

# ANÁLISE DO MODELO TROPOSFÉRICO EMPREGADO NA GERAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA VIRTUAL UTILIZANDO O POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO<sup>1</sup>

*Analysing of a tropospheric model so as to generated a virtual reference station by  
using a precise point positioning method*

DANIELE BARROCA MARRA ALVES  
JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO  
LUIZ FERNANDO ANTONIO DALBELO

Universidade Estadual Paulista - UNESP  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT  
Presidente Prudente – SP  
danibarroca@yahoo.com.br, galera@fct.unesp.br, lfdalbelo@gmail.com

## RESUMO

Nos dias atuais é cada vez maior o interesse em se realizar posicionamento com alta acurácia. Um dos métodos que tem sido amplamente utilizado pela comunidade científica é o posicionamento baseado em redes. Com o uso de múltiplas estações de referência pode-se obter posicionamento centimétrico em uma ampla área de cobertura, além do ganho em confiabilidade, disponibilidade e integridade do serviço. Além disso, usando este conceito, é possível modelar os efeitos atmosféricos (refração troposférica e efeito ionosférico). Outra questão importante diz respeito às formas de transmissão das correções geradas pela rede para o usuário. Existem algumas possibilidades para esse fim. Dentre elas, o uso do conceito de *Virtual Reference Station* (VRS) tem se mostrado muito eficiente. No conceito de VRS, uma estação de referência é gerada nas proximidades do receptor móvel (usuário). Assim, o usuário tem a possibilidade de utilizar um receptor de simples frequência para realizar o posicionamento relativo de uma linha de base curta. Para testar esse método de posicionamento um *software* vem sendo desenvolvido na FCT/UNESP. Neste artigo a metodologia utilizada para gerar os

---

<sup>1</sup> Uma versão prévia deste trabalho foi apresentada no II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas.

dados da VRS é descrita e a qualidade da VRS é analisada utilizando o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP).

**Palavras-chave:** Posicionamento Baseado em Redes; VRS; Modelo Troposférico.

### ABSTRACT

In the past few years the interest is accomplishing a high accuracy positioning increasing. One of the methods that has been applied by the scientific community is the network based on positioning. By using multiple reference station data, it is possible to obtain centimetric positioning in a larger coverage area, in addition to gain in reliability, availability and integrity of the service. Besides, using this concept, it is possible to model the atmospheric effects (troposphere refraction and ionosphere effect). Another important question concerning this topic is related to the transmission of the network corrections to the users. There are some possibilities for this fact and an efficient one is the Virtual Reference Station (VRS) concept. In the VRS concept, a reference station is generated near to the rover receiver (user). This provides a short baseline and the user has the possibility of using a single frequency receiver to accomplish the relative positioning. In order to test this kind of positioning method, a software has been developed at São Paulo State University. In this paper, the methodology applied to generate the VRS data is described and the VRS quality is analyzed by using the Precise Point Positioning (PPP) method.

**Keywords:** Network Based Positioning; VRS; Tropospheric Model.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, várias técnicas de posicionamento têm sido desenvolvidas e/ou utilizadas com o objetivo de explorar a capacidade que o GPS possui de prover coordenadas acuradas em tempo real, ou até mesmo quando o receptor está se movendo ao longo de uma trajetória. Dentre as técnicas utilizadas o RTK (*Real Time Kinematic*) tem grande destaque. Utilizando o RTK é possível realizar posicionamento com acurácia centimétrica. Além disso, são inúmeras as possibilidades de aplicação (SEEBER, 2003).

No entanto, um fator limitante para o RTK é a decorrelação espacial dos erros (efeito ionosférico, refração troposférica e erro nas órbitas dos satélites). Quando existe um aumento da distância entre o receptor móvel (usuário) e a estação de referência os erros diminuem consideravelmente a eficiência do método (LANDAU, VOLLATH e CHEN, 2002).

Para superar essa limitação surge o conceito de redes de estações de referência. Com o uso de uma rede é possível modelar os erros sistemáticos na região, fazendo com que esses erros sejam reduzidos e a acurácia do posicionamento melhorada (LACHAPPELLE e ALVES, 2002).

Diversos métodos vêm sendo desenvolvidos para formular correções a partir dos dados de uma rede de estações de referência. Em Alves et. al (2005) são

descritos os principais métodos. Dentre esses métodos, o conceito de VRS (*Virtual Reference Station*) tem sido muito abordado.

Assim, os autores desse trabalho desenvolveram um *software* capaz de gerenciar os dados de uma rede de estações de referência e gerar uma VRS utilizando, dentre outras informações, modelos atmosféricos.

