

## AVALIAÇÃO DO POSICIONAMENTO EM DIFERENTES REGIÕES DO PAÍS EMPREGANDO DADOS VIRTUAIS GPS E GLONASS

VIVIANE APARECIDA DOS SANTOS  
GABRIEL OLIVEIRA JEREZ  
DANIELE BARROCA MARRA ALVES

Universidade Estadual Paulista - Unesp  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT  
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente - SP  
vivian\_edos\_santos@hotmail.com, gabrielojerez@gmail.com & danibarroca@fct.unesp.br

**RESUMO** - Uma das principais fontes de erro sistemático no posicionamento pelo GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é a ionosfera, a qual está relacionada com o TEC (*Total Electron Content*). O TEC por sua vez é influenciado por diversas variáveis, entre estas os ciclos solares, época do ano, hora local, localização geográfica e atividade geomagnética. Com o intuito de minimizar os efeitos causados pela ionosfera vários modelos têm sido criados. O GIM (*Global Ionospheric Maps*) é um deles, o mesmo é disponibilizado por diversos centros, como, por exemplo, o IGS. Neste artigo pretendeu-se avaliar o posicionamento por ponto preciso utilizando dados virtuais GPS e GPS/GLONASS, nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste do país, durante diferentes períodos do ano em relação ao comportamento da ionosfera. A partir dos resultados obtidos notou-se relevância no uso combinado dos dados GPS/GLONASS, principalmente no período de alta cintilação para a região Sudeste.

**Palavras chave:** VRS, MGI, Efeito Ionosférico.

**ABSTRACT** - One of the main sources of systematic errors in positioning by GNSS (Global Navigation Satellite System), the one that is related to the TEC (Total Electron Content). The TEC in its turn, is influenced by diverse variables, among them are the Polar cycles, time of the year, local time, geographic position and geomagnetic activity. Aiming diminish the effects caused by the ionosphere, many models have been created. The GIM (Global Ionospheric Maps) is one of them. It is available by many centers, such as the IGS.

In this article, it was aimed to evaluate the precise point positioning by using GPS data and GPS/GLONASS, in the south, southeast and northeast regions of the country, during different times of the year relating to the ionosphere behavior. From the findings obtained, it was possible to realize the relevance in the combined use of GPS/GLONASS data, mainly in the high period of scintillation to the southeast region.

**Key words:** VRS, MGI, Ionospheric Effect.

### 1 INTRODUÇÃO

Uma das tecnologias espaciais mais avançadas utilizada no posicionamento é o GNSS (*Global Navigation Satellite System*), no qual o princípio básico é a obtenção de distância entre a antena do receptor e, no mínimo, quatro satélites (MONICO, 2008).

O GNSS engloba os sistemas GPS (*Global Positioning System*), GLONASS (*Global Navigation Satellite System*), Galileo e Beidou, além dos sistemas de aumento baseados em satélites ou estações terrestres, SBAS (*Satellite Based Augmentation System*) e GBAS (*Ground-Based Augmentation System*), respectivamente.

Existem diversos tipos de posicionamento que se utilizam dos sinais GNSS, os quais podem ser classificados como: posicionamento absoluto ou por ponto; posicionamento relativo; posicionamento diferencial (DGPS – *Differential GPS*) e posicionamento baseado em redes. Estes métodos podem ser aplicados no modo estático ou cinemático e com processamento em tempo real ou pós – processado (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008; ALVES, 2008).

Dentre os métodos de posicionamento existe o baseado em redes, onde se pode empregar, entre outros, o conceito de VRS (*Virtual Reference Station*). A VRS é uma estação base gerada nas proximidades do receptor

móvel (usuário) que não existe fisicamente, mas que possibilita o uso de um receptor de simples frequência no posicionamento. A qualidade dos dados obtidos terá relação direta com a modelagem dos erros envolvidos (ALVES, 2008).

Do satélite até o receptor os sinais GNSS podem sofrer diferentes tipos de influência, que podem provocar variações em sua direção e velocidade de propagação, polarização e potência. Os efeitos ocasionados durante a passagem do sinal pela atmosfera, por exemplo, podem degradar a qualidade da observável GNSS e consequentemente a acurácia do posicionamento (CAMARGO, 1999; SEEBER, 2003).

