



Revista Brasileira de Cartografia (2016), N° 68/10: 2083-2102
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO RTK EM REDE NO BRASIL SOB EFEITO DA CINTILAÇÃO IONOSFÉRICA

*Assessment of Network RTK Performance in Brazil
Under Effect of Ionospheric Scintillation*

**Hérída dos Reis Silva, João Francisco Galera Monico &
Daniele Barroca Marra Alves**

Universidade Estadual Paulista – UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT / Departamento de Cartografia
Rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente, SP - Brasil
herida.reis@hotmail.com
{galera, danibarroca}@fct.unesp.br

Recebido em 6 de Novembro, 2015/ Aceito em 22 de Agosto, 2016
Received on November 6, 2015/ Accepted on August 22, 2016

RESUMO

Os efeitos atmosféricos, especialmente da ionosfera, são os principais fatores limitantes para o posicionamento de alta acurácia utilizando a técnica RTK (*Real Time Kinematic*), uma vez que com o afastamento entre o usuário e a estação base o desempenho do método é degradado, pois a correlação dos erros é reduzida proporcionalmente ao aumento da linha de base. No entanto, com o emprego de uma rede de estações de referência, pode-se realizar a modelagem dos erros na área de abrangência desta rede, conceito denominado de RTK em rede. Entretanto, um dos fatores que mais degradam a propagação dos sinais do GNSS (*Global Navigation Satellite System*), mesmo no RTK em rede, é o efeito da ionosfera, em especial a cintilação ionosférica, assunto principal deste trabalho. A ocorrência e intensidade das cintilações variam, de acordo com vários fatores, como localização geográfica, sazonalidade, hora local e atividade solar. Com o pico do ciclo solar 24, ocorrido no verão de 2013, foi observada a intensificação dos efeitos da cintilação. Considerando o âmbito público, a única rede de estações de referência no Brasil que viabiliza estudos quanto ao posicionamento RTK em rede, localiza-se no estado de São Paulo, denominada Rede GNSS/SP. Este artigo caracteriza-se pela temática central acerca do desempenho do RTK em rede, utilizando o conceito de VRS (*Virtual Reference Station*), considerando os possíveis efeitos da cintilação sobre este método no contexto da Rede GNSS/SP. Para tanto foram realizadas três campanhas de modo a reproduzir na prática, um usuário das correções da Rede GNSS/SP, coletando pontos de interesse utilizando um receptor GPS L1/L2 nos períodos da manhã, tarde e noite. Os resultados obtidos contribuíram para a constatação que os erros nas coordenadas das componentes locais (E, N e h), durante levantamentos empregando RTK em rede, são consideravelmente maiores em períodos concomitantes aos eventos de cintilação. Outra característica observada é a qualidade dos resultados nos períodos como a manhã e tarde, em que os efeitos da ionosfera são considerados fracos, sem ocorrência de cintilação.

Palavras chaves: Cintilação Ionosférica, RTK em Rede, VRS.

ABSTRACT

Atmospheric effects, especially the ionosphere, are the major limiting factors for using high accuracy positioning RTK (*Real Time Kinematic*) technique. With the increasing in the distance between the user and the base station, the

method efficiency is degraded, since the correlation between the errors is reduced. However, with the use of a network of reference stations the modeling of the errors can be performed and this concept is called RTK Network. In such case, one of the factors degrading the propagation of GNSS (Global Navigation Satellite System) signals, even in RTK Network, is the ionospheric effects, especially the ionospheric scintillation, the main topic of this paper. The occurrence and intensity of scintillation vary according to several factors such as geographic location, seasonality, local time and solar activity. The peak of the Solar Cycle 24 occurred in the summer of 2013 intensified the scintillation effects. Considering the public sector in Brazil, the unique network of reference stations that enables studies about RTK network positioning is located at São Paulo; so called GNSS/SP Network. This article is characterized as central theme about RTK network performance, using the concept of VRS (Virtual Reference Station), considering the possible effects of scintillation on this method in the context of the GNSS/SP Network. Therefore there were three campaigns in order to play in practice a user of corrections GNSS/SP Network, collecting points of interest using a GPS L1/L2 receiver in the mornings, afternoon and evening. The results have contributed to finding that errors in the coordinates of the local components (E, N and h) during surveys using RTK network, are considerably higher in periods concurrent to the events of scintillation. Another characteristic observed is that the results quality is best during the morning and afternoon, when the effects of the ionosphere are considered weak, without occurrence of scintillation.

Keywords: Ionospheric Scintillation, RTK Network, VRS.

1. INTRODUÇÃO

O GNSS é uma das tecnologias mais avançadas que existem atualmente, tendo impulsionado as atividades relacionadas com posicionamento a partir de observações espaciais e pesquisas direcionadas ao comportamento da atmosfera. Dentre as mais diversas funcionalidades dessa tecnologia, tem-se desde aplicações convencionais, a exemplo de georreferenciamento, cadastro, agricultura de precisão, entre outras possibilidades, como monitoramento de barragens, meteorologia, navegação aérea, reflectometria usando alvos ambientais, etc.

Vários métodos de posicionamento foram desenvolvidos ao longo dos últimos anos para explorar a capacidade que o GNSS tem de prover coordenadas acuradas com um pequeno intervalo de tempo de coleta de dados, ou até mesmo quando o receptor está se movendo ao longo de uma trajetória (MONICO, 2008; SEEBER, 2003).

Quando se trata do posicionamento relativo em tempo real, o RTK tem grande destaque por alcançar acurácia centimétrica, sem a necessidade de um processamento posterior dos dados. No entanto, no posicionamento RTK os erros envolvidos no processo, são proporcionais ao comprimento da linha de base, o que restringe a distância entre a estação de referência e o usuário a 20 quilômetros aproximadamente (dependendo das condições atmosféricas, principalmente da ionosfera). Para superar este

problema, foi desenvolvido o conceito de rede de estações de referência (RTK em rede) (LANDAU *et al.*, 2002; RIZOS, 2002; ALVES *et al.*, 2003).

Conforme a crescente necessidade de maior acurácia no posicionamento há também um aumento no interesse para um melhor conhecimento dos fatores que possam causar degradação no posicionamento. A cintilação ionosférica é um dos efeitos que ocorrem na atmosfera terrestre e que acabam por degradar o sinal eletromagnético que por ela refrata devido às variações na quantidade de elétrons livres e, conseqüentemente, na formação do campo magnético nos pontos por onde os sinais se propagam. Quando o campo magnético é, portanto, alterado durante a passagem do sinal, este pode sofrer variações diretamente proporcionais à intensidade dessas mudanças (McNAMARA, 1991).

Tendo em vista o contexto apresentado, foram exploradas neste trabalho diferentes situações onde o efeito da cintilação no posicionamento RTK em rede se faz ou não presente. Isto se ao fato que o Brasil está localizado numa das regiões mais afetadas pelos distúrbios da ionosfera, os quais são dependentes de diversas variáveis: ciclo solar, época do ano, hora local, localização geográfica e atividade geomagnética (DAVIES, 1990), sendo considerado o território brasileiro um local propício ao desenvolvimento de pesquisas na área, o que materializa um cenário ideal para tal finalidade.

2. RTK EM REDE

Uma rede de estações de referência permite uma melhor disponibilidade, qualidade e integridade no posicionamento e navegação (ALVES, 2008). Além disso, uma das vantagens de se adotar várias estações de referência dispostas em rede é a possibilidade de modelar os erros atmosféricos na região de abrangência da rede (FOTOPOULOS & CANNON, 2001) e, com isto, permitir um posicionamento acurado, com estações de referência podendo estar mais distantes dos usuários se comparado ao RTK convencional.

As múltiplas estações de referência são utilizadas para levantamentos que requerem acurácia centimétrica em distâncias de dezenas de quilômetros (ALVES *et al.*, 2003). Além disso, a área de abrangência onde o usuário poderá atuar será expandida, se comparado ao método RTK (LANDAU *et al.*, 2002; APONTE *et al.*, 2009).

Segundo Afonso (2006), a arquitetura necessária para o RTK em rede (Figura 1) compreende um conjunto de estações de referência GNSS, um ou mais sistemas de comunicação (rádio, internet e etc.) para coleta e envio de correções diferenciais ao usuário e um centro de controle para gerenciamento dos dados.



Fig. 1 - Infraestrutura do RTK em rede. Disponível em <http://ukRTK.co.uk/SpiderWeb/SmartNet/2fNetworkRTK.html>. Acesso em: ago. 2014.

Existem diversos métodos para formular correções a partir de dados de uma rede de estações de referência. Dentre os principais métodos de correção para aplicar o RTK em rede, estão: algoritmos de derivadas parciais,

algoritmos de interpolação linear, algoritmo de ajustamento condicional, MAC (*Master-Auxiliary Concept*), FKP (*Flaechen Korrektur Parameter*), RTX (*Real Time Extended*) e a VRS. Esta tem por ideia básica a geração de dados, simulando uma estação de referência virtual próxima ao receptor do usuário, fornecendo desempenho semelhante a uma linha de base curta. Assim, não existiria a necessidade de ter fisicamente um receptor num ponto conhecido próximo ao usuário. A proposta de utilização do conceito de VRS é investigada por diversos pesquisadores há mais de uma década (WANNINGER, 1999; VOLLATH *et al.*, 2000; WANNINGER, 2002; LANDAU *et al.*, 2002; WANNINGER, 2004 e ZINAS *et al.*, 2013).

3. CINTILAÇÃO IONOSFÉRICA

As cintilações ionosféricas são rápidas variações aleatórias na fase e amplitude do sinal GNSS recebido, as quais são causadas por irregularidades na densidade de elétrons ao longo do caminho percorrido pelo sinal na ionosfera (CONKER *et al.*, 2002; EL GIZAWY, 2003). Esta densidade sofre alterações em função da radiação solar, localização geográfica, campo magnético da Terra, entre outras. O comportamento dessas variações pode ser verificado regularmente ao longo do dia (variações diurnas), ao longo das estações do ano (variações sazonais) e também ao longo do ciclo de atividade solar.

Conforme Webster (1993), as variações diurnas são provocadas por mudanças que acontecem em determinados locais da ionosfera, no entanto desaparecem no período noturno devido à recombinação dos elétrons. No decorrer do dia a densidade de elétrons depende da hora local, atingindo um valor máximo entre as 12h e 16h. Um segundo valor máximo acontece na região de baixas latitudes, logo após o ocaso do Sol, entre 21h e 22h local, sendo esse valor maior do que o primeiro.