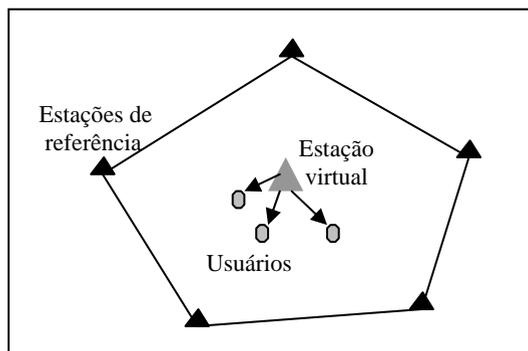
Portanto, nesse artigo, é apresentada a metodologia utilizada para gerar a VRS. Além disso, é realizada uma análise utilizando o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) para verificar a qualidade da VRS gerada. Para análises utilizando outros métodos de posicionamento, como o posicionamento relativo e o DGPS (Differential GPS), consulte Alves et al. (2007) ou Alves (2008).

## 2. VRS

Para utilizar o conceito de VRS, em tempo real, os dados das estações de referência são enviados para um computador de controle central via uma rede de comunicação. Esse computador central, juntamente com *softwares* apropriados, utiliza os dados das estações de referência para modelar os erros sistemáticos (que limitam a acurácia do posicionamento GPS) e gerar correções apropriadas para serem utilizadas na área de abrangência da rede (ZHANG e ROBERTS, 2003).

Para gerar a VRS para um determinado usuário, a sua localização aproximada deve ser transmitida para o computador de controle central. Dessa forma, um link de comunicação bi-direcional entre o usuário e o controle central deve ser estabelecido. Essa comunicação pode ser realizada, por exemplo, via Internet através de telefones celulares. O computador central gera o arquivo de observação dessa estação virtual e o envia para o usuário, que pode realizar o posicionamento relativo utilizando a VRS como se fosse uma estação de referência nas suas proximidades (Figura 1).

Figura 01 – Conceito de estação de referência virtual.



Fonte: Adaptado de Wanninger (1999).

Dessa forma, a idéia básica do conceito de VRS é gerar uma estação que não existe fisicamente, mas que simule uma estação de referência próxima ao receptor móvel (ZHANG e ROBERTS, 2003; RETSCHER, 2002; HIGGINS, 2001). Assim, o usuário utiliza os dados dessa VRS como se ela fosse uma estação de referência real (LANDAU, VOLLATH e CHEN, 2002).

A Figura 2 ilustra as principais etapas adotadas nessa pesquisa para a geração da VRS. Primeiramente é necessário selecionar a estação base da rede<sup>2</sup>. Para isso, são calculadas as distâncias entre a posição da VRS e as estações de referência da rede. A estação de referência mais próxima é selecionada como base. A partir dos dados dessa estação base são gerados os dados da VRS. Para tanto, são inseridos nos dados da estação base os deslocamentos geométricos (DG) (ALVES et al., 2006; ALVES et al., 2007; ALVES, 2008; HU et al., 2003).

Depois de inserido o DG nos dados coletados pela estação base, o arquivo da VRS já pode ser gerado (Figura 2) no formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) e o usuário pode realizar o posicionamento relativo considerando a VRS como estação base. Mas, nesse caso, o arquivo gerado para a VRS não foi corrigido dos efeitos atmosféricos. É claro que nas aplicações práticas onde a VRS é empregada, os efeitos atmosféricos sempre devem ser inseridos. Nesse artigo também é analisada a possibilidade de gerar a VRS sem correções atmosféricas, pois com isso é possível avaliar quanto tais modelos contribuem na geração da VRS.

Seguindo o fluxograma apresentado na Figura 2, também existe a possibilidade de realizar correções relativas aos efeitos atmosféricos para gerar a VRS. Assim, pode-se acrescentar aos dados a correção relativa à refração troposférica (refração troposférica da estação base menos a refração troposférica da VRS) e/ou a correção relativa ao efeito ionosférico (efeito ionosférico da estação base menos o efeito ionosférico da VRS). Após inseridas as correções o arquivo da VRS já pode ser gerado no formato RINEX e o usuário pode utilizá-lo.

Na metodologia proposta o erro devido à refração troposférica pode ser calculado pelo modelo empírico de Hopfield (SEEBER, 2003) ou por um modelo de Previsão Numérica do Tempo (PNT) desenvolvido para a América do Sul por pesquisadores da FCT/UNESP e CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (<http://satellite.cptec.inpe.br/htmldocs/ztd/zenital.htm>) (SAPUCCI et al., 2003; SAPUCCI et al., 2006; ALVES et al., 2007; MONICO et al., 2006).