A ionosfera é a principal fonte de erro sistemático no posicionamento pelo GNSS, e está relacionada com o TEC (*Total Electron Content*), presente na ionosfera, que por sua vez, é influenciado por diversas variáveis: ciclo solar, época do ano, hora local, localização geográfica e atividade geomagnética (CAMARGO, 1999).

Independente do método de posicionamento empregado a ionosfera deve ser modelada de forma adequada para que se possa alcançar a acurácia pretendida. Por esse motivo diversos modelos têm sido desenvolvidos, a fim de minimizar os efeitos causados pela ionosfera (ORTEGA, 2015). Um deles é o GIM (*Global Ionospheric Maps*), que é disponibilizado por diversos centros.

Nesse artigo será avaliada a qualidade do posicionamento fazendo uso de dados GPS e GPS/GLONASS, para períodos de alta e baixa atividade ionosférica aplicando o conceito de estações virtuais de referência. Para a obtenção dos dados virtuais foram utilizados produtos IGS para as correções ionosféricas.

## 2 IONOSFERA

A ionosfera é a camada da atmosfera que se estende de 50 km à 1000 km, a qual é composta de partículas carregadas eletricamente, chamadas íons. Os íons são átomos ou moléculas que ganharam ou perderam elétrons tendo carga elétrica negativa (ânions) ou carga elétrica positiva (cátions) (CAMARGO, 1999; AGUIAR, 2010).

A densidade de elétrons, responsável pela descrição do estado da ionosfera, sofre diferentes variações quando se leva em consideração: as coordenadas geográficas ou geomagnéticas, a hora local, a altitude, a estação do ano, o ciclo de manchas solares, as tempestades geomagnéticas e, até mesmo, as marés e os ventos na termosfera (OSÓRIO, 1992 apud CAMARGO, 1999).

Também existem irregularidades presentes na ionosfera como as bolhas ionosféricas, que podem afetar o sinal GNSS. Uma das consequências dessas bolhas é a cintilação ionosférica, que tem relação com as variações na densidade de elétrons (CONKER et al., 2003; MONICO, 2008).

A fim de amenizar os efeitos da ionosfera alguns modelos podem ser utilizados como o de Klobuchar (que

elimina até 50% do efeito), modelos regionais, como o Mod\_Ion desenvolvido por Camargo (1999) e modelos globais (GIM). Além disso, se disponíveis dados de duas frequências, pode ser realizada a combinação linear *Ion-Free*, na qual os efeitos de primeira ordem da ionosfera são eliminados, entre outras possibilidades (MONICO, 2008). A seguir são apresentados alguns conceitos relacionados à cintilação ionosférica e aos modelos globais da ionosfera.

### 2.1 Cintilação ionosférica

As cintilações ionosféricas são rápidas variações aleatórias na fase e amplitude do sinal de rádio recebido, as quais são causadas por irregularidades na densidade de elétrons ao longo do caminho percorrido pelo sinal na ionosfera. Essas variações podem enfraquecer o sinal recebido pelos receptores GNSS, fazendo com que ocorra em muitos casos a degradação ou até mesmo perda do sinal (CONKER et al., 2000; EL GIZAWY, 2003; WEBSTER, 1993 apud AGUIAR, 2010).

Períodos de cintilação estão associados à existência de regiões com pequena escala de irregularidades na densidade de elétrons na camada ionosférica. Estes padrões de irregularidades podem se mover através da ionosfera. A severidade dos efeitos da cintilação está relacionada à densidade de elétrons e ao tamanho dos padrões de irregularidades ionosféricas (AGUIAR, 2010). Os fenômenos de cintilação ocorrem com maior frequência nas regiões de altas latitudes e equatorial.

No Brasil, as ocorrências de cintilações são mínimas de abril até agosto e máximas de setembro a março. Os horários de cintilação mais intensos são limitados à uma hora após o pôr do Sol, até aproximadamente à meia noite local (CAMPOS et al., 1993).