Com relação às variações sazonais, a densidade de elétrons varia durante os meses do ano em uma determinada região devido ao ângulo zenital do Sol possuir uma variação sazonal (McNAMARA, 1991). Experimentos realizados na região brasileira indicam que valores maiores de densidade de elétrons, bem como maiores variações espaciais (variação latitudinal) no TEC (*Total Electron Content*), são encontrados nos meses de março, abril,

setembro e outubro, ou seja, nos meses próximos aos Equinócios. Esses experimentos também indicam que valores menores de densidade de elétrons são encontrados nos meses próximos aos Solstícios, principalmente nos meses de junho e julho, próximos ao Solstício de inverno (MATSUOKA, 2007; DAL POZ, 2010).

Já as variações de ciclos de longos períodos correspondem a ciclos de, aproximadamente, 11 anos e estão relacionadas à ocorrência de manchas solares; o aumento da ionização da camada é proporcional ao número de manchas. As manchas solares são regiões frias e escuras que aparecem na superfície do Sol. Elas são rodeadas por regiões brilhantes que emitem um nível elevado de radiação ultravioleta. Assim, o aumento do número de manchas solares aumenta a radiação solar e ocasiona uma mudança na densidade de elétrons na ionosfera (McNAMARA, 1991). As manchas solares podem durar alguns dias ou até semanas (DAL POZ, 2010). Na Figura 2 observa-se o comportamento do ciclo solar 24, o qual teve seu pico de atividade solar no final de 2013 e início de 2014, intensificando os efeitos da cintilação.

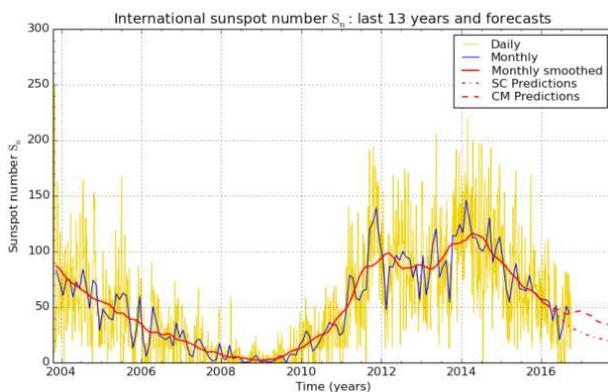


Fig. 2 – Número de manchas solares. Disponível em: <http://sidc.oma.be/silso/dayssnplot>. Acesso em: out. 2016.

Os efeitos causados pela cintilação ionosférica são mais intensos nas regiões equatoriais (onde se situa grande parte do território brasileiro) e de altas latitudes (DAVIES, 1990). Nas regiões equatoriais os efeitos da cintilação são relacionados à anomalia equatorial com intensidade maior no pico local da anomalia (EL GIZAWY, 2003). A Figura 3 é apresentada de modo a reforçar as características de ocorrência da cintilação segundo a localização geográfica.

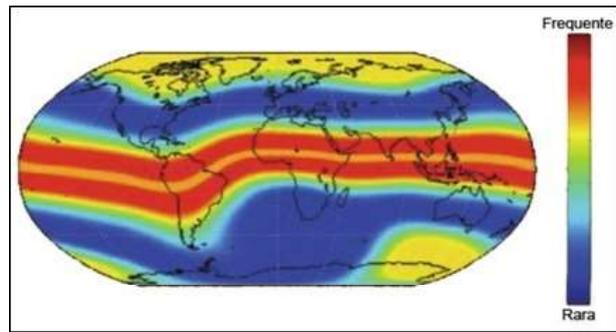


Fig. 3 - Frequência na ocorrência de cintilação. Fonte: Adaptado de Kintner Jr., Humphreys e Hinks (2009).

As alterações que degradam o sinal GNSS recebido podem ser estimadas através de parâmetros de cintilação. Os mais utilizados na literatura são os índices S4, e Phi60 (CONKER *et al.* 2002).

O índice de cintilação S4 tem sido amplamente utilizado, é definido pela dispersão da intensidade do sinal ao longo do tempo dividido pela média dessa intensidade (I) do sinal recebido, como mostra a equação a seguir (YEH e LIU, 1982):

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

sendo I um vetor contendo a intensidade do sinal em um determinado intervalo de tempo, e $\langle \rangle$ um operador de média.

O índice S4 é adimensional e para as análises presentes neste artigo, os limiares considerados serão os adotados pela ITU (*International Telecommunication Union*) (2012), que de modo análogo a Conker *et al.* (2002), adota três intervalos na classificação: fraco ($S_4 < 0,3$), moderado ($0,3 \leq S_4 \leq 0,6$) e forte $S_4 > 0,6$.

Conforme Davies (1990) para se medir a cintilação em fase pode-se utilizar, assim como na amplitude, o desvio-padrão da medida de fase em um determinado intervalo de tempo. Variando os intervalos de tempo, têm-se os índices Phi (também denominado σ_ϕ) sendo o mais usual deles, o índice Phi60 (DAVIES, 1990), representando o desvio padrão das medidas de fase nos últimos sessenta segundos, como mostra a equação a seguir:

$$\text{Phi60} = \sqrt{\langle \langle \varphi^2 \rangle - \langle \varphi \rangle^2} \quad (2)$$

sendo φ o vetor das fases medidas.

O índice Phi60 é dado em radianos, Tiwari *et al* (2011) apresenta os seguintes limiares para a classificação dos níveis de cintilação da fase: fraco ($\sigma_\varphi < 0,4$), moderado ($0,4 \leq \sigma_\varphi \leq 0,8$) e forte ($\sigma_\varphi \geq 0,8$).

Além dos índices S4 e Phi60 já citados, outro índice será considerado para as análises presentes neste artigo. Trata-se do índice I95 (Índice de Distúrbio da Ionosfera), baseado no resíduo ionosférico diferencial calculado em uma rede de estações de referência GNSS.

Para determinar o I95 o modelo de correção do efeito ionosférico compreende basicamente dois coeficientes. Eles representam as tendências ionosféricas diferenciais em duas direções: a sul-norte (I_{LAT}) e a leste-oeste (I_{LON}). A fim de sintetizar o conteúdo da informação que descreve a superfície de correção ionosférica combinam-se os dois parâmetros da seguinte forma (WANNINGER, 2004):

$$I = \sqrt{I_{LAT}^2 + I_{LON}^2} \quad (3)$$

Os valores do índice I95 refletem a intensidade da atividade ionosférica, isto é, as influências esperadas para as posições GNSS. Os valores de I95 são calculados a partir das correções ionosféricas de todos os satélites em todas as estações da rede, durante uma respectiva hora. Para o cálculo do índice, os piores dados (um total de 5%) são rejeitados, os 95% restantes representam o valor do índice I95 para um período de uma hora.

No Brasil, o monitoramento dos eventos de cintilação ionosférica com dados GNSS são baseados em pesquisas de quatro principais projetos: Scintec e EMBRACE (Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial), ambos gerenciados pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais); CIGALA (*Concept for Ionospheric Scintillation Mitigation for Professional GNSS in Latin America*) e CALIBRA (*Countering GNSS high Accuracy applications Limitations due to Ionospheric disturbances in Brazil*) desenvolvidos por consórcios de

organizações Europeias (universidades, empresas e institutos de pesquisa) e Brasileiras (entre as quais a FCT/UNESP), visando analisar os efeitos da cintilação, investigar suas causas e desenvolver novos métodos de mitigação a serem implementadas em receptores GNSS.

4. DADOS E METODOLOGIA

Dentre as realizações dos Projetos CIGALA e CALIBRA, implantou-se uma rede de estações para o monitoramento da cintilação no território brasileiro. Para que usuários tivessem acesso ao banco de dados oriundos destas estações, a ferramenta ISMR (*Ionospheric Scintillation Monitor Receiver*) Query Tool foi desenvolvida (VANI, 2014), permitindo a visualização e extração de dados via internet (<http://is-CIGALACALIBRA.fct.unesp.br/is/ismrtool/view/View.php>).

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial das estações permanentes da Rede CIGALA/CALIBRA.



Fig. 4 - Rede CIGALA/CALIBRA. Fonte: <http://is-CIGALA/CALIBRA.fct.unesp.br/is/>. Acesso: set. 2014.

Observa-se na Figura 4 a presença de duas estações na cidade de Presidente Prudente/SP (PRU1 e PRU2), além destas há a existência de PRU3. Tal estação é de caráter provisório, sendo implantada apenas para experimentos pontuais, como no presente trabalho.

Além dos dados da Rede CIGALA/CALIBRA, também serão utilizados as correções da Rede GNSS/SP (Figura 5).

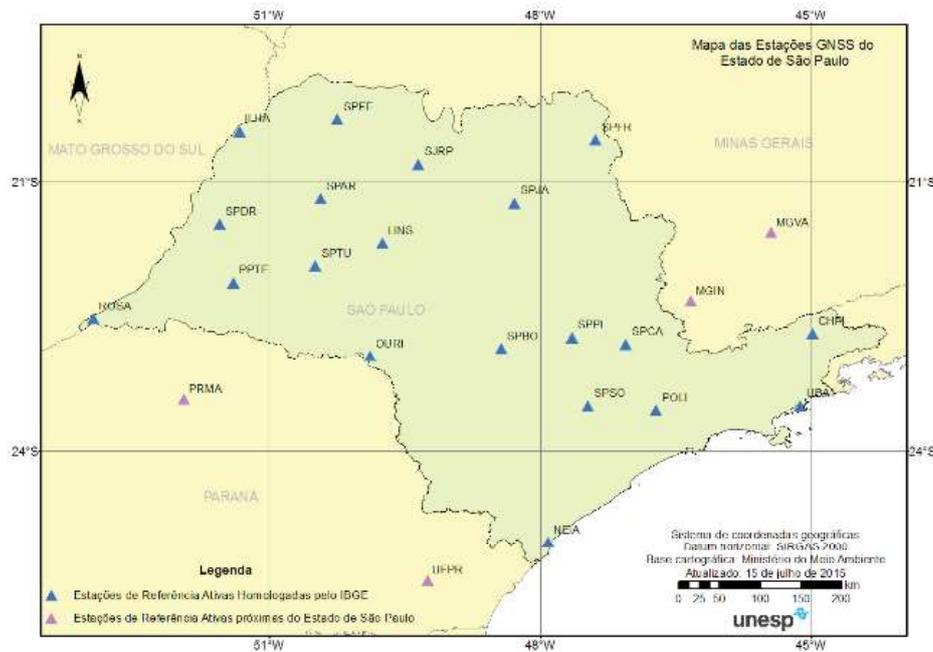


Fig. 5 - Rede GNSS/SP. Disponível em <http://www.fct.unesp.br/#!/pesquisa/grupos-de-estudo-e-pesquisa/gege/>. Acesso: set.2014.