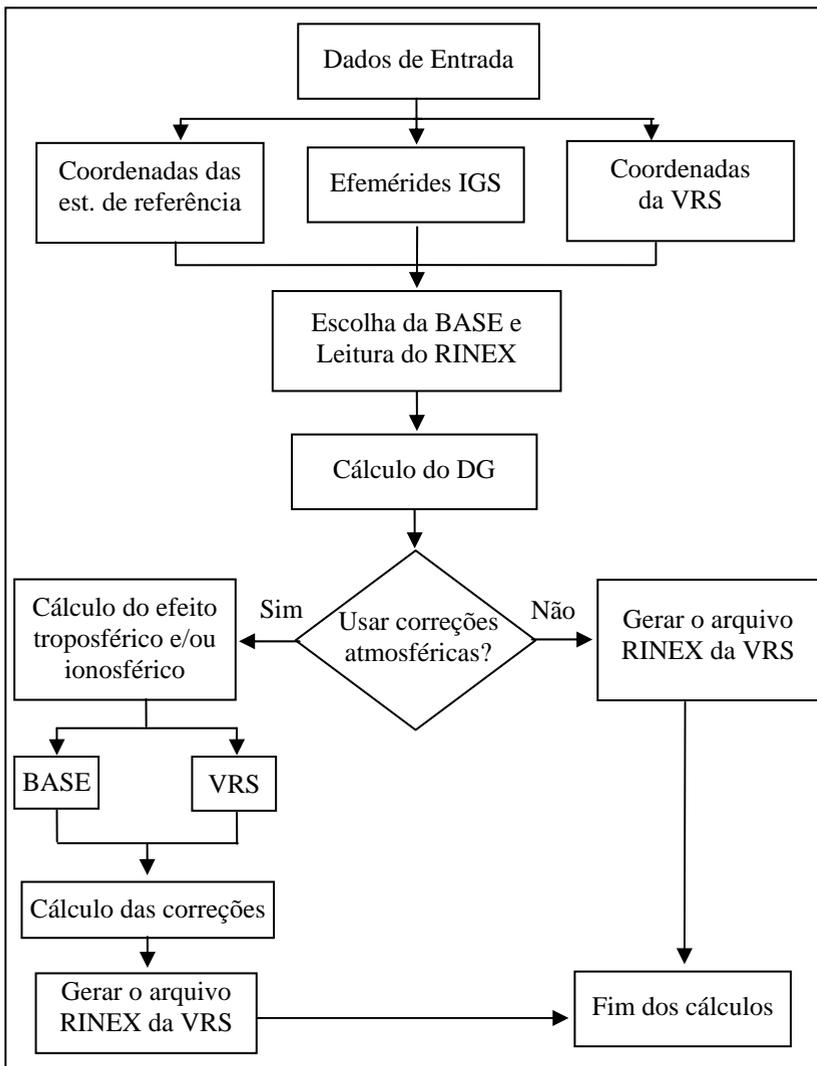
No que concerne a modelagem da ionosfera, o erro devido ao efeito ionosférico pode ser calculado utilizando um modelo desenvolvido por pesquisadores da FCT/UNESP denominado Mod\_Ion\_FK (CAMARGO, 1999; AGUIAR, 2005) ou pelos mapas globais da ionosfera (MGI) disponíveis online. No

---

<sup>2</sup> A nomenclatura utilizada “estação base” está relacionada com a estação da rede mais próxima ao usuário. Não se deve confundir-la com a estação base utilizada no posicionamento relativo, por exemplo.

entanto, como os MGI não apresentaram uma boa performance em testes realizados, apenas os resultados obtidos pelo MOD\_Ion\_FK serão apresentados nesse artigo.

Figura 2 – Etapas utilizadas para gerar a VRS.