A classificação da cintilação ionosférica pode ser feita através de valores do índice  $S_4$ , o qual mede a intensidade da cintilação ionosférica (NIU, 2012):

$$S_4^2 = \frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle I \rangle^2}, \quad (1)$$

onde  $I$  corresponde à variação normalizada da intensidade do sinal recebido.

Segundo *Tiwari et al.* (2011), o índice  $S_4$  pode ser classificado dependendo diretamente da intensidade de cintilação ocorrida do dia em análise, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Classificação do índice  $S_4$

| $S_4$           | Classes  |
|-----------------|----------|
| $S_4 > 1$       | Forte    |
| $0,5 < S_4 < 1$ | Moderada |
| $0 < S_4 < 0,5$ | Fraca    |

Fonte: *Tiwari et al.* (2011)

A fim de analisar os efeitos da cintilação ionosférica foi desenvolvido o projeto CIGALA/CALIBRA (*Countering GNSS high Accuracy applications Limitations due to Ionospheric disturbances in BRAZIL /Concept for Ionospheric Scintillation Mitigation for Professional GNSS in Latin America*), disponível em: (<http://is-cigala-calibra.fct.unesp.br/is/>) que permite análises e consultas sobre a base de dados de monitoramento da ionosfera, sendo que a geração de gráficos é realizada a partir da seleção do período do ano (VANI et al., 2016).

## 2.2 Mapas Globais da Ionosfera

No ano de 1998 o IGS, a partir do seu grupo de trabalho da ionosfera, teve início a produção de Mapas Globais da Ionosfera, os quais disponibilizam valores de VTEC (*Vertical TEC*) calculados usando dados GPS coletados pela sua rede de receptores de dupla frequência (FELTENS e SCHAER, 1998).

Os GIMs são disponibilizados no formato IONEX (*IONosphere map EXchange format*), os quais fornecem valores de VTEC em um *grid* com resolução espacial de 2,5° x 5° em latitude e longitude, respectivamente, enquanto que a resolução temporal é de 2 horas e o tempo de latência de 11 dias (PENHA e ORIHAN, 2013).

Desde o fim de 2002, para cada dia, os arquivos IONEX gerados por cada um dos centros de análise são combinados para resultar em um único arquivo IONEX, ou seja, um único arquivo global do VTEC (PENHA e ORIHAN, 2013). Ao fim, os arquivos de cada centro e o arquivo combinado são disponibilizados pelo IGS, no seguinte endereço eletrônico: <ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/gps/products/ionex/>.

No Brasil, a rede IGS é pouco densificada, havendo apenas 8 estações GNSS, localizadas em Brasília, Eusébio, Cachoeira Paulista, Porto Velho, Recife, São Luiz, Salvador e Curitiba. O fato da rede no Brasil ter poucas estações pode influenciar na precisão média dos valores do VTEC (ORTEGA, 2015).

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

As estações da RBMC (Figura 1) utilizadas como base foram: POAL (Porto Alegre- RS), OURI (Ourinhos-SP), e CEFT (Fortaleza –CE), para a região Sul, Sudeste e Nordeste, respectivamente. Essas estações foram escolhidas de forma que ficassem próximas das estações da Rede CIGALA/CALIBRA (Figura 2): POAL, PRU2 e FORT, para possibilitar análises dos resultados com relação aos índices de cintilação. A consulta dos dados da rede foi possível a partir da ferramenta *ISMR Query Tool* (Figura 3) (VANI et al., 2016).

As VRSs foram geradas no período de baixa (19 a 23 de junho) e de alta (24 a 28 de outubro) cintilação no ano de 2014. A escolha desses dias foi feita a partir da análise do índice S4, obtido com o auxílio da ferramenta *ISMR Query Tool*, como é possível observar na Figura 3.

Para gerar as VRSs de cada região utilizou-se uma estação como referência com distância de aproximadamente 100 km. As coordenadas em SIRGAS 2000 usadas para as VRSs em cada região são apresentadas na Tabela 2.