As estações da Rede GNSS/SP disponibilizam dados em tempo real via internet, utilizando o protocolo *NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol)*. Em relação ao monitoramento desta rede, a FCT/UNESP dispõe do *software* comercial *Trimble Pivot* responsável pelo gerenciamento, armazenamento, processamento, envio de dados e correções GNSS. A atual configuração da Rede GNSS/SP, caracteriza o estado de São Paulo como a região detentora da mais densa rede RTK do Brasil, considerando o âmbito público.

Neste trabalho, um experimento foi realizado nas dependências do Assentamento Estadual Florestan Fernandes, localizado às margens da Rodovia Olímpio Ferreira Silva (SP 272, km 20), município de Presidente Bernardes/SP, a 25 km de Presidente Prudente, oeste do estado de São Paulo.

O Departamento de Cartografia da FCT/UNESP, em convênio com o ITESP (Instituto de Terras do Estado de São Paulo), implantou uma Área Teste (Figura 6) no Assentamento, o que proporciona infraestrutura para o desenvolvimento das atividades de pesquisa da Universidade, motivo pelo qual tal área foi escolhida para as atividades em campo apresentadas neste artigo. Resultados de pesquisas desenvolvidas nesta Área Teste podem ser encontradas em Leite *et al.* (2005), Marques *et al.* (2005), Ishikawa (2007),

Duarte *et al.* (2009), Silva e Monico (2009) e Pinto (2012).

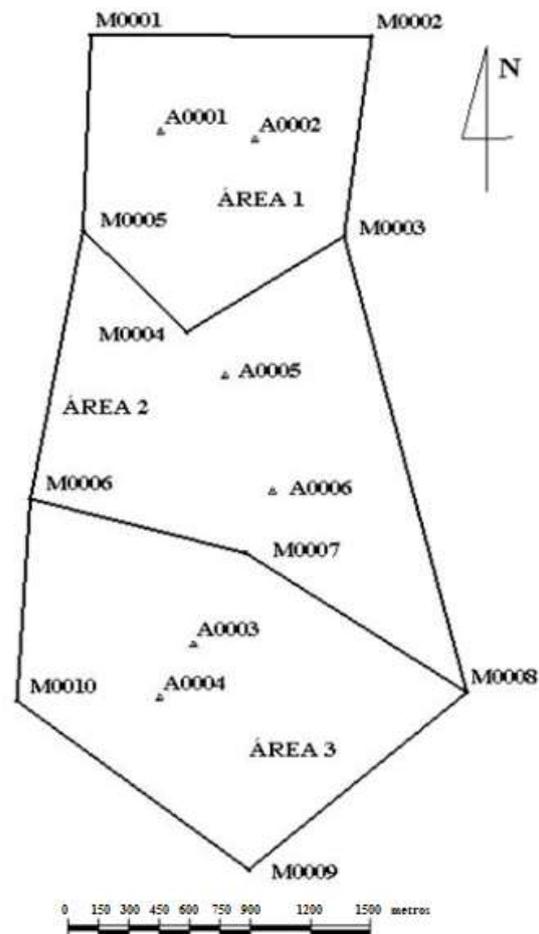


Fig. 6 - Divisão da Área Teste no Assentamento. Fonte: Ishikawa (2007).

Para as atividades de coleta de dados, inicialmente foi realizada uma visita ao Assentamento no intuito de fazer um reconhecimento de campo e estabelecer contato com os moradores para que se pudesse ter livre acesso aos pontos de interesse da Área Teste. Assim ficou determinado que os pontos a serem utilizados neste experimento seriam os vértices M3, M4, M5 e ponto de apoio A1 (Figura 7) todos pertencentes à Área 1.

Os critérios para a escolha destes pontos foram baseados no tempo despendido e distância a ser percorrida neste circuito, além da logística disponível e acessibilidade aos respectivos pontos.



Fig. 7 - Pontos escolhidos.

Para a coleta de dados utilizou-se o receptor *Trimble R8 GPS L1/L2*, o qual possibilita a conexão por interface sem fio (*Bluetooth*) com a controladora *Trimble TSC2*, dotada do *software* de campo *Trimble Survey Controller*. Acessórios como bipé e bastão também foram utilizados para compor o conjunto de equipamentos. Em relação ao receptor, este apresenta as seguintes especificações de acurácia para levantamentos *RTK*: 10 mm + 1 ppm na componente horizontal e 20 mm + 1 ppm na vertical (*TRIMBLE*, 2010).

Como metodologia principal do experimento, a técnica de posicionamento *RTK* em rede, usando o conceito de *VRS*, foi empregada tendo por conexão bidirecional externa entre usuário x centro de controle, uma rede de telefonia móvel via tecnologia *GSM/GPRS*, possibilitando a troca de informações entre usuário e servidor. Já no receptor, foram adotadas máscara de elevação de 10° e intervalo de gravação dos dados de 1 Hz.

As configurações escolhidas no *Trimble Pivot* (sistema gerenciador da Rede *GNSS/SP*)

determinam a *VRS* como algoritmo de formulação das correções. Outra configuração determinante se refere ao módulo/função *RTO Net VRS*. Este módulo apresenta uma subcategoria denominada *VRS Category*, a qual define o recurso a ser aplicado pelo software à área de abrangência da rede, caso as correções *GNSS* da Rede não estiverem disponíveis por algum motivo. Na *VRS Category*, adotou-se dentre as opções que o *software* fornece, o mecanismo *Prohibit Raw mode*, uma vez selecionada esta opção, o sistema não envia nenhum tipo de correção ao usuário em campo, enquanto a qualidade das correções estiverem prejudicadas (*TRIMBLE*, 2013). Esta configuração específica foi adotada para que caso haja altas perturbações ionosféricas na área de abrangência da Rede *GNSS/SP*, em algum período do experimento, a conexão com o centro de controle não seja permitida. Dessa forma, nenhuma correção estará disponível para o *rover* em campo, impossibilitando o posicionamento *RTK* em rede empregando *VRS* para o determinado período. Fato este que contribui para a constatação da interferência da cintilação no posicionamento em rede.

As campanhas na Área Teste foram realizadas em três datas escolhidas aleatoriamente, porém, sob os critérios de ocorrência dos fenômenos de cintilação no Brasil, período compreendido entre os meses de setembro a março, conforme as características sazonais citadas na seção 3.

As datas escolhidas foram: 24/10, 31/10 e 04/11 de 2013 (DOY's 297, 304 e 308, respectivamente). É válido destacar que as datas escolhidas compreenderam o horário de verão para a região sudeste do Brasil, ou seja, duas horas a menos em relação ao meridiano de *Greenwich* (UTC -2).

A estratégia adotada para as coletas seguiram os seguintes critérios:

- ✓ O circuito sempre foi percorrido obedecendo a seguinte ordem: A1, M5, M4 e M3;
- ✓ Durante cada período do dia (manhã, tarde e noite), percorreu-se o circuito por duas vezes consecutivas, porém a cada vez que o último ponto do circuito era coletado (ponto M3) o receptor era desligado e seguia-se para o primeiro ponto afim de novamente percorrer o circuito no mesmo período do dia;
- ✓ Em cada marco foram realizadas 3 coletas

no modo estático com tempo de ocupação igual a 30s cada;

- ✓ Sempre no primeiro marco do circuito (ponto A1) fez-se a inicialização por três vezes e cronometrou-se qual o tempo necessário para aguardar a solução das ambiguidades em cada uma das inicializações;
- ✓ Caso houvesse problemas relacionados à intensidade do sinal da rede de telefonia celular, eram aguardados 10 min na tentativa que o sinal fosse reestabelecido, caso contrário o ponto era abortado e seguia-se para o próximo;
- ✓ As coletas no período da manhã eram iniciadas por volta das 9h (UTC); no período da tarde às 15h (UTC); e à noite iniciava-se às 24h (UTC);
- ✓ Posicionamento RTK em rede empregando VRS;
- ✓ Época das coordenadas: 2000,4.

Os critérios descritos anteriormente foram adotados com o objetivo de buscar maior representatividade dos dados, além de minimizar/evitar a coincidência com alguma falha do sistema ou na infraestrutura. Situação esta que ocasionalmente poderia ocorrer caso o levantamento fosse realizado em apenas um único dia.

Devido à localização dos pontos no circuito, já ilustrada pela Figura 7, utilizou-se um automóvel para o deslocamento entre os pontos, uma vez que a distância percorrida entre o início e fim do circuito é de aproximadamente 6 km. Vale ressaltar que durante o descolamento de um ponto ao outro, o receptor não foi desligado, permanecendo com a antena do lado externo do automóvel. O equipamento somente foi desligado após a coleta do último ponto do circuito.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção são apresentados os resultados e análises sobre o experimento desenvolvido na Área Teste do Assentamento Florestan Fernandes, de acordo com a metodologia apresentada na seção 4. A seção 5.1 apresenta uma visão geral dos eventos de cintilação no período de realização do experimento. Na seção 5.2 os resultados referentes ao período de

inicialização no ponto A1 serão apresentados e por fim na seção 5.3 as análises relativas ao desempenho do posicionamento RTK em rede empregando VRS.

5.1 Indicativo de cintilação

Os métodos de visualização e mineração de dados acessíveis pela ferramenta *ISMR Query Tool* viabilizaram as análises exploratórias referentes aos eventos de cintilação, aqui representados pelos índices S_4 e σ_φ .

Considerando a localização do Assentamento, as estações da Rede *CIGALA/CALIBRA* mais próximas à região do experimento são PRU1, PRU2 e PRU3, localizadas no câmpus da FCT/UNESP. Dessa forma, para uma maior representatividade dos dados que possam vir a indicar ocorrência de cintilação, inicialmente foram consideradas estas três estações para as análises apresentadas nesta seção.

Foram realizadas consultas à *ISMR Query Tool* de modo a selecionar os dados de interesse para os três dias do experimento, de acordo com o seguinte padrão de configuração:

- ✓ Estações: PRU1, PRU2 e PRU3;
- ✓ Período: 24 horas;
- ✓ Índices: S_4 e σ_φ ;
- ✓ Ângulo de elevação: 10° .

Nas Figuras 8, 9 e 10 são apresentados os resultados das consultas realizadas referentes ao índice S_4 . A linha vermelha representa o limiar de classificação para cintilação moderada/forte (0,6), embora seja um valor empírico, a ocorrência clara de cintilação durante parte do período noturno nos três dias pode ser observada seguindo este critério.

