



HÉRIDA DOS REIS SILVA

**DESEMPENHO DO RTK EM REDE SOB EFEITO DA
CINTILAÇÃO IONOSFÉRICA**

HÉRIDA DOS REIS SILVA

**DESEMPENHO DO *RTK* EM REDE SOB EFEITO DA
CINTILAÇÃO IONOSFÉRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Cartográficas.

Orientador: Prof. Dr. João Francisco Galera Monico

Coorientadora: Profa. Dra. Daniele Barroca Marra Alves

**Presidente Prudente
2014**

DADOS CURRICULARES

Hérída dos Reis Silva

Nascimento	07.10.1987 – Pouso Alegre – MG
Filiação	Helenice de Fátima dos Reis Edson Lima da Silva
2007 – 2011	Graduação Bacharelado em Engenharia Cartográfica Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Câmpus de Presidente Prudente
2012 – 2014	Pós-Graduação Mestrado em Ciências Cartográficas Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Câmpus de Presidente Prudente

FICHA CATALOGRÁFICA

S58d Silva, Hérída dos Reis.
Desempenho do RTK em rede sob efeito da cintilação ionosférica /
Hérída dos Reis Silva. - Presidente Prudente : [s.n], 2014
129 f.

Orientador: João Francisco Galera Monico
Coorientadora: Daniele Barroca Marra Alves
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências e Tecnologia
Inclui bibliografia

1. Posicionamento Geodésico. 2. RTK em rede. 3. Cintilação ionosférica.
I. Silva, Hérída dos Reis. II. Mônico, João Francisco Galera. III. Alves,
Daniele Barroca Marra . IV. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Ciências e Tecnologia. V. Desempenho do RTK em rede sob efeito da
cintilação ionosférica.

TERMO DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Presidente Prudente

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO
(ORIENTADOR)

Dr. PAUL JOZEF DE JONGE
(Geodetics Inc.)

Prof. Dr. MAURO ISSAMU ISHIKAWA
(UNESP/FCT)

HÉRIDA DOS REIS SILVA

Presidente Prudente (SP), 26 de setembro de 2014.

Resultado: APROVADA!

*De todo coração,
à minha amada mãe, Helenice.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu grande e misericordioso Deus, por estar comigo nos bons momentos e me amparar nos momentos de dificuldade, dando-me saúde, força, perseverança, sabedoria e serenidade para continuar no bom caminho.

À minha querida família (em especial: Helenice, Edson, Éder, Edinho, Ediene e Gabi, Vós Djanira e Nazaré, Vó Honório, Tia Nilcéia, Tio Ronaldo, Tia Rosa, Tio Seishiro, Tia Valdirene, Tio Mirtinho, Tia Vilma, Tio Zé, Tia Amanda, Tio Erli, Tia Maria, Tio Edval, Tia Edna e Tio Joel) e aos meus amigos queridos (em especial: Cuma, Arianne, Samara, Juliane, Luis Fernando, Jacqueline, Chaenne, Raquel, Miriam, Gisele e Thais) por me acompanharem e apoiarem, especialmente nos momentos de fraqueza. Aos amigos Artur e Diego que estão junto ao Pai, mas certa de estarem olhando por mim.

Obrigada a todos os amigos e familiares por serem tão pacientes e compreensivos comigo, apesar dos meus defeitos. Agradeço a força que me deram durante as decisões importantes de minha vida e pelo entendimento à minha ausência em alguns momentos.

Às famílias Manzoni David e Calçado de Azevedo por me acolherem em vários momentos de confraternização durante esta jornada, atenuando a saudade de casa.

Obrigada, mil vezes obrigada, aos meus orientadores Prof. Galera e Profa. Dani, por me mostrarem a luz, me acompanharem e me orientarem durante minha jornada.

À banca examinadora, Prof. Dr. Mauro Ishikawa e Dr. Paul de Jonge, por gentilmente aceitarem o convite a contribuir com suas sugestões e críticas, de modo a engrandecer o trabalho e deixar minhas ideias mais claras.