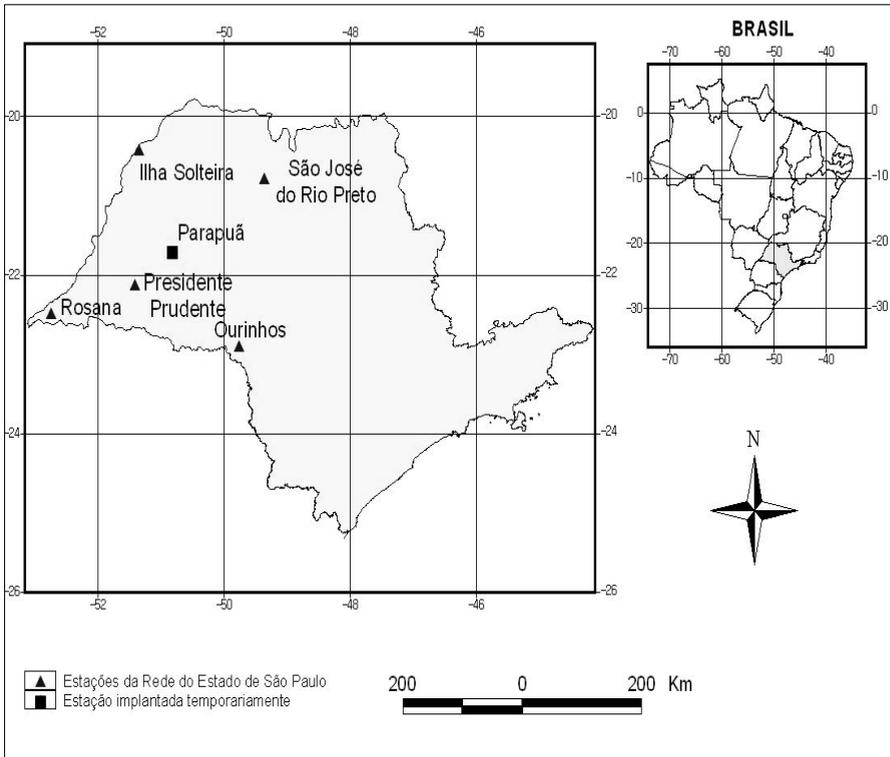


Para mais detalhes dos modelos atmosféricos utilizados, bem como sua implementação, consulte Alves (2008).

### 3. RESULTADOS E ANÁLISES

Para gerar a VRS utilizando a metodologia descrita na seção 2 foram utilizados dados da rede GPS ativa do Oeste do Estado de São Paulo (ILHA – Ilha Solteira, SJRP – São José do Rio Preto, ROSA - Rosana, OURI - Ourinhos, PPTE – Presidente Prudente) (<http://gege.prudente.unesp.br/>) e de uma estação adicional coletada na cidade de Parapuã (SEM2) (Figura 3).

Figura 3 - Estações utilizadas nos experimentos.



Os dados foram coletados nos dias 28, 29 e 30 de Dezembro de 2006 (dias 362, 363, 364) e no dia 2 de Janeiro de 2007 (dia 002), 24 horas por dia.

A VRS foi gerada utilizando diferentes procedimentos. A Tabela 1 apresenta as siglas que serão utilizadas para cada procedimento.

Tabela 1 – Opções utilizadas para gerar a VRS,

Geometria	Troposfera	Ionosfera	Siglas
DG	---	---	DG
	PNT	---	DG+PNT
		Mod_Ion_FK	DG+MOD+PNT
	Hopfield	---	DG+HOP

Para facilitar as análises a VRS foi gerada na mesma posição de uma estação real da rede, a estação PPTE. Dessa forma, é possível avaliar os resultados obtidos pela VRS com relação ao arquivo real.

Para verificar a eficiência da metodologia proposta para gerar a VRS, foi realizado o PPP no modo estático e cinemático com os dados reais da estação PPTE e com os dados da VRS gerada por todas as opções descritas na Tabela 1. Para tanto, foi utilizado um *software* disponível online pelo NRCan (*Natural Resources Canada*) no site <[http://www.geod.nrcan.gc.ca/online\\_data\\_e.php](http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php)>. Mais detalhes sobre o método PPP podem ser encontrados em (ZUMBERGE, et al., 1997, Monico, 2000).

O *software* que realiza o PPP disponibiliza o atraso zenital troposférico (ZTD – *Zenithal Tropospheric Delay*) estimado a partir dos dados da estação. Portanto, na seção 3.1 são apresentados os atrasos troposféricos obtidos pelo arquivo real (PPTE) e pela VRS gerada por DG, DG+PNT e DG+HOP. Espera-se que os resultados apresentados pelos procedimentos DG+PNT e DG+HOP se assemelhem daqueles apresentados pelo arquivo real. Além disso, o procedimento DG deve propiciar resultados piores, pois os dados da VRS não foram corrigidos da refração troposférica.

Para avaliar a qualidade das coordenadas da estação obtidas no PPP com a VRS gerada, a seção 3.2 apresenta uma comparação entre as coordenadas de referência<sup>3</sup> e as obtidas tanto para o arquivo real como para as VRSs geradas. Da mesma forma, espera-se que os piores resultados sejam apresentados pela VRS gerada pelo procedimento DG.

### 3.1. Avaliando o ZTD estimado

A Tabela 2 apresenta o ZTD médio estimado através do PPP no modo estático e cinemático para a estação PPTE e para as VRSs geradas.

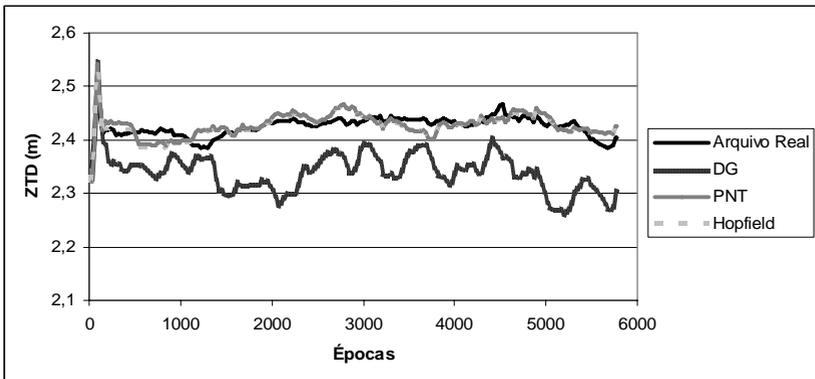
<sup>3</sup> A estação PPTE pertence a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). Portanto suas coordenadas são conhecidas. Assim, nesse artigo, as coordenadas da estação PPTE são consideradas como referência nas análises realizadas.