Nota-se nas Figuras 8, 9 e 10, que a disponibilidade integral dos dados das estações de monitoramento, ocorreu apenas para PRU3, nos três dias consultados. Dessa forma, PRU3 é empregada para as análises no decorrer do trabalho. A estação PRU1 apresentou ausência de dados para DOY 297 (Figura 8) e a estação PRU2 para DOY 308 (Figura 10). A ausência de dados pode ser justificada devido a alguma falha ocasional no sistema de fornecimento de energia elétrica, conexão com internet ou outros eventos que venham a tornar os dados indisponíveis das respectivas estações.

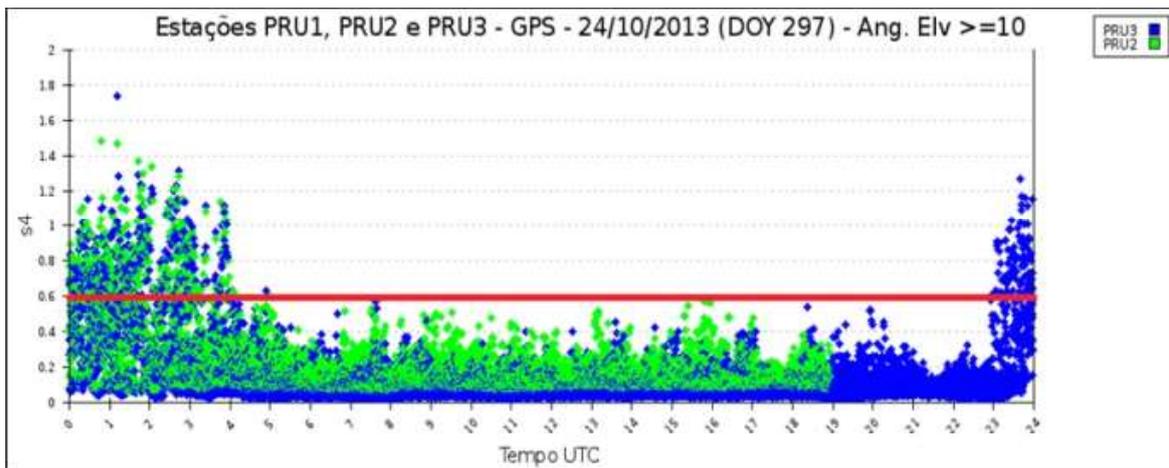


Fig. 8 - Índice S4 para o DOY 297.

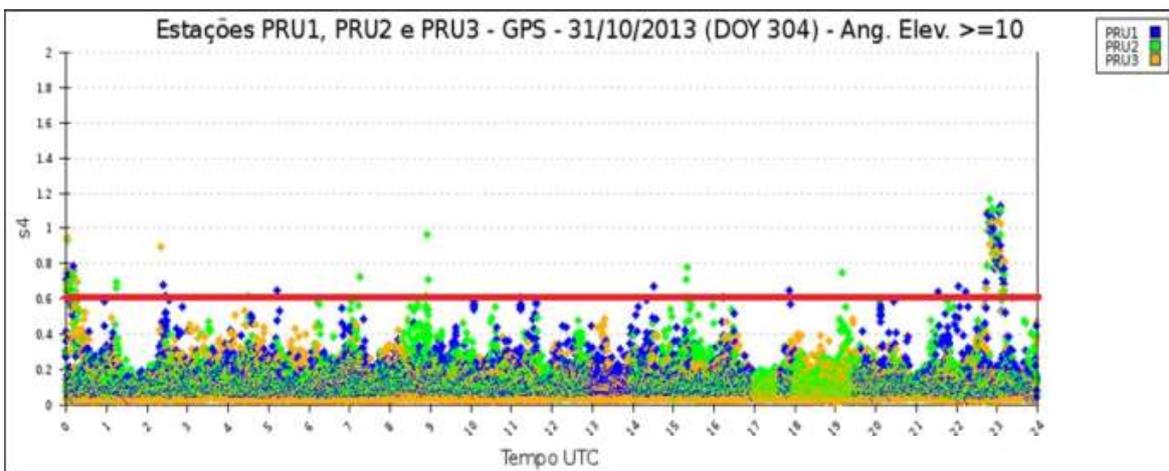


Fig. 9 - Índice S4 para o DOY 304.

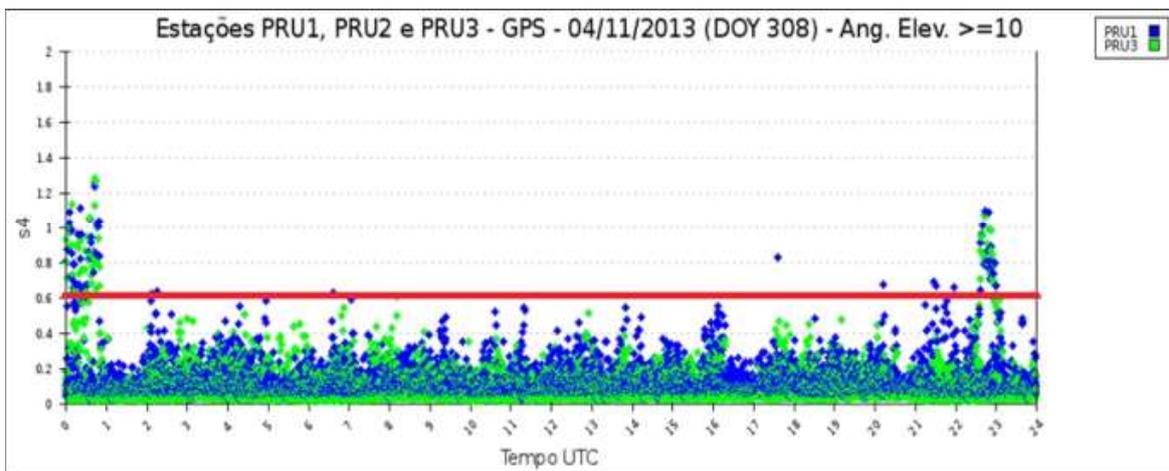


Fig. 10 - Índice S4 para o DOY 308.

Analogamente, conforme apresentado para o índice S4, tem-se nas Figuras 11, 12 e 13 os valores do índice $\sigma\phi$. A linha vermelha mostra o limiar de 0,3, também empírico, para a ocorrência de cintilação moderada/forte (ITU, 2012). Mais uma vez, nota-se a ocorrência muito provável de cintilação durante parte do período noturno.

De acordo com ITU (2012), a análise da cintilação em amplitude reflete também as características estatísticas da cintilação em fase, já que suas magnitudes são similares em sua concepção e, em teoria, ambos os eventos são desencadeados pelo mesmo efeito. Partindo dessa premissa e analisando paralelamente os

índices S_4 e σ_ϕ de cada um dos dias em questão, nota-se a existência de correlação visual entre tais índices, o que evidencia um indicativo da ocorrência de cintilação, tornando assim o

conjunto de dados coletados no decorrer deste experimento, passível de análises quanto às influências desses eventos no desempenho do posicionamento baseado em redes.

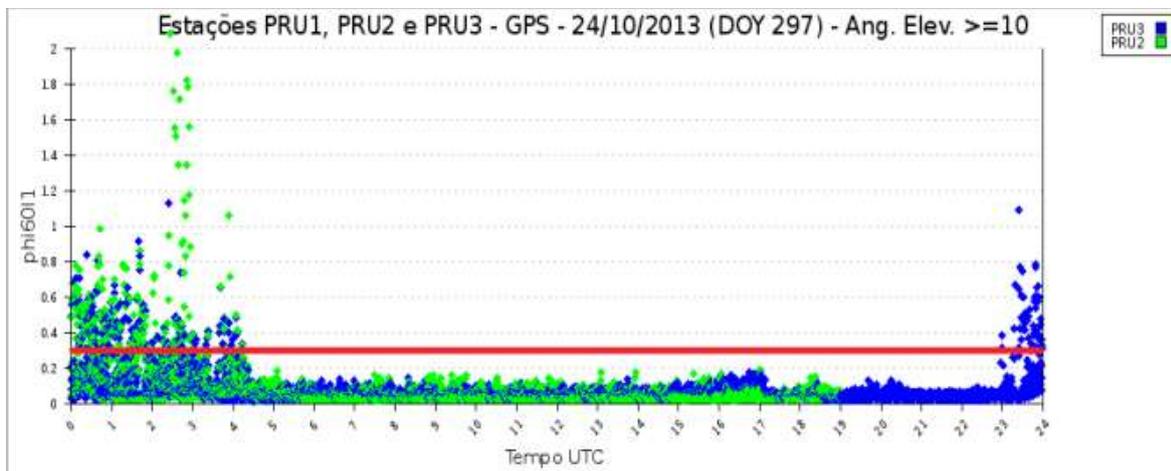


Fig. 11 - Índice σ_ϕ para o DOY 297.

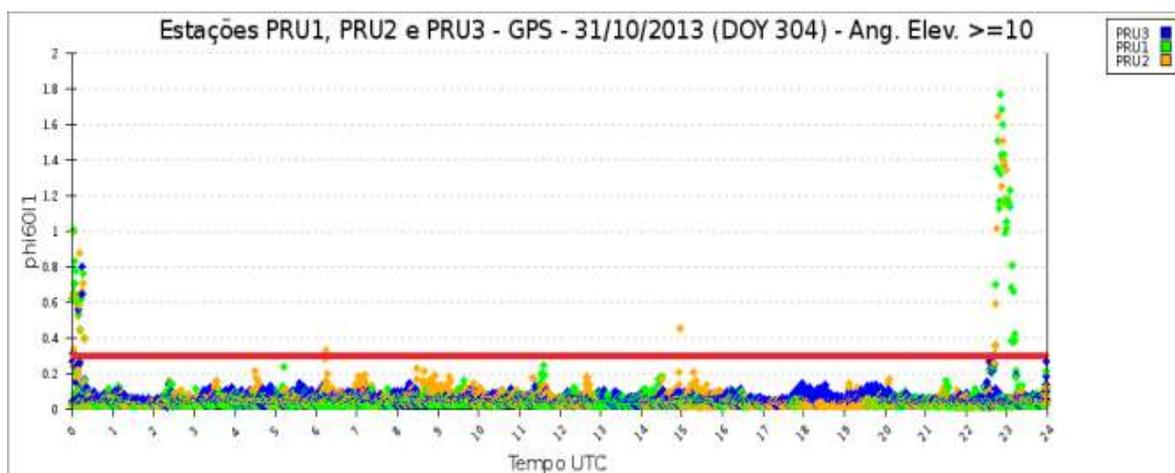


Fig. 12 - Índice σ_ϕ para o DOY 304.