Figura 1- Localização das estações RBMC utilizadas

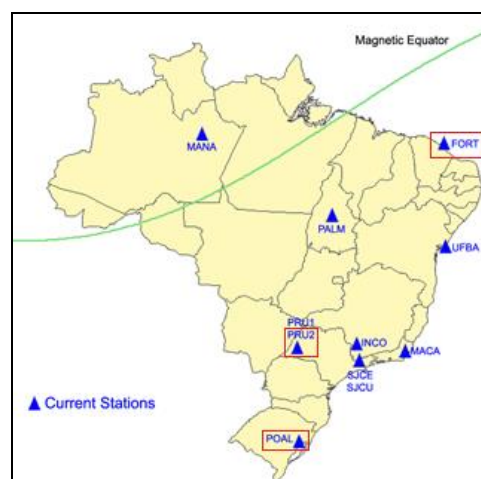


Figura 2- Distribuição das Estações da Rede CIGALA/CALIBRA

Tabela 2- Coordenadas das VRSs de cada região

| Região   | Coordenadas |              |              |
|----------|-------------|--------------|--------------|
|          | X(m)        | Y(m)         | Z(m)         |
| Sul      | 3467183,919 | -4357762,468 | -3099983,456 |
| Sudeste  | 3766102,240 | -4567407,880 | -2367310,354 |
| Nordeste | 4970840,771 | -3963437,412 | -512189,938  |

Os experimentos foram realizados utilizando os arquivos de observação obtidos com o programa VRS-UNESP (ALVES, 2008, 2011), desenvolvido por pesquisadores da FCT/UNESP na linguagem C++. O sistema realiza RTK em Rede utilizando o conceito de VRS no modo pós-processado, com caráter científico.

No sistema VRS-UNESP foram utilizados como dados de entrada:

- Arquivos de observação GPS e GPS/GLONASS de dados das redes GNSS/SP e RBMC no formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*);
- Arquivos de efemérides precisas (no formato SP3) disponibilizadas pelo IGS;
- Arquivos ionosféricos no formato IONEX, disponibilizado pelo IGS;

Com menor tempo de coleta o maior número de satélites pode fornecer melhoria na geometria dos mesmos, enquanto para intervalos de coleta maiores o aumento do número de constelações disponíveis se torna menos significativa (JEREZ, 2017). Por esse motivo foram utilizados arquivos de três estações com tempo de coleta de dados de 30 minutos, uma vez que a objetivo do experimento é simular um conceito de RTK e, além disso, estudos anteriores como Jerez et al. (2015) indicaram resultados mais significativos do uso de dados combinados para intervalos de coleta mais curtos.

Para os processamento dos dados gerados para as VRSs foi utilizado o *software* online CSRS-PPP (*Canadian Spatial Reference System*) desenvolvido pelo *Geodetic Survey Division of NRCAN (Natural Resources of Canada)*. O mesmo realiza o PPP com dados GNSS no modo estático e cinemático para dados de simples ou dupla frequência, está disponível em: (<http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>). A partir desse *software* foi possível realizar a avaliação da qualidade da posição obtida com os dados das VRSs geradas no posicionamento baseado em redes.

Com o auxílio do software do NRCAN os arquivos foram submetidos ao pós-processamento no modo estático

no PPP. A partir dos resultados obtidos com os processamentos foram calculadas as discrepâncias nas coordenadas, já que a coordenada na qual os dados da VRS devem ser gerados é conhecida. Com essas discrepâncias e os desvios padrão foram então calculados os EMQs 3D (Erro Médio Quadrático) das posições das estações utilizadas.

#### 4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo são apresentados os resultados e análises do experimento. As Figuras 4, 5 e 6 apresentam o EMQ 3D da região Sul, Sudeste e Nordeste, respectivamente, no período de baixa e alta atividade ionosférica.

A partir das Figuras 4, 5 e 6 nota-se que no período de maior ocorrência de efeitos de cintilação, a região Sudeste foi a que apresentou o maior EMQ 3D, chegando a atingir 3,95 m com dados GPS. Isso pode ter ocorrido devido à influência espacial, ou seja, a estação estar localizada em região próxima ao pico do efeito da anomalia equatorial e irregularidades ionosféricas que ocorrem na região equatorial, coincidindo assim com a região Sudeste.