Aos professores do Departamento de Cartografia e do PPGCC, que com os conhecimentos transmitidos nos conduzem para mais perto da sabedoria.

Ao Prof. Erivaldo, por ter me iniciado na pesquisa científica e por se mostrar humano.

À Turma XXXI de Engenharia Cartográfica pelos inesquecíveis anos na Graduação.

Aos integrantes da Sala de Permanência (especialmente: Érico, Thanan, Ulisses, Gabriela, Marcus, Mariana, Prol, Ana Paula, Renan e Henrique) pelas muitas conversas acompanhadas de café.

Aos integrantes do GEGE (especialmente Tayná, Cris, Jéssica, Gabriel, Vini, Bruno, Paulão, Mayara, Jackes, Rogério e Italo), pelos conhecimentos compartilhados, ajuda mútua e pelas proveitosas (muitas divertidas até) reuniões nas tardes de sexta-feira.

A todo apoio técnico imprescindível dos Engenheiros: Danilo Rodrigues, David Ward, Jackson Sakaue, João Naves e Victor Santos.

Minha gratidão aos funcionários da FCT/UNESP, especialmente a Thaís, Nemer, Kátia, Cinthia, Ivonete e André, por serem sempre tão atenciosos, simpáticos e prestativos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível - CAPES, pelo auxílio financeiro nessa pesquisa, sob forma de bolsa de demanda social.

Ao Projeto CIGALA/CALIBRA, no âmbito do Programa FP7 (Galileo FP7 R&D) financiado pela GSA.

A todos aqueles que de alguma forma, foram parte integrante para a realização deste trabalho e a aqueles que por esquecimento, não foram citados aqui, mas da mesma forma, têm a minha estima e gratidão pelos momentos compartilhados.

Que eu consiga ser digna e retribuir tudo o que recebo Dele.

*Não temas, porque eu sou contigo; não te
assombres, porque eu sou teu Deus; eu te fortaleço,
e te ajudo, e te sustento com a destra da minha
justiça.*

(Is 41:10)

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, a eficiência do método é degradada, pois a correlação dos erros é reduzida pelo 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*. Mas um dos fatores que mais degradam a propagação dos sinais do *GNSS (Global Navigation Satellite System)*, mesmo no *RTK em rede*, é a cintilação ionosférica, caracterizada por alterações rápidas na amplitude e na fase do sinal eletromagnético ao passar por irregularidades na densidade de elétrons na ionosfera. 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 observado a intensificação dos efeitos da cintilação. Considerando o âmbito público, a única rede de estações de referência no Brasil que viabiliza estudos quanto ao o posicionamento *RTK em rede*, localiza-se no estado de São Paulo, denominada Rede *GNSS/SP*. Tal rede possui atualmente 20 estações ativas e um centro de controle para gerenciamento da rede por meio do sistema comercial *Trimble Pivot (Progressive Infrastructure Via Overlaid Technology)*. Neste contexto, a presente pesquisa investigou o desempenho do posicionamento *RTK em rede* sob efeito de cintilação. Para tanto, foram realizados três experimentos, descritos em detalhes e analisados com base na acurácia em relação às coordenadas consideradas verdadeiras com as obtidas no posicionamento. O primeiro experimento reproduziu de forma prática um usuário das correções da Rede *GNSS/SP* em campo, coletando feições de interesse utilizando um receptor GPS de dupla frequência em períodos diferentes do dia (manhã, tarde ou noite), sujeito à ocorrência da cintilação. Já no segundo experimento, uma antena *GNSS* de simples frequência foi instalada num ponto fixo de modo que o receptor foi programado para coletar dados 24 horas por dia de modo automático num período de 6 meses. No terceiro experimento, utilizou-se um receptor *GNSS* de dupla frequência instalado num ponto fixo, coletando dados durante o período noturno, num mês em que houve ocorrência de forte cintilação. De uma forma geral, verificou-se na prática que os experimentos contribuíram para a constatação que os erros nas coordenadas das componentes locais (E, N e h), durante levantamentos empregando receptores GPS/*GNSS* de simples ou dupla frequência aliados à metodologia do *RTK em rede*, são consideravelmente maiores em períodos concomitantes aos eventos da cintilação. 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. Destaca-se que, além dos resultados desta investigação, a implantação do sistema de gerenciamento da Rede *GNSS/SP* constituiu uma importante contribuição para o pleno funcionamento e usufruto das diversas aplicações para os usuários do meio acadêmico e profissional.