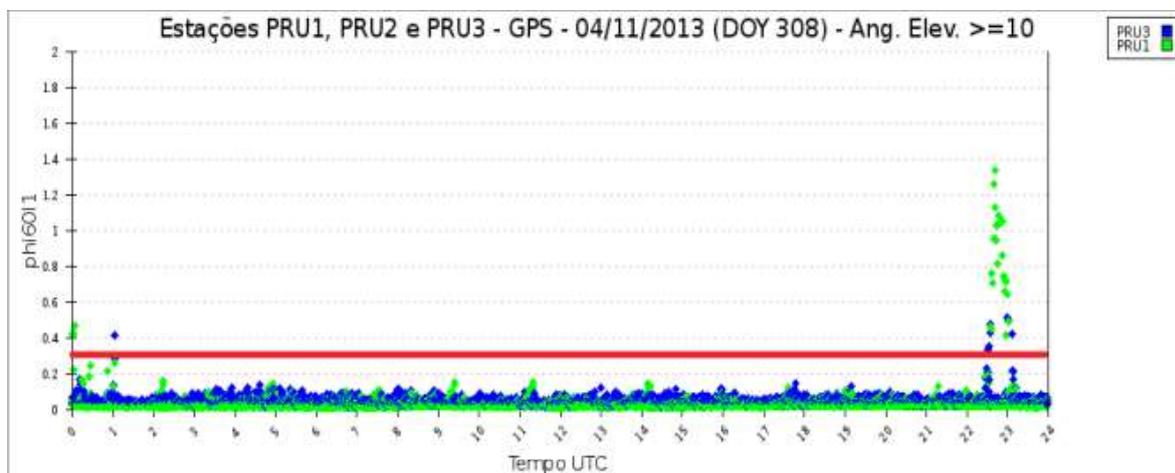


Fig. 13 - Índice σ_ϕ para o DOY 308.

Em auxílio aos índices S_4 e σ_ϕ , são apresentados nas Figuras 14, 15 e 16 os valores calculados pelo sistema *Trimble Pivot* para o índice I95 no contexto da Rede GNSS/SP, durante 24 horas dos três dias de coletas.

Ao analisar os gráficos constantes nas Figuras 14, 15 e 16, verifica-se que os valores de I95 apresentam um comportamento variante durante os dias do experimento. Os limiares são

divididos em três categorias de acordo com o grau de atividade da ionosfera, representados por linhas nas cores vermelha (alta atividade), amarela (média atividade) e verde (atividade normal). De acordo com o limiar adotado pelo sistema *Trimble Pivot*, os dois primeiros dias (Figuras 14 e 15) apresentaram uma alta atividade ionosférica para o período após as 16h UTC, com uma atenuação no terceiro dia (Figura 16) para o mesmo horário.

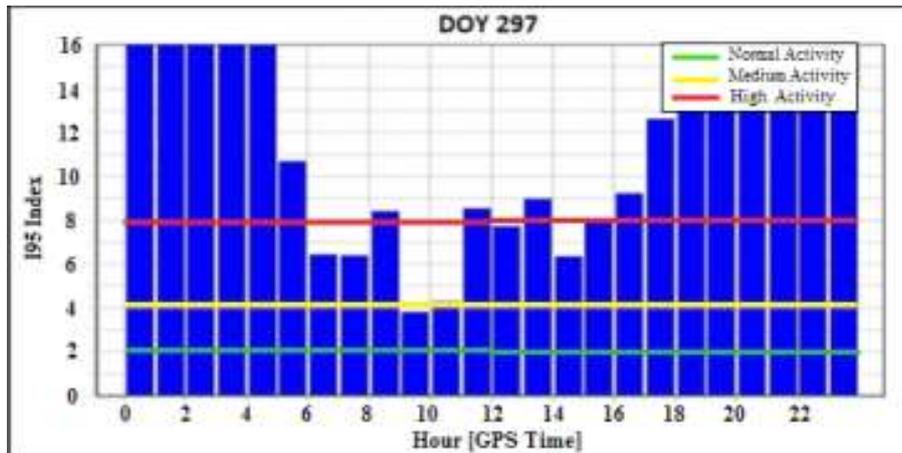


Fig. 14 - Índice I95 da rede GNSS/SP para DOY 297.

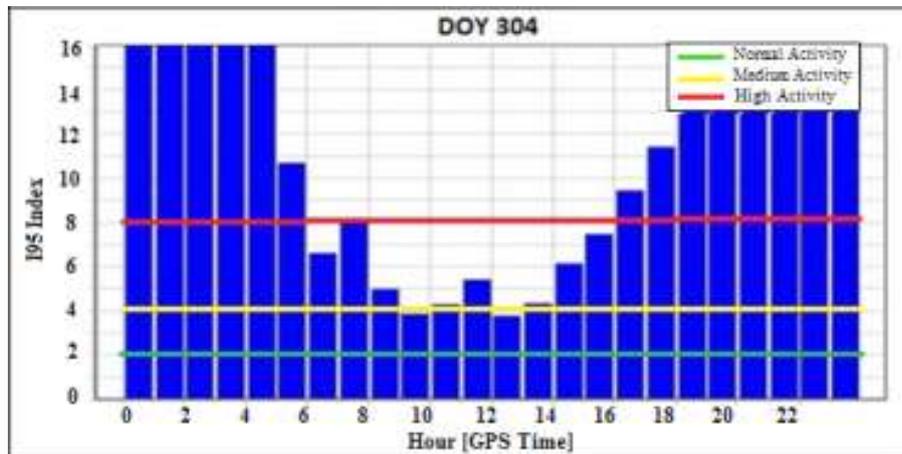


Fig. 15 - Índice I95 da rede GNSS/SP para DOY 304.

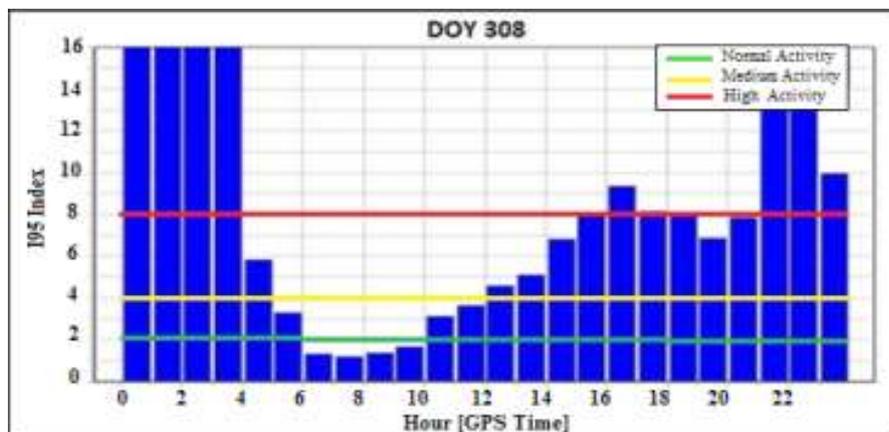


Fig. 16 - Índice I95 da rede GNSS/SP para DOY 308.

O primeiro dia (Figura 14) apresenta os maiores valores do índice para os três períodos, iniciando uma alta atividade ionosférica às 0h UTC com declínio às 5h UTC e novamente uma alta atividade ionosférica após 16h UTC. O índice I95 para o segundo dia do experimento (Figura 15) apresentou-se de forma similar ao DOY 297 considerando o período noturno, para os demais períodos no DOY 304 foram observados valores menores que os encontrados no DOY 297.

Por fim o DOY 308 (Figura 3), sendo considerado o dia com a atividade ionosférica mais amena se comparado aos demais dias do experimento, porém, valores de alta atividade ionosférica foram observados após as 21h UTC. Os valores mínimos foram observados no intervalo das 6h UTC às 9h UTC, segundo o limiar de classificação este intervalo é considerado de atividade ionosférica normal, apresentando as melhores condições para o posicionamento.

5.2 Considerações sobre a inicialização

Nas aplicações *RTK* um fator importante é aguardar que as ambiguidades sejam estimadas

como valores inteiros (solução *fixed*) num intervalo de tempo mais breve possível, devendo ocorrer antes de iniciar o posicionamento ou durante o mesmo (MONICO, 2008).

Prosseguiu-se com a metodologia proposta na seção 4 e para efeito comparativo os intervalos de tempo para inicialização demandados na solução das ambiguidades foram cronometrados sempre para o ponto A1 (primeiro ponto do circuito).

Dentre as estações que compõem a Rede *GNSS/SP*, a mais próxima ao ponto A1 é a estação PPTE (distante 34,84 km), localizada no câmpus da FCT/UNESP.

A inicialização no ponto A1 foi feita por três vezes consecutivas, considerando que o circuito foi percorrido por duas vezes consecutivas, desse modo tem-se seis inicializações por período do dia, totalizando dezoito inicializações por dia de levantamento para o respectivo ponto.

Na Tabela 1 constam os tempos de inicialização cronometrados, organizados por dia, período e ordem de passagem pelo ponto A1.

Tabela 1: Tempo de inicialização no Ponto A1

Dia	Período	Circuito	Tempo de Inicialização			Horário de Início do Circuito (UTC)
			1°	2°	3°	
24/10/2013 (DOY 297)	manhã	1° Vez	2 s	35 s *	1min 06 s *	09 h 16 min
		2° Vez	7 s	3 min 35 s	16 s	11 h 26 min
	tarde	1° Vez	13 s	56 s *	18 s	14 h 47 min
		2° Vez	2min 40 s	2 min 39 s *	27 s	16 h 49 min
	noite	1° Vez	SC	SC	SC	23 h 03 min
		2° Vez	SC	SC	SC	00 h 30 min
31/10/2013 (DOY 304)	manhã	1° Vez	10s	18 s	3 min 50 s *	08 h 55 min
		2° Vez	1min 40 s	24 s	20 s	10 h 40 min
	tarde	1° Vez	16 s	38 s	1 min 21 s	15 h 00 min
		2° Vez	51 s	17 s	16 s	16 h 26 min
	noite	1° Vez	SC	SC	SC	22 h 55 min
		2° Vez	SC	SC	SC	00 h 20 min
01/11/2013 (DOY 308)	manhã	1° Vez	15 s	32 s *	16 s	08 h 52 min
		2° Vez	21 s	18 s	24 s	10 h 10 min
	tarde	1° Vez	37 s	1min 18 s *	53 s	14 h 50 min
		2° Vez	25 s	24 s	24 s	16 h 15 min
	noite	1° Vez	SC	SC	SC	22 h 40 min
		2° Vez	SC	50 s	4 min 12 s	00 h 10 min

SC: sem conexão com o centro de controle

Nos casos assinalados com asterisco (*) ocorreu a perda da inicialização imediatamente após a obtenção da mesma, de modo que foi necessária uma nova tentativa até que a inicialização se estabilizasse. Foi observado em campo que este comportamento ocorria na maioria das vezes em conjunto com a inconsistência do sinal da rede de celular. As análises desta seção também consideram as inicializações onde ocorreu perda de dados (*).