Já no período de baixa cintilação foi possível observar que nas três regiões o comportamento dos dados GPS e GPS/GLONASS foi similar. Em todas as regiões apresentadas observa-se que houve melhoria no posicionamento com dados GPS/GLONASS, tanto no período de baixa como no de alta cintilação. A Tabela 3 apresenta a diferença entre os EMQs 3D obtidos com dados GPS e GPS/GLONASS.

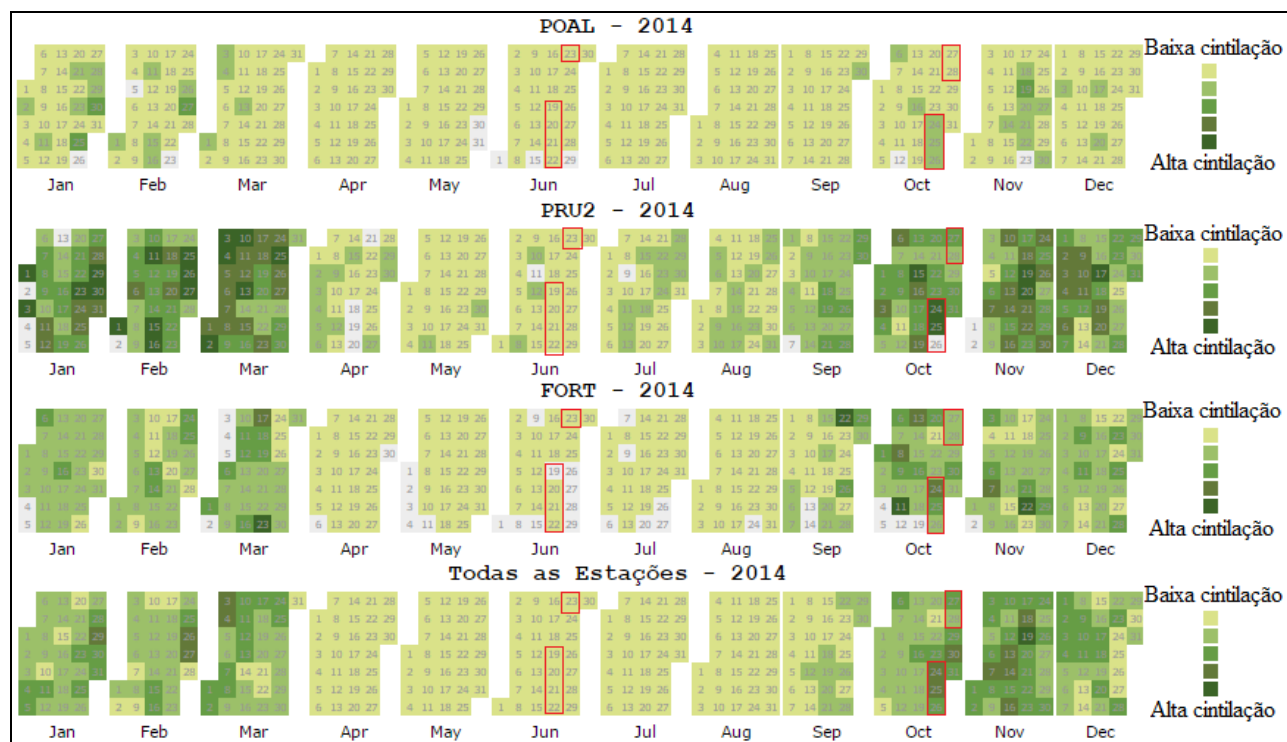