Palavras chave: Cintilação ionosférica; *RTK em rede*; *VRS*.

ABSTRACT

Atmospheric effects, especially the ionosphere, are major limiting factors for using high accuracy positioning RTK (Real Time Kinematic) technique. With 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 this concept is called RTK Network. However, one of the factors degrading the GNSS (*Global Navigation Satellite System*) signals propagation is the ionospheric scintillation, characterized by rapid changes in the amplitude and phase of the electromagnetic signal passing through irregularities in the electron density of the ionosphere. 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 positioning network is located at São Paulo; so called Network GNSS/SP. Currently the network is composed of 20 active stations and a control center for network management using Trimble Pivot (Progressive Infrastructure Via Overlaid Technology) trading system. In this context, the present research investigated the performance of the RTK Network positioning under scintillation effect. Thus, three experiments were carried out, which are described in detail and analyzed on the basis of accuracy in relation to the ground truth coordinates and those obtained in positioning. The first experiment reproduced practically a user receiving corrections from the Network GNSS/SP in the field, collecting features of interest using a dual-frequency GPS receiver at different times of day (morning, afternoon or evening) and subject to the occurrence of scintillation. In the second experiment, a single frequency GNSS receiver was installed at a fixed position in such way that the receiver was programmed to collect data 24 hours a day automatically during 6 months. In the third experiment, we used a dual frequency GNSS receiver installed at also a fixed location, collecting data during the night, during a month in which the occurrence of strong scintillation was of high probability. In general, it was found in practice that the experiments contributed to the confirmation that the errors in local coordinates of components (E, N and h) during surveys using GPS / GNSS receivers single or dual frequency coupled with the methodology RTK network, are considerably higher during periods in which occurred scintillation. Another feature observed is the better quality of the results for periods as in the morning and afternoon, when the effects of the ionosphere are considered weak. It is worthy that, in addition to the results of this research, the implementation of the management system of GNSS/SP Network was an important contribution to various applications, either in the academic or professional activities.

Keywords: Ionospheric scintillation; RTK Network; VRS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Infraestrutura do <i>RTK</i> em rede	29
Figura 2 - Conceito de <i>VRS</i> no <i>RTK</i> em rede	31
Figura 3 - Sistema <i>NTRIP</i>	32
Figura 4 - Divisão da atmosfera.....	34
Figura 5 - Processo de ionização	35
Figura 6 - Curva de ionização	36
Figura 7 - Perfil da densidade de elétrons dia/noite.....	37
Figura 8 - Contagem do número de manchas solares	39
Figura 9 - Predição do número de manchas solares do Ciclo 24.....	40
Figura 10 - Regiões geográficas da ionosfera	40
Figura 11 - Efeito fonte.....	42
Figura 12 - Mapa global de densidade eletrônica	42
Figura 13 - Caminho direto e refratado dos sinais GNSS.....	44
Figura 14 - Regiões de ocorrências de cintilação em períodos de max e min atividade solar .	45
Figura 15 - Frequência na ocorrência de cintilação	45
Figura 16 - Evolução das bolhas ionosféricas	46
Figura 17 - Exemplo de sinais com mesma frequência e potências diferentes.	47
Figura 18 - Exemplo de cintilação na amplitude de um satélite GPS (PRN 14).....	48
Figura 19 - Índice S4 para dois satélites <i>GPS</i> em momento de cintilação.....	49
Figura 20 - Exemplo de dois sinais e a medida de fase entre eles.....	50
Figura 21 - Parâmetro Φ_{60} e gradiente do TEC para dois satélites em período de cintilação	51
Figura 22 - Exemplo de mapa para a cintilação disponibilizado pelo Projeto Scintec.....	52
Figura 23 - Rede CIGALA/CALIBRA em Agosto de 2014	54
Figura 24 - Mapa do TEC em tempo real, disponibilizado pelo Projeto EMBRACE.....	55
Figura 25 - Rede GNSS/SP	57
Figura 26 - Fluxo lógico de dados	58
Figura 27 - Interface principal da ISMR Query Tool	59
Figura 28 - Interface de consulta para diferentes filtros	60
Figura 29 - Interface principal.....	61
Figura 30 - Exemplo de gráfico I95, proveniente do sistema Trimble Pivot para a rede GNSS/SP no dia 07/05/2014	64