Tabela 2 – ZTD médio (em metros) estimado para 24h de dados.

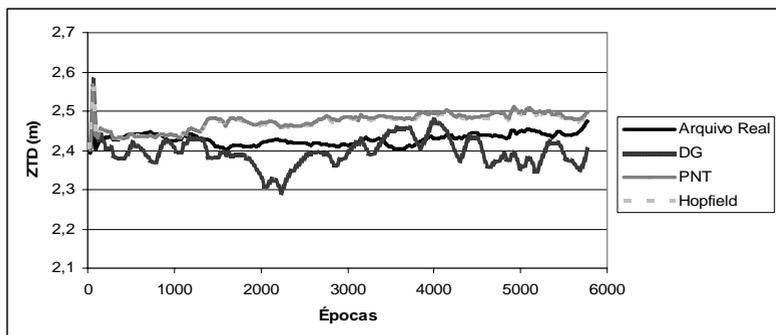
Modo	Dia	PPTE	DG	DG+PNT	DG+HOP
<b>Estático</b>	362	2,43	2,34	2,43	2,42
	363	2,43	2,40	2,47	2,47
	364	2,48	2,42	2,51	2,51
	002	2,53	2,46	2,55	2,54
<b>Cinemático</b>	362	2,42	2,37	2,43	2,43
	363	2,43	2,40	2,47	2,47
	364	2,47	2,45	2,51	2,51
	002	2,52	2,49	2,55	2,54

Como pode ser observado na Tabela 2 os valores do ZTD obtidos pela VRS são próximos dos valores obtidos pelo arquivo real, principalmente para os modos DG+PNT e DG+HOP. Mas, observando a média do dia pode-se ter uma impressão errônea a respeito da performance da VRS gerada, portanto, se faz necessário observar o comportamento do ZTD época por época. Assim, como os melhores resultados são obtidos para o dia 362 e os piores para o dia 363, as Figuras 4 (modo estático) e 5 (modo cinemático) mostram o comportamento do ZTD época por época para esses dois dias.

Figura 4 – ZTD obtido pelo PPP no modo estático.

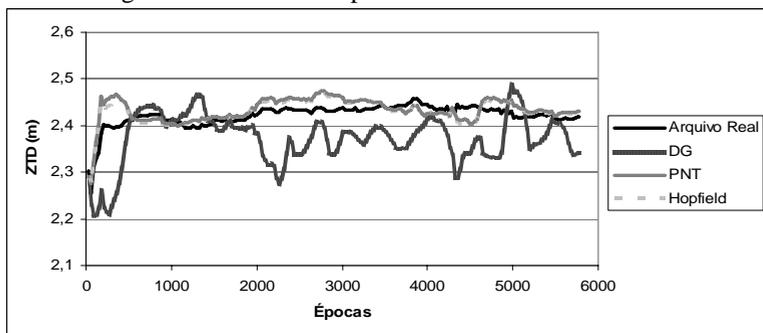


(a) Dia 362.

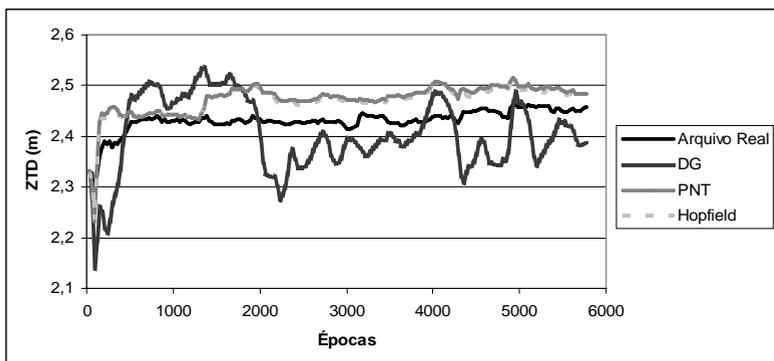


(b) Dia 363

Figura 5 – ZTD obtido pelo PPP no modo cinemático.



(a) Dia 362.



(b) Dia 363.