Figura 3- Índice de S4 das estações da Rede CIGALA/CALIBRA

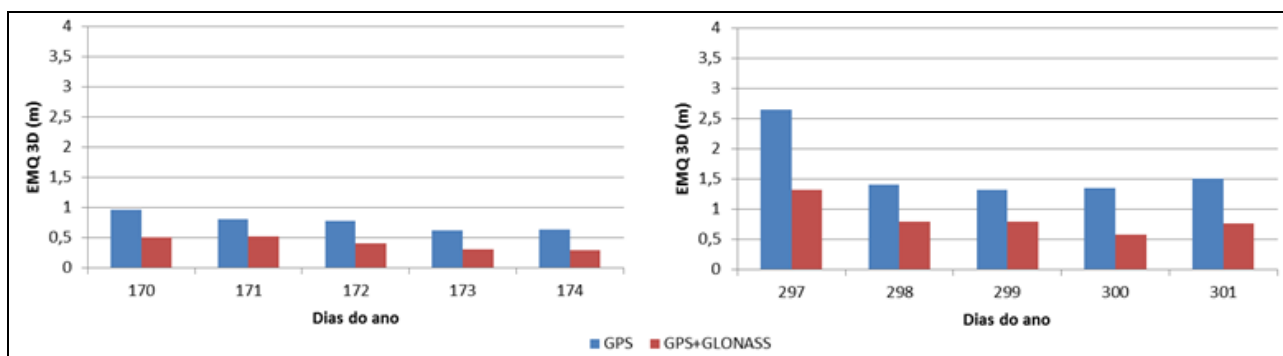


Figura 4- EMQ 3D da Região Sul

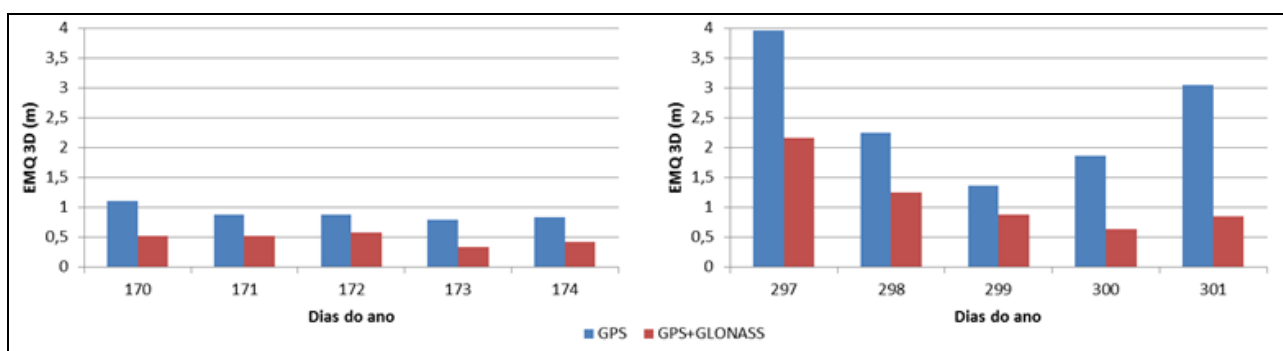


Figura 5- EMQ 3D da Região Sudeste

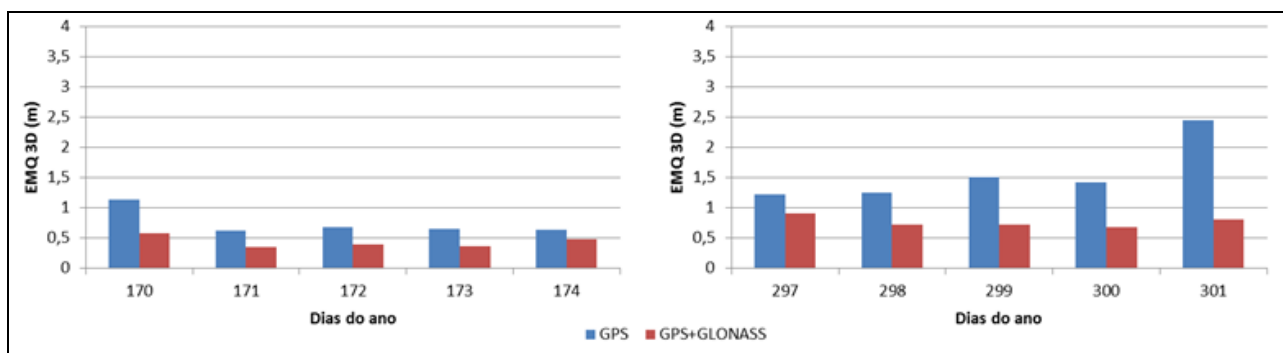


Figura 6- EMQ 3D da Região Nordeste

Tabela 3- Melhoria do EMQ 3D utilizando dados GPS/GLONASS em relação ao EMQ 3D com apenas dados GPS