Algumas considerações podem ser feitas a partir dos resultados apresentados na Tabela 1. Os intervalos de inicialização obtidos apresentaram-se num intervalo mínimo de 2s e máximo de 4min 12s. Durante o período da manhã (6 inicializações), a melhor média do tempo de inicialização foi de 21s para o DOY 308 e a pior de 67s para DOY 304. Já no período da tarde, o menor tempo médio para a inicialização, considerando 6 inicializações, foi de 34,5s para DOY 304 e o pior de 72s para DOY 308.

Numa visão geral para DOY 297, 304 e 308 (total de 18 inicializações por período), a média para o período da manhã ficou em 48s e para o período da tarde em 49,5s. O DOY 308 apresentou a melhor média considerando os valores dos períodos da manhã e da tarde (12 inicializações), alcançando 30,5s ao passo que, o DOY 297 apresentou 64s em média para obter a inicialização.

Segundo as especificações do fabricante, o tempo de inicialização do receptor para bases individuais ou múltiplas é de no mínimo de 10s + 0,5 multiplicado pelo comprimento da linha de base até a estação de referência. Tendo PPTE distante 35 km, tem-se 27,5s como tempo de inicialização mínimo. Quanto ao tempo máximo para obter a inicialização, não comparecem informações específicas para o equipamento.

Por fim e não menos importante, as considerações referentes às inicializações no período noturno no qual das 18 tentativas durante os três dias de coletas apenas duas obtiveram sucesso. Tal comportamento justifica-se pela adoção da configuração *Prohibit Raw mode* no sistema *Trimble Pivot*, citada na seção 4. Essa configuração impediu que o usuário em campo estabelecesse conexão bidirecional com o centro de processamento e conseqüentemente acesso às correções da Rede GNSS/SP. Este fato é um forte indício que o comportamento da ionosfera na região da Rede GNSS/SP durante o período noturno estava afetado de tal modo a impedir o fornecimento da solução em rede ao rover em campo.

A taxa de sucesso para a inicialização no referido período, foi de apenas 11% e ocorreu no DOY 308, único dia a apresentar sucesso em pelo menos uma tentativa de conexão com o centro de controle no período noturno. De acordo com os índices apresentados (Figura 16), o terceiro dia apresentou os menores efeitos ionosféricos na área de abrangência da rede.

5.3 Desempenho do GNSS no posicionamento

Nesta seção, são apresentadas as coordenadas de referência, tidas como verdadeiras. Posteriormente na forma de EMQ (Erro Médio Quadrático), as análises quanto à acurácia do RTK em rede empregando VRS serão discutidas. As coordenadas de referência dos pontos da Área Teste são apresentadas na Tabela 2, tais coordenadas foram determinadas por Pinto (2012), empregando dados *GPS/GLONASS*, receptores de dupla frequência, além de efemérides precisas para o processamento.

Tabela 2: Coordenadas de referência

Ponto	Coordenadas de Referência - SIRGAS 2000 – Época 2000,4					
	N [m]	σ [m]	E [m]	σ [m]	h [m]	σ [m]
A1	7535431,4950	0,0022	428311,7090	0,0038	386,6008	0,0080
M5	7534942,8390	0,0024	427928,5090	0,0040	374,1305	0,0084
M4	7534433,9590	0,0026	428440,9320	0,0041	369,0408	0,0089
M3	7534913,0600	0,0024	429221,8050	0,0039	381,6295	0,0086

Tabela 3: Distância até PPTE e valores de acurácia de acordo com especificações do equipamento

Ponto	A1	M5	M4	M3	Média	Desv. Pad.
Distância até PPTE [km]	34,84	35,42	35,27	34,35	34,97	0,4165
Acurácia Horizontal EMQ [m]	0,045					
Acurácia Vertical EMQ [m]	0,055					
Acurácia 3D [m]	0,071					

Na análise de qualidade do desempenho do RTK em rede a melhor forma de se fazer a avaliação da acurácia é em termos de análise na tendência e precisão (incerteza). Monico *et al.*, (2009) apresentam uma medida de acurácia, pelo cálculo do EMQ dada pela equação a seguir:

$$EMQ^2 = \sigma^2 + b^2 \quad (4)$$

onde σ^2 representa a dispersão das medidas (variância ou incerteza) e b^2 , representa a tendência ou vício do estimador.

Na Tabela 3 observa-se que todos os pontos do circuito estão localizados entre 34,35 km e 35,42 km distantes de PPTE, sendo esta a estação base empregada na criação de uma estação virtual a poucos metros do ponto ocupado.

Dessa forma, o uso da VRS proporciona, considerando uma situação ideal, independência da distância até uma estação base pertencente a uma rede GNSS. Ainda na Tabela 3, os valores de acurácia esperados, em conformidade com as especificações apresentadas na seção 4.

Na Figura 17 são apresentados os comprimentos das linhas de base entre as estações de referência integrantes da Rede GNSS/SP e que estão próximas à Área Teste. O espaçamento médio é de 170 km. Tais comprimentos podem ser considerados longos e fora das especificações recomendadas pelo fabricante do sistema de gerenciamento das estações, fato que pode influenciar o posicionamento RTK em rede e devem ser considerados nas análises.



Fig. 17 – Estações da Rede GNSS/SP próximas à Área Teste.

Seguindo a metodologia apresentada na seção 4, as coordenadas determinadas empregando o RTK em rede foram confrontadas com as de referência. A partir disso, foram realizadas análises e sempre que possível a correlação com o potencial efeito da ionosfera sobre o posicionamento.

Nas Figuras 18, 19 e 20 são apresentados os gráficos relacionados à acurácia do posicionamento, na forma do EMQ3D (considerando EMQ planimétrico e EMQ altimétrico) no sistema local, obtido para cada uma das duas passagens pelo circuito durante o respectivo período do dia (Tabela 1). Conforme exemplo: Manhã_1 refere-se à primeira passagem pelo circuito no período da

manhã. Destaca-se que todos os pontos coletados apresentaram solução *fixed*.

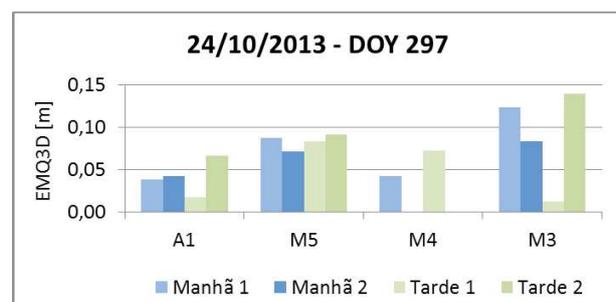


Fig. 18 – DOY 297: EMQ3D das coordenadas dos pontos.

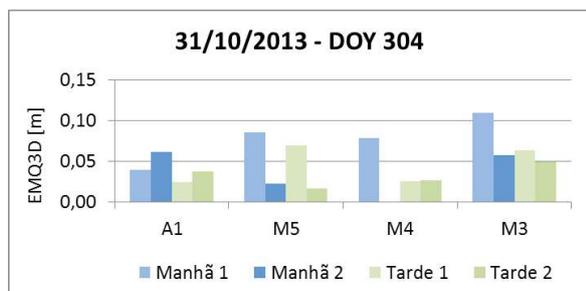


Fig. 19 – DOY 304: EMQ3D das coordenadas dos pontos.

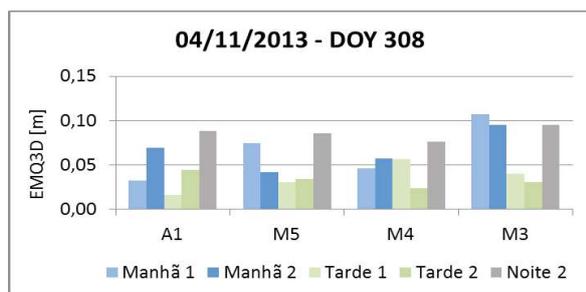


Fig. 20 – DOY 308: EMQ3D das coordenadas dos pontos.

A primeira observação acerca dos resultados apresentados nas Figuras 18, 19 e 20, diz respeito à ausência de parte dos dados em determinados períodos, por enquanto serão feitas as considerações acerca dos períodos da manhã e tarde, sendo o período noturno tratado adiante nesta seção.

O ponto M4 apresenta ausência de dados em alguns períodos da coleta, por exemplo, para Manhã_2 e Tarde_2 de DOY 297 (Figura 18). Tal fato deve-se à inconsistência do sinal da rede de cobertura celular no momento da ocupação do ponto, inviabilizando a conexão com o centro de controle da rede. Quando esta falha ocorria, eram aguardados 10 min na tentativa que o sinal fosse reestabelecido, caso contrário o ponto era abortado e seguia-se para o próximo. Segundo o morador do lote onde o ponto M4 está materializado, essa região específica do Assentamento apresenta oscilação na potência do sinal da rede de telefonia celular, sendo eventualmente necessário o deslocamento para outro local que apresente topografia mais elevada.

Na Figura 21 são apresentados os valores do EMQ3D médio, com base nos valores apresentados nas Figuras 18, 19 e 20, para cada um dos pontos nos períodos da manhã e tarde, foi feita a média do EMQ3D obtidos nas duas passagens pelo circuito.

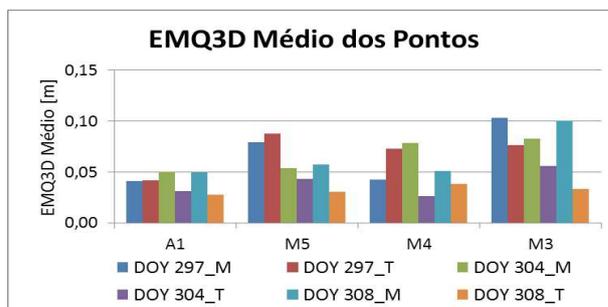


Fig. 21 – EMQ3D médio das coordenadas dos pontos (períodos: manhã e tarde).