Observando a Figura 4 pode-se perceber que os resultados apresentados pela VRS estimada por DG+PNT e DG+HOP (cinza) apresentam os melhores resultados, até mesmo para o dia 363. Além disso, os resultados são similares para esses dois modos (aparecem sobrepostos na figura). Esses resultados são muito próximos dos apresentados pelo arquivo real da estação PPTE (linha preta contínua). Note que para o modo DG (linha preta vazada), como esperado, os resultados são muito piores. Em relação à Figura 5, as mesmas conclusões podem ser adotadas.

Os resultados apresentados pela Tabela 2 e Figuras 4 e 5 mostram que os modelos de troposfera utilizados para gerar a VRS são adequados, pois os resultados do ZTD apresentados pela VRS são muito próximos dos apresentados pelo arquivo real.

Cabe acrescentar que o erro devido a troposfera tem influência direta no posicionamento. Portanto, é indispensável que os dados gerados para a VRS representem de forma adequada o efeito da troposfera. Na próxima seção, essa influência é quantificada no PPP.

### 3.2 Avaliando as coordenadas obtidas

Como pôde ser observado na seção anterior, os resultados apresentados pela VRS gerada por DG+PNT e DG+HOP foram similares. Portanto, nessa seção, apenas os resultados obtidos por DG+PNT serão apresentados.

Para realizar as análises, as coordenadas de referência foram comparadas com as coordenadas estimadas pelo PPP no modo estático e cinemático. A Figura 6 apresenta o EMQ (Erro Médio Quadrático) da resultante planimétrica obtido com os dados da estação PPTE e das VRSs geradas. Já a Figura 7 apresenta o EMQ da resultante altimétrica.

Figura 6 – EMQ obtido para a resultante planimétrica com o PPP no modo estático.

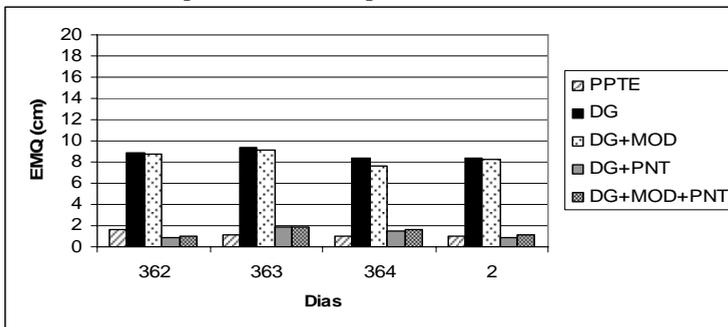
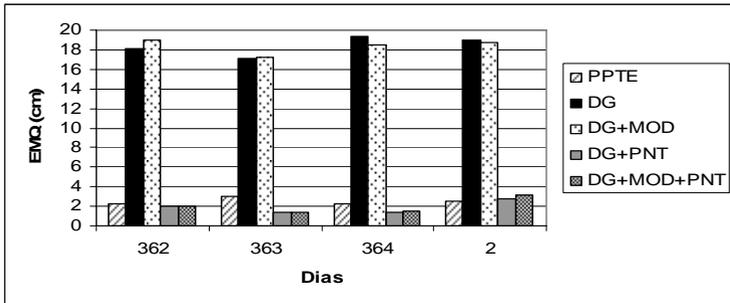


Figura 7 – EMQ obtido para a resultante altimétrica com o PPP no modo estático.



Analisando as Figuras 6 e 7 pode-se perceber que em se tratando da VRS, os melhores resultados foram obtidos com os modos DG+PNT e DG+MOD+PNT, resultados esses muito similares aos obtidos para o arquivo real. Além disso, como esperado, as discrepâncias em altimetria são maiores. O erro na resultante altimétrica chega a 3,1 cm para a VRS gerada por DG+MOD+PNT (dia 2), enquanto na resultante planimétrica o valor máximo chega a 1,9 cm para a VRS gerada utilizando a mesma metodologia (dia 363).

A Tabela 3 apresenta o EMQ da resultante 3D obtido pelo PPP no modo estático e a média para os 4 dias.

Tabela 3 – EMQ da resultante 3D obtido pelo PPP estático em cm.

<b>Dia</b>	<b>PPTE</b>	<b>DG</b>	<b>DG+Mod</b>	<b>DG+PNT</b>	<b>DG+MOD+PNT</b>
<b>362</b>	2,77	20,11	20,92	2,18	2,20
<b>363</b>	3,24	19,48	19,46	2,29	2,38
<b>364</b>	2,51	21,09	19,95	2,04	2,20
<b>002</b>	2,69	20,78	20,51	2,85	3,28
<b>Média</b>	<b>2,80</b>	<b>20,37</b>	<b>20,21</b>	<b>2,34</b>	<b>2,51</b>

Analisando a Tabela 3 pode-se perceber a grande melhoria alcançada pela VRS quando os modelos atmosféricos, principalmente troposférico, são aplicados. O EMQ que era em média 20,37 cm passou para 2,51 cm. Além disso, nota-se que na média o EMQ obtido pelo arquivo real é equivalente ao obtido pela VRS.