| Dias                                   | Discrepância (m) |              |              |              |
|--|------------------|--------------|--------------|--------------|
|  | Sul              | Sudeste      | Nordeste     |              |
| Período de baixa atividade ionosférica | 170              | 0,455        | 0,585        | 0,559        |
|  | 171              | 0,285        | 0,354        | 0,275        |
|  | 172              | 0,375        | 0,308        | 0,285        |
|  | 173              | 0,323        | 0,465        | 0,294        |
|  | 174              | 0,340        | 0,400        | 0,165        |
|  | <b>Média</b>     | <b>0,356</b> | <b>0,423</b> | <b>0,316</b> |
| Período de alta atividade ionosférica  | 297              | 1,338        | 1,786        | 0,306        |
|  | 298              | 0,609        | 0,993        | 0,540        |
|  | 299              | 0,521        | 0,486        | 0,781        |
|  | 300              | 0,771        | 1,230        | 0,741        |
|  | 301              | 0,743        | 2,204        | 1,648        |
|  | <b>Média</b>     | <b>0,796</b> | <b>1,339</b> | <b>0,803</b> |

Tabela 4- Melhoria no EMQ 3D em porcentagem

| Dias                                   | Discrepância (%) |             |             |             |
|--|------------------|-------------|-------------|-------------|
|  | Sul              | Sudeste     | Nordeste    |             |
| Período de baixa atividade ionosférica | 170              | 47,6        | 53,2        | 49,1        |
|  | 171              | 35,3        | 40,6        | 44,4        |
|  | 172              | 48,0        | 35,0        | 41,9        |
|  | 173              | 51,9        | 58,7        | 44,9        |
|  | 174              | 54,0        | 48,4        | 26,0        |
|  | <b>Média</b>     | <b>47,4</b> | <b>47,2</b> | <b>41,2</b> |
| Período de alta atividade ionosférica  | 297              | 50,4        | 45,1        | 25,1        |
|  | 298              | 43,3        | 44,2        | 43,0        |
|  | 299              | 39,5        | 35,7        | 52,0        |
|  | 300              | 57,3        | 66,1        | 52,0        |
|  | 301              | 49,4        | 72,3        | 67,3        |
|  | <b>Média</b>     | <b>48,0</b> | <b>52,7</b> | <b>47,9</b> |

Observando a Tabela 3 é possível constatar que a região Sudeste apresentou a maior diferença média tanto no período de baixa como no de alta cintilação. Já na região Sul constata-se que no período de alta atividade ionosférica foi a que exibiu a menor diferença média, enquanto que no período de baixa cintilação foi a região Nordeste.

A Tabela 4 apresenta a melhoria nos resultados com a utilização de dados GPS e GLONASS em porcentagem. A partir da Tabela 4 é possível notar que na região Sudeste houve uma melhoria no posicionamento ao se utilizar GPS+GLONASS ao invés de apenas GPS de 47,2% e 52,7% nos dias de baixa e alta cintilação ionosférica, respectivamente, dessa forma, a região Sudeste foi a que apresentou a melhoria mais significativa, quando comparada com as demais.

#### 4 CONCLUSÕES

No presente trabalho foi proposta a realização de um experimento aplicando o posicionamento baseado em redes, no conceito de VRS. Para a obtenção dos dados de observação foram empregados os GIMs disponibilizados pelo IGS, com dados de três estações RBMC para períodos de alta e baixa atividade ionosférica. Os dados obtidos para a VRS foram processados em um *software* de PPP.

A partir dos resultados obtidos nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, observou-se que ao utilizar dados GLONASS em conjunto com dados GPS houve melhoria significativa no posicionamento.

No mês de Outubro a região Sudeste apresentou a maior diferença média em EMQ com dados GPS e GPS/GLONASS, chegando a atingir 1,339 m de melhoria. Já no mês de Junho essa mesma região chegou a atingir 0,423 m.

Constatou-se também que o uso combinado dos dados foi mais relevante no período de alta atividade ionosférica, a qual chegou a atingir mais de 50% de melhoria no posicionamento, para os dias considerados. Ressalta-se que este foi um estudo preliminar sendo que mais análises devem ser realizadas em trabalhos futuros.

#### AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento da pesquisa do primeiro autor através de bolsa PIBIC.

#### REFERÊNCIAS

AGUIAR, C. R. **Grade ionosférica para aplicações em posicionamento e navegação com GNSS. 2010.** 256 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Presidente Prudente.

ALVES, D. B. M. **Posicionamento Baseado em redes GPS utilizando o conceito de estação virtual, 2008.**

Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

ALVES, D. B. M. **Desenvolvimento e Implantação do RTK em Rede para Posicionamento Geodésico no Estado de São Paulo, 2011.** Pós-Doutorado – Universidade Estadual Paulista – Departamento de Cartografia, Presidente Prudente.

CAMARGO, P. O. **Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores GPS de uma frequência. 1999.** 191f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CAMARGO, P.O.; PEREIRA, V. A. S. ARANA, D. **Erro Sistemático Devido Ao Hardware Dos Satélites E Receptores.** III Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente – SP, 25–27 de julho de 2012. v.1.

CAMPOS, M.A.; WANNINGER, L.; SEEGER, G. **Condições ionosféricas perturbadas e os sinais GPS.** In: III Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica – Resumos Expandidos, Rio de Janeiro/RJ, p.601-604, 7 a 11 de novembro, 1993.

CONKER, R. S.; EL-ARINI, M. B.; HEGARTY, C. J.; HSIAO, T. Modeling the Effects of Ionospheric Scintillation on GPS/Satellite-Based Augmentation System Availability. *Radio Science*. Virginia. V. 38 (1): 1-23, 2003.

FELTENS, J.; SCHAER, S.. IGS Products for the Ionosphere. In: **Proceeding of the IGS Analysis Centre Workshop**, edited by J. M. Dow et al., p. 225- 232, ESA/ESOC, Darmstadt, Germany, Februray 9-11, 1998.

H O F M A N N - W E L L E N H O F, B. ; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS – Global navigation satellite systems, GPS, GLONASS, Galileo and more.** Springer-Verlage Wien, 2008. 501p.

INPE - **Instituto Nacional de Pesquisas.** Disponível em: < <http://www.inpe.br/> >. Acesso em: 10 Ago. 2013

JEREZ, G.O.; ALVES, D.B.M.; SOUZA, J.S.. **Análise do uso combinado GPS/GLONASS no posicionamento sob efeito de cintilação ionosférica. 2015.** Revista Brasileira de Cartografia, v.67, n. 1, 2015, p.201-214.

JEREZ, G. O. **Análise da integração GPS/GLONASS para posicionamento sob efeito de cintilação ionosférica. 2017.** 154p. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Presidente Prudente.

NIU, F. **Performances of GPS signal observables detrending methods for ionosphere scintillation studies. 2012.** 58 p. Thesis (MSc in Science) –

Department of Electrical and Computer Engineering,  
Miami University, Oxford.

ORTEGA, M.C.. **Análise do impacto do efeito ionosférico e cintilação ionosférica no posicionamento baseado em redes em períodos de alta e baixa atividade solar. 2015.** 122p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Presidente Prudente.

PENHA, J. W. ; ORIHAN, M.. **Mapas do efeito ionosférico nas observáveis GPS pelo parâmetro VTEC no declínio do ciclo de manchas solares no Brasil.** In: XVI SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu - PR. Anais do 16º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos - SP: MCT/INPE, 2013. p. 1899-1907.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications.** Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003.

TIWARI, R.; SKONE, S.; TIWARI, S.; STRANGWAYS, H. J. 3WBMod Assisted PLL GPS Software Receiver for Mitigating Scintillation Affect in High Latitude Region. **IEEE**, 2011. Disponível em:<<http://www.ursi.org/proceedings/procGA11/ursi/FG-4.pdf>>. Acesso em: 10 dez.2013.

VANI, B. C.; SHIMABUKURO, M. H.; MONICO, J. F. G.. Visual exploration and analysis of ionospheric scintillation monitoring data: The ISMR Query Tool. **Computers & Geosciences**, 2016. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2016.08.022>>. Acesso em: 29 mar. 2017