.
- MARQUES, H. A.; MONICO, J. F. G.; AQUINO, M. RINEX_HO: second- and third-order ionospheric corrections for RINEX observation files. In: **GPS Solutions**. Springer-Verlag, V. 15 p. 305–314, DOI: 10.1007/s10291-011-0220-1, 2011.
- MATSUOKA, M. T. **Influência de diferentes condições da ionosfera no posicionamento por ponto com GPS: Avaliação na região Brasileira**. 2007. 263 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2007.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed São Paulo: Unesp, 2008. 476p
- ODIJK, D. **Fast precise GPS positioning in the presence of ionospheric delays**. 2002. 242 f. PhD dissertation, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft. 2002.
- ODIJK, D. Ionosphere-Free Phase Combinations for Modernized GPS. In: **Journal of Surveying Engineering**. v.129, n. 4, 2003.
- SAPUCCI, L. F. **Estimativas do IWV utilizando receptores GPS em bases terrestres no Brasil: sinergia entre Geodésia e Meteorologia**. 2005. 200 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2005.
- SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods, and applications**. 2. ed. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 589p.
- WEBER, G.; GONZÁLEZ-MATESANZ, J. F. **EUREF-IP for wireless GNSS/DGNSS: example implementation in Madrid**, 2008.
- WEBER, G.; MERVAT, L.; DOUSA, J. Real-Time Clock and Orbit Corrections for Improved Point Positioning via NTRIP In: **Proceedings ... GNSS 2007**. Fort Worth. USA.