Figura 31 - Rede GNSS/SP no sistema <i>Trimble Pivot</i>	65
Figura 32 - Tipo de receptores da Rede GNSS/SP	66
Figura 33 - Módulos: GNSS Receiver (a) e Storage (b)	67
Figura 34 - Módulo RTO Net VRS (visão parcial)	68
Figura 35 - Configuração de mountpoints.....	69
Figura 36 - Usuário em campo, conectado ao sistema <i>Trimble Pivot</i>	69
Figura 37 - Módulo <i>RTK Net VRS</i> , subcategoria <i>VRS Category</i>	70
Figura 38 - Placa de identificação na entrada principal do assentamento.....	71
Figura 39 - Marco de concreto (a), em (b) vista superior	72
Figura 40 - Divisão da Área Teste no Assentamento	73
Figura 41 - Pontos escolhidos para o experimento	74
Figura 42 - Trimble R8 GNSS e controladora TSC2.....	74
Figura 43 - Ponto A1	75
Figura 44 - Ponto M5	75
Figura 45 - Ponto M4	75
Figura 46 - Ponto M3	76
Figura 47 - Prédio do Laboratório de Geodésia Espacial (LGE1).....	78
Figura 48 - Infraestrutura do Experimento 2	79
Figura 49 - Período de coleta dos dados para o Experimento 2	80
Figura 50 - Local do Experimento 2	81
Figura 51 - Central de Laboratórios do Departamento de Cartografia (CLDC)	82
Figura 52 - Datas das coletas realizadas em março de 2014	83
Figura 53 - Local do Experimento 3	83
Figura 54 - Índice S4 para o DOY 297	85
Figura 55 - Índice S4 para o DOY 304	85
Figura 56 - Índice S4 para o DOY 308	85
Figura 57 - Índice $\sigma\phi$ para o DOY 297	86
Figura 58 - Índice $\sigma\phi$ para o DOY 304	86
Figura 59 - Índice $\sigma\phi$ para o DOY 308	87
Figura 60 - Índice I95 da rede GNSS/SP para DOY 297	87
Figura 61 - Índice I95 da rede GNSS/SP para DOY 308	88
Figura 62 - Índice I95 da rede GNSS/SP para DOY 304	88
Figura 63 - Estações próximas ao local do experimento.....	92
Figura 64 - EMQ das coordenadas dos pontos (DOYs 297, 304 e 308).....	93