As Figuras 8 e 9 apresentam o EMQ da resultante planimétrica e altimétrica para o PPP no modo cinemático.

Figura 8 – EMQ obtido para a resultante planimétrica com o PPP no modo cinemático.

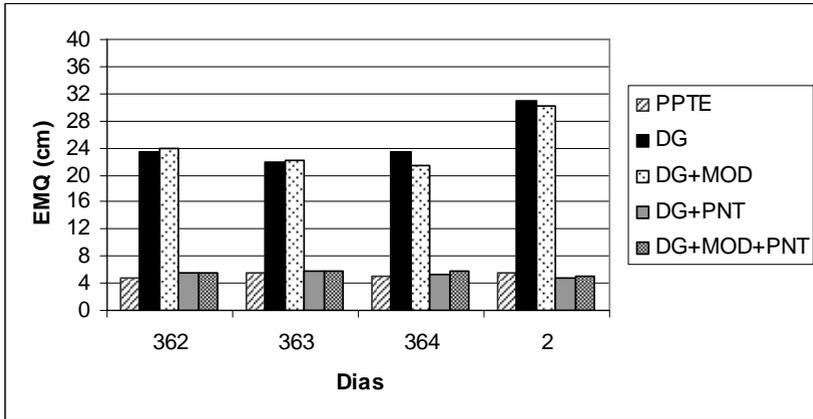
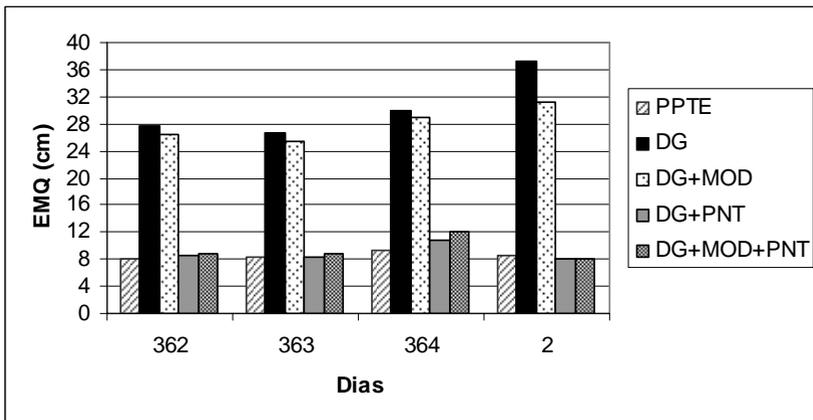


Figura 9 – EMQ obtido para a resultante altimétrica com o PPP no modo cinemático.



Observando as Figuras 8 e 9 pode-se notar que da mesma forma que no modo estático, a VRS gerada pelos modos DG+PNT e DG+MOD+PNT apresentam os melhores resultados. Além disso, esses resultados também se assemelham por aqueles apresentados pelo arquivo real. A Tabela 4 apresenta o EMQ da resultante 3D.

Tabela 4 – EMQ da resultante 3D obtido pelo PPP cinemático em cm.

<b>Dia</b>	<b>PPTE</b>	<b>DG</b>	<b>DG+Mod</b>	<b>DG+PNT</b>	<b>DG+MOD+PNT</b>
362	9,40	36,16	35,54	10,14	10,54
363	10,01	34,52	33,56	10,08	10,56
364	10,51	37,92	36,11	12,06	13,27
002	10,19	48,44	43,43	9,44	9,44
<b>Média</b>	<b>10,03</b>	<b>39,26</b>	<b>37,16</b>	<b>10,43</b>	<b>10,95</b>

Observando as Tabelas 3 e 4 pode-se perceber que o EMQ é maior para o posicionamento cinemático, onde as coordenadas são obtidas época por época. Mas, mesmo nesse tipo de posicionamento a VRS gerada apresentou grande eficiência no posicionamento.

Algo que deve ser ressaltado diz respeito a modelagem da ionosfera. Como pôde ser observado nos gráficos e nas tabelas, a VRS gerada utilizando o Mod\_Ion\_FK não apresentou melhorias significantes. Isso pode ter ocorrido devido ao fato da coleta de dados ter sido realizada em um período de baixa atividade ionosférica, onde o índice KP (NOAA, 2007) se manteve inferior a 4 para os dias 362, 363 e 364. Uma variação maior só ocorreu para o dia 002, onde se manteve igual a 5 para 3h de dados.

#### 4. CONCLUSÕES

Nos dias atuais é cada vez maior o interesse em se utilizar um método de posicionamento que proporcione alta acurácia com uma infra-estrutura de baixo custo. Assim, o uso das redes de estação de referência tem se mostrado uma boa alternativa.