Conclui-se pela análise da Figura 21 que as coletas feitas no DOY 308 apresentam os melhores resultados, principalmente no período da tarde. Um ponto a ser destacado são os resultados considerando os dois períodos do dia em conjunto, de modo a verificar, numa visão diária, a acurácia do posicionamento.

Diante disso a Figura 22 apresenta o valor um EMQ3D médio para cada um dos dias do experimento considerando o conjunto dos períodos manhã e tarde.

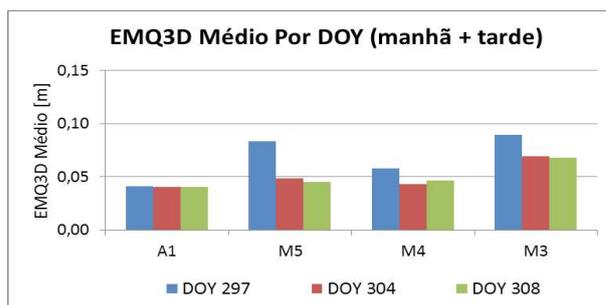


Fig. 22 – EMQ3D médio das coordenadas dos pontos (DOYs 297, 304 e 308).

A Figura 22 reforça o bom desempenho das coletas realizadas no DOY 308, dia com os menores índices dos efeitos ionosféricos. Considerando as médias de todas as passagens ponto a ponto nos três dias, os resultados apresentados na Figura 22 mostraram-se satisfatórios quanto à acurácia do posicionamento para DOY 304 e 308 principalmente.

Em relação ao período noturno, pelas Figuras 18, 19 e 20 observam-se a ausência total destes dados para os dois primeiros dias do experimento e parcialmente para o terceiro dia. Conforme comprovado na seção 5.1, há indicativo de cintilação para tais períodos de acordo com os dados da estação de monitoramento PRU3 (Figuras 8 a 13) e índice I95 para a Rede GNSS/SP (Figuras 14, 15 e 16).

Para uma visualização pontual, as Figuras 23, 24 e 25 apresentam o índice S4 para o intervalo das 22h UTC até 2h UTC, para cada um dos três dias do experimento. As linhas destacadas em

amarelo e vermelho correspondem ao horário de início da primeira e segunda tentativa de passagem pelo circuito, conforme apontado na Tabela 1.

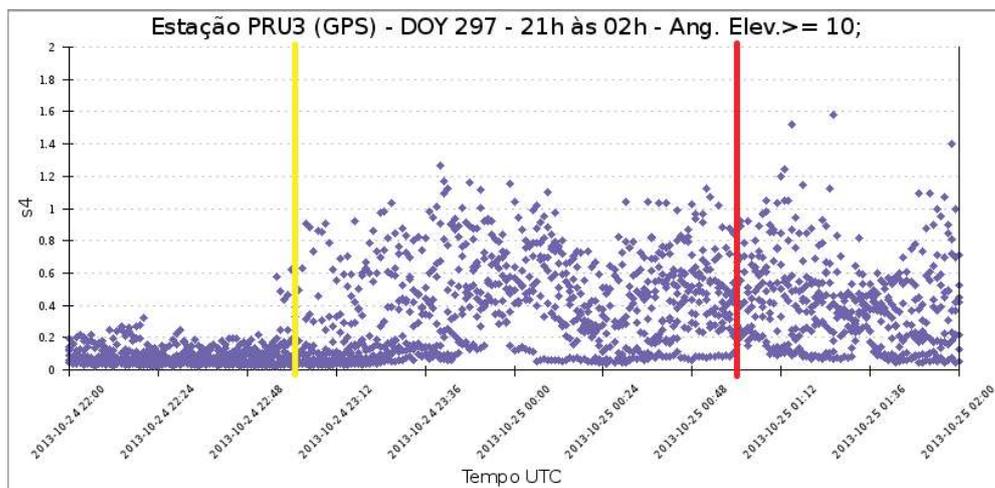


Fig. 23 – Intervalo 22h às 02 h para DOY 297.

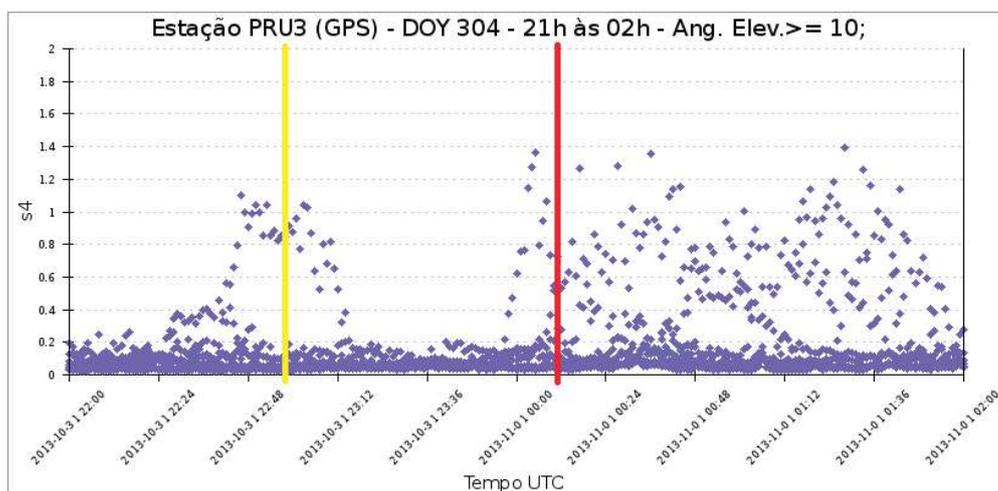


Fig. 24 – Intervalo 22h às 02 h para DOY 304.

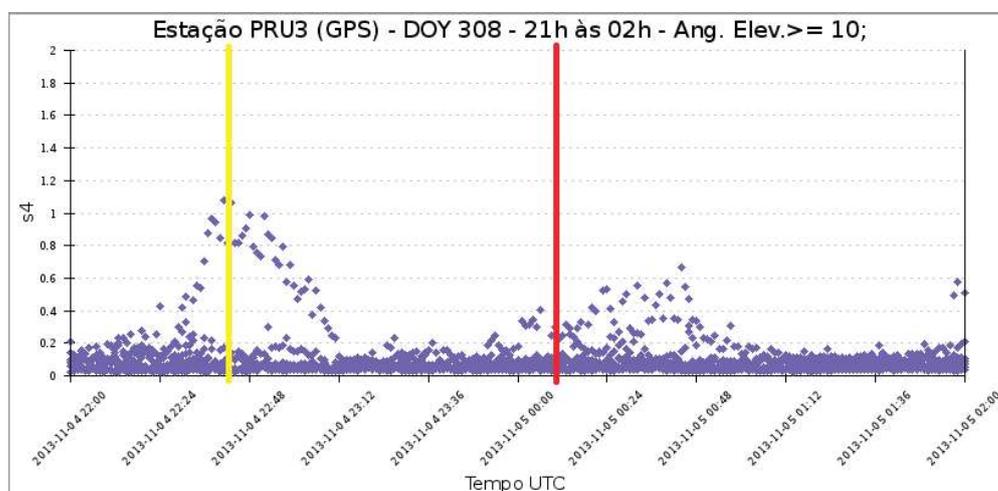


Fig. 25 - Intervalo 22h às 02 h para DOY 308

As tentativas de passagem foram determinadas segundo a inicialização no ponto A1. Em caso de sucesso na solução das ambiguidades o levantamento prosseguia para o próximo ponto e caso o tempo de espera pela inicialização fosse superior a 20min a passagem pelo circuito era abortada. Em nenhum caso a inicialização foi superior a 20min, uma vez que se a conexão com o centro de controle para a aplicação das correções em rede não estava disponível para os determinados horários (exceto para Noite_2). Consequentemente, a tentativa de inicialização nem sequer era iniciada.

No DOY 308 a primeira tentativa de passagem pelo circuito não foi possível, aguardou-se cerca de meia hora para uma nova tentativa, a qual foi bem sucedida. Pela Figura 25 nota-se que o índice S4 obteve os menores valores se

comparados ao demais dias do experimento. Observa-se que os valores acima do limiar de 0,6 apresentam-se em menor quantidade para este dia e principalmente para o horário de início da segunda passagem pelo circuito.

Por fim, como análises complementares deste experimento, são apresentados na Figura 26 resultados obtidos na forma do EMQ, para as componentes horizontal (planimétrica), vertical (altimétrica) e 3D (planialtimétrica) com o objetivo de analisar de forma individual a qualidade do posicionamento em cada uma destas componentes. Os dados escolhidos correspondem à segunda passagem pelo circuito no DOY 308, visto que a respectiva passagem apresenta os dados em sua totalidade para todos os pontos do circuito nos três períodos do dia.

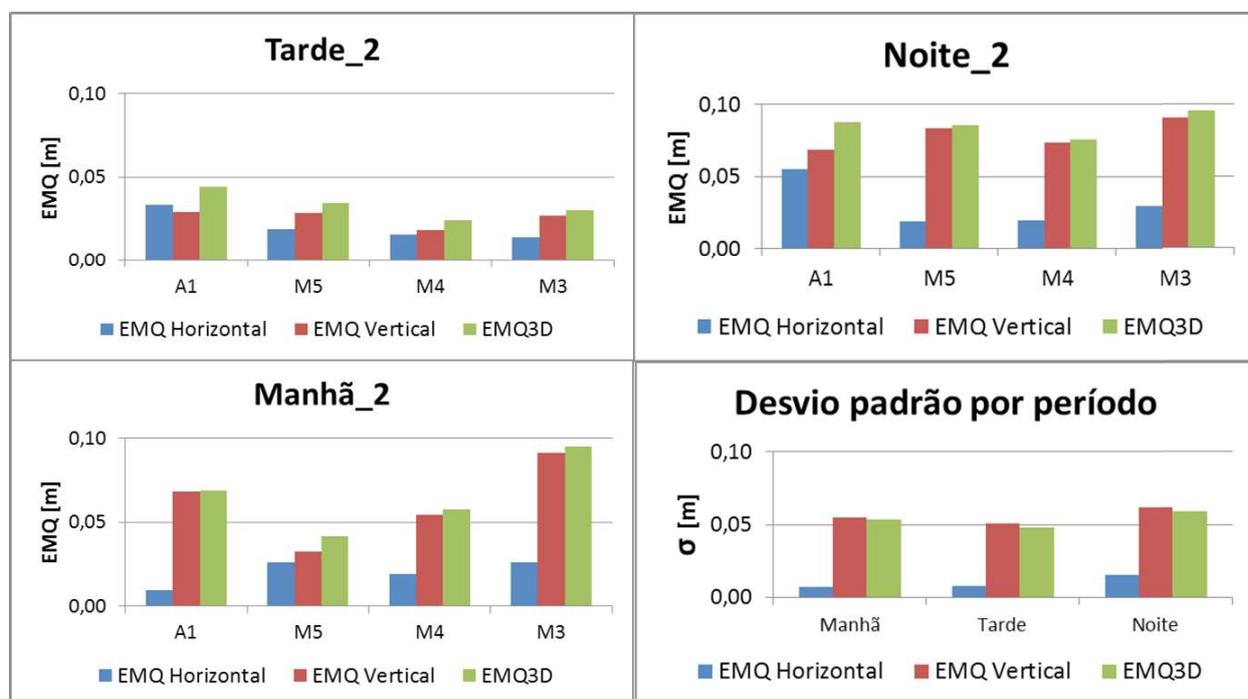


Fig. 26 – EMQ e desvio padrão das coordenadas dos pontos por período no DOY 308.