Figura 65 - EMQ médio das coordenadas dos pontos (períodos: manhã e tarde)	94
Figura 66 - EMQ médio das coordenadas dos pontos (DOYs 297, 304 e 308)	95
Figura 67 - Intervalo 22h às 02h para o DOY 297	95
Figura 68 - Intervalo 22h às 02h para o DOY 304	96
Figura 69 - Intervalo 22h às 02h para o DOY 308	96
Figura 70 - EMQ e desvio padrão das coordenadas dos pontos por período do DOY 308	97
Figura 71 - Outubro de 2013 a março de 2014 para as estações PRU1, PRU2 e PRU3	98
Figura 72 - Média diária do índice S4 para PRU1 e PRU2.....	99
Figura 73 - Análise temporal versus índice S4 (DOYs 291 a 293 de 2013).....	101
Figura 74 - Análise temporal versus índice S4 (DOYs 326 a 328 de 2013).....	102
Figura 75 - Análise temporal versus índice S4 (DOYs 343 a 345 de 2013).....	103
Figura 76 - Análise temporal versus índice S4 (DOYs 10 a 13 de 2014).....	104
Figura 77 - Análise temporal versus índice S4 (DOYs 37 a 39 de 2014).....	105
Figura 78 - Análise temporal versus índice S4 (DOYs 70 a 72 de 2014).....	106
Figura 79 - Picos de cintilação em março de 2014.....	107
Figura 80 - Comportamento do Índice S4 de hora em hora	108
Figura 81 - Aplicativo Visão de Calendário.....	108
Figura 82 - Estatísticas das épocas para o DOY 72.....	109
Figura 83 - Estatísticas das épocas do DOY 84.....	109
Figura 84 - Índice S4 para dos DOYs 69 e 70.....	110
Figura 85 - Estatísticas das épocas do DOY 69.....	110
Figura 86 - Discrepâncias na componente E.....	111
Figura 87 - Discrepâncias na componente N.....	111
Figura 88 - Discrepâncias na componente Up.....	111
Figura 89 - Desvio-padrão na componente E.....	112
Figura 90 - Desvio-padrão na componente N.....	112
Figura 91 - Desvio-padrão na componente Up.....	112
Figura 92 - Idade e tipo das correções transmitidas.....	113
Figura 93 - Análise temporal comparativa das componentes ENUp x Índice S4	114
Figura 94 - Estatísticas das épocas no intervalo de 23h00min às 04h00min UTC	115
Figura 95 - Índice S4 para o período de 23h00min às 04h00min UTC	115
Figura 96 - Período de rastreamento dos satélites GPS no intervalo de 23h00min às 04h00min UTC	116
Figura 97 - Erros na componente E para o período de 23h00min as 04h00min UTC.....	117

Figura 98 - Erros na componente N para o período de 23h00min as 04h00min UTC	117
Figura 99 - Desvio-padrão na componente Up para o período de 23h00min as 04h00min UTC	117
Figura 100 - Desvio-padrão na componente E para o período de 23h00min as 04h00min UTC	118
Figura 101 - Desvio-padrão na componente N para o período de 23h00min as 04h00min UTC	118
Figura 102 - Desvio-padrão na componente Up para o período de 23h00min as 04h00min UTC.....	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo de inicialização no ponto A1	89
Tabela 2 - Coordenadas de referência.....	91
Tabela 3 - Distância até PPTE e valores de acurácia de acordo com especificações do equipamento	93
Tabela 4 - Dias escolhidos para análises no Experimento 2	100
Tabela 5 - S4 médio	108

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<i>CALIBRA</i>	<i>Countering GNSS high Accuracy applications Limitations due to Ionospheric disturbances in BRAzil</i>
<i>CIGALA</i>	<i>Concept for Ionospheric Scintillation Mitigation for Professional GNSS in Latin America</i>
CLDC	Central de Laboratório do Departamento de Cartografia
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climatológicos
<i>CWAAS</i>	<i>Canadian Wide Area Augmentation System</i>
DAE	Divisão de Aeronomia
<i>DCB</i>	<i>Differential Code Biases</i>
<i>DD</i>	Dupla Diferença
<i>DGPS</i>	<i>Differential Global Positioning System</i>
<i>DGNSS</i>	<i>Differential Global Navigation Satellite System</i>
<i>DOY</i>	<i>Day Of Year</i>
E	East
<i>EGNOS</i>	<i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i>
EMBRACE	