Nesse artigo foi proposta uma metodologia diferenciada para geração de uma VRS. A qualidade da VRS gerada foi testada utilizando o PPP. Tanto na estimativa do ZTD como das coordenadas, a VRS gerada proporcionou resultados semelhantes ao arquivo real coletado no mesmo ponto, demonstrando a eficiência do método proposto.

Finalizando, cabe acrescentar que a qualidade da VRS também foi testada com outros modos de processamento, como o relativo e o DGPS. Os resultados obtidos também foram satisfatórios, atingindo discrepâncias centimétricas ou decimétricas, dependendo do tipo de observável e método adotados. Portanto, o método desenvolvido se mostra promissor e pode ser empregado em diversas aplicações.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido com recursos financeiros da FAPESP (Processo nº 03/12771-0) mediante atribuição de bolsa de doutorado à primeira autora.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AGUIAR, C. R. *Modelo Regional da Ionosfera (Mod\_Ion): Implementação em Tempo Real*. 2005. 159f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.
- ALVES, D. B. M.; MONICO, J. F. G.; FORTES, L. P. S. Descrição dos Principais Algoritmos de Correção para RTK em Rede. In: IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, Paraná. *Anais...*, 2005.
- ALVES, D. B. M.; MONICO, J. F. G.; DALBELO, L. F. A.; SAPUCCI, L. F.; CAMARGO, P. O. VRS Concept Using NWP and Mod\_Ion\_FK: Preliminary Results in Brazil. In: International FIG Congress, Munique, Alemanha. *Proceedings...*, 2006.
- ALVES, D. B. M.; MONICO, J. F. G.; DALBELO, L. F. A. Geração de VRS a partir de Modelos Atmosféricos: Conceito, Implementação e Resultados. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 2007.
- ALVES, D. B. M. *Posicionamento GPS Utilizando o conceito de Estação Virtual*. 2008. 165f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP.
- 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.
- HIGGINS, M. B. An Australian Pilot Project for a Real Time Kinematic GPS Network Using the Virtual Reference Station Concept. In: Annual Working Meeting of the International Federation of Surveyors, Seoul Corea. *Proceedings...*, 2001.
- HU, G. R.; KHOO, V. H. S.; GOH, P. C.; LAW, C. L. Development and Assessment of GPS Virtual Reference Stations for RTK Positioning. *Journal of Geodesy*. v.77, p. 292-302. 2003.
- LACHAPPELLE, G. e ALVES, P. Multiple Reference Station Approach: Overview and Current Research. *Journal of Global Positioning System*, v.1, n.2, p.133-136, 2002.
- LANDAU, H.; VOLLATH, U.; CHEN, X. Virtual Reference Station Systems. *Journal of Global Positioning System*, v.1, n.2, p.137-143, 2002.
- MONICO, J. F. G. Posicionamento por Ponto de Alta Precisão utilizando o GPS: uma Solução para a Geodinâmica. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.18, n.1, 2000.
- MONICO, J. F. G.; ALVES, D. B. M.; DALBELO, L. F. A.; CAMARGO, P. O.; SAPUCCI, L. F.; FORTES, L. P. S. Atmospheric Models applied to DGPS and RTK Network in Brazil: Preliminary Results. In: ION GNSS 2006, Fort Worth, Texas. *Proceedings...* 2006.
- NOAA. *Current Space Weather Conditions*. Disponível em: <<http://www.sec.noaa.gov/>>. Acesso: 10 fevereiro 2007.

- RETSCHER, G. Accuracy Performance of Virtual Reference Station (VRS) Networks. *Journal of Global Positioning System*, v.1, n.1, p.40-47, 2002.
- SAPUCCI, L. F.; MACHADO, L. A.T.; MONICO, J. F. G. Previsões do Atraso Zenital Troposférico para a América do Sul: Variabilidade Sazonal e Avaliação da Qualidade. *Revista Brasileira de Cartografia*, 2006.
- SAPUCCI, L. F.; MONICO, J. F. G.; ESPINOZA, E. S.; MACHADO, L. A. T. Predição do Atraso Zenital Troposférico na América do Sul para Posicionamento GNSS em Tempo Real. In: III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Paraná, Curitiba, 2003. *Anais...*, 2003.
- SEEBER, G. *Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications*. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003.
- WANNINGER, L. The Performance of Virtual Reference Stations in Active Geodetic GPS-networks under Solar Maximum Conditions. In: ION GPS 99, Nashville TN. *Proceedings...*, 1999. p.1419-1427.
- ZHANG, K.; ROBERTS C. Network-Based Real-Time Kinematic Positioning System: Current Development in Australia. In: Geoinformatics and Surveying Conference, 2003, The Institute of Surveyor, Malasia. *Proceedings...*, 2003.
- 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, m.B3, p.5005-17, 1997.

(Recebido em novembro / 2008. Aceito em maio / 2009).