Pela análise dos resultados apresentados na Figura 26, foi possível verificar que 50 % dos valores obtidos no DOY 308, para a componente altimétrica, não foram satisfatórios se comparados aos valores especificados pelo fabricante (Tabela 3). Destaca-se que no período noturno esta componente apresentou 100% de seus dados fora da precisão esperada (até 0,055 m), chegando a quase 10 cm. Em relação à componente planimétrica, exceto para o ponto A1 no período noturno, todas se apresentaram

dentro do limiar de acurácia especificado na Tabela 3, ou seja, menores que 0,045m.

CONCLUSÕES

No presente trabalho foram realizadas investigações quanto ao desempenho do RTK em rede, utilizando o conceito de *VRS*, considerando os possíveis efeitos da cintilação sobre este método no contexto da Rede GNSS/SP.

Constatou-se que os erros nas coordenadas das componentes locais (E, N e h), durante

levantamentos empregando receptores *GPS* L1/L2 aliados à metodologia do *RTK* em rede, são consideravelmente maiores em períodos concomitantes aos eventos da cintilação.

Outra característica observada é a alta acurácia dos resultados (melhores para períodos como a manhã e tarde, em que os efeitos da ionosfera são considerados fracos, sem ocorrência de cintilação, uma vez que esta tem maior dispersão após o pôr do sol, com aumento das atividades às 21h UTC e término às 4h UTC, com probabilidade de ocorrência de cintilação.

Dos resultados apresentados neste artigo, pode-se concluir que a metodologia aplicada para a realização do experimento mostrou-se eficiente. Outra característica observada é a qualidade dos resultados é melhor nos períodos como a manhã e tarde, em que os efeitos da ionosfera são considerados fracos.

Este experimento apresentou-se como um indicador acerca que as interferências ionosféricas se mostram potencialmente prejudiciais às atividades de posicionamento que demandam alta acurácia. O conhecimento dos horários em que comumente ocorre a cintilação na sua forma moderada/forte fornece subsídios para a tomada de decisões no planejamento de atividades, como na agricultura de precisão e aplicações *offshore*, de modo a minimizar custos.

Por fim, ressalta-se a importância dos usuários de sistemas *GNSS* tomarem conhecimento do comportamento da ionosfera e seus efeitos sobre o posicionamento e navegação, de modo a buscarem realizar seus projetos com maior qualidade e confiabilidade.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível - CAPES, pelo financiamento da bolsa da primeira autora. Os autores também agradecem aos parceiros dos Projetos CIGALA e CALIBRA que contribuíram para este trabalho. Ambos projetos foram financiados pela Comissão Europeia (CE), no âmbito do FP7-GALILEO-2009-GSA e FP7-GALILEO-2011- GSA-1a, respectivamente. Agradecemos também a FAPESP, Projeto Número 06 / 04008-2. Ao amigo Bruno Vani, pela colaboração nos dias e noites do experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, A. J. G. **Implementação de uma rede de estações de referência GPS para posicionamento em tempo real.** 151p. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica e Geoinformática). Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências e Departamento de Matemática, Lisboa. p. 124-136, 2006.

ALVES, D. B. M. **Posicionamento GPS utilizando conceito de estação virtual.** 164p. 2008. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. p. 120-135, 2008.

ALVES, P.; AHN, Y.; LACHAPELLE, G. The effects of network geometry on network *RTK* using simulated *GPS* data. **Proceedings of ION GPS, Oregon Convention Center, Portland, 2003....**, p 1417 - 1427, 2003.

APONTE, J.; MENG, X.; MOORE, M., DODSON, A. Quality assessment of a network-based *RTK GPS* service in the UK. **Journal of Applied Geodesy.** vol. 3. no.1, p. 25-34, 2009.

CONKER, R.S., EL-ARINI M.B., HEGARTY C.J., HIAO T. Modelling the Effects of Ionospheric Scintillation on *GPS/Satellite-Based Augmentation System* Availability. **Radio Sci.**, 38 (1), 1001, doi:10.1029/2000RS002604. p.37-53, 2002.

DAL POZ, W. R. **Investigações Preliminares Sobre A Influência Do Clima Espacial No Posicionamento Relativo Com GNSS.** 160p. 2010. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. p. 78-95, 2010.

DAVIES, K. **Ionospheric Radio.** London: Peter Peregrinus Ltd., 580p. 1990. p. 130-178, 1990.

DUARTE, R.; SILVA S. L. J; TORRES M. R.; VILELA D. L. **Metodologias de levantamento visando atender a Norma de Georreferenciamento de Imóveis Rurais.** 105p. 2009. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Cartográfica). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. p. 85-92, 2009.

- EL GISAWY, M. L. **Development of an ionosphere monitoring technique using GPS measurements for high latitude GPS users.** 161p. 2003. Thesis. University of Calgary. Calgary. p. 130-142, 2003.
- FOTOPOULOS, G; CANNON, M. E. An overview of multi-reference station methods for cm-level positioning. **GPS Solutions**, Berlin, v.4, n.3, p.1-10, 2001.
- ISHIKAWA, M. I. **Georreferenciamento em imóveis rurais: métodos de levantamento na aplicação da lei 10.267/2001.** 183p. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. p. 165-172, 2007.
- ITU-INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION. **Ionospheric propagation data and prediction methods required for the design of satellite services and systems.** 130p. 2012. Recommendations. p. 87-102, 2012.
- KINTNER JR., P.; HUMPHREYS, T.; HINKS, J. **GNSS and ionospheric scintillation: How to survive the next solar maximum.** **Inside GNSS**, p. 22-30, 2009.
- LANDAU, H.; VOLLATH, U.; CHEN, X. Virtual reference station systems. **Journal of Global Positioning System**, v.1, n.2, p.137-143, 2002.
- LEITE, C. C. P.; SOUZA, C. R. R.; ANJOLETE JR, N. **Metodologias para levantamentos de propriedades rurais para atender a Lei 10.267/01.** 130p. 2005. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Cartográfica). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. p. 115-121, 2005.
- MARQUES, H.A.; MIYASHITA, P.M.; RAMOS, R. S.; ENNES, R.; KLEBIS, R.O. **Metodologias Rápidas para Levantamento de Propriedades Rurais em Atendimento a Lei 10.267/2001.** 97p. 2005. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Cartográfica). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 75-82p, 2005.
- MATSUOKA. **Influência de diferentes condições da ionosfera no posicionamento por ponto com GPS: Avaliação na região brasileira.** 263p. 2007. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 102-130p, 2007.
- MCNAMARA, L. F. **The ionosphere: Communications, surveillance, and direction finding.** Florida: Krieger Publishing Company. 237p. 1991.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações.** 2. ed. São Paulo: Unesp. 476p. 2008.
- MONICO, J. F. G.; DAL POZ, A. P.; GALO, M.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, n. 3. p. 469-483, 2009.
- PINTO, M. S. **Influência da combinação e modernização dos sistemas que integram o GNSS no georreferenciamento de imóveis rurais.** 181p. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. p. 135-153, 2012.
- RIZOS, C. Network *RTK* research and implementation - A geodetic perspective. **Journal of Global Positioning System**, v.1, n.2, p.144-150, 2002.
- SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications.** Berlin, New York: Walter de Gruyter, 612p. 2003.
- SILVA, H. A.; MONICO, J. F. G. Ajustamento de redes *GPS* em conformidade com as exigências da Lei 10.267/2001. **Boletim de Ciências Geodésicas.** v. 15, p. 514-526, 2009.
- TIWARI, R.; SKONE, S.; TIWARI, S.; STRANGWAYS, H. J. 3WBMod Assisted PLL *GPS* Software Receiver for Mitigating Scintillation Affect in High Latitude Region. IEEE, **Proceedings of ION GPS ...** p. 12-27, 2011.
- TRIMBLE. R8 GNSS Receiver. **User Guide.** 76p. 2010.
- _____. *Trimble® Pivot™ Platform GNSS Infrastructure Software.* **User Guide.** 302p. 2013.

- VANI, B. C. **Análise da cintilação ionosférica no Brasil empregando GNSS e técnicas de mineração e visualização de dados**. 2014. 127p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. p. 103-127, 2014.
- YEH, K. C.; LIU, C. H. Radio wave scintillation in the ionosphere, Proc. IEEE, v. 70, n.4, p. 324-360. 1982.
- WANNINGER L. The performance of Virtual Reference Stations in Active *GPS* Networks under Solar Maximum Ionospheric Conditions. In **Proc. Institute of Navigation GPS**, Nashville, Tennessee, September 14-17, p. 1419-1427. 1999.
- _____. Virtual reference stations for centimeter-level kinematic positioning. **Proceedings of ION GPS**, Portland, Oregon, p. 1400-1407, 2002.
- _____. Ionospheric disturbance indices for *RTK* and network *RTK* positioning. **Proceedings of ION GPS**, Long Beach, California, p. 2849-2854, 2004.
- WEBSTER, I. **A regional model for prediction of ionospheric delay for single frequency users of the Global Positioning System**. 196p. 1993. Msc Thesis. Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, New Brunswick, Canada. P.130-145, 1993.
- ZINAS, N.; PARKINS, A.; ZIEBART, M. Improved network-based single-epoch ambiguity resolution using centralized *GNSS* network processing. **GPS Solutions**, v.17, n. 1, p. 17-27, 2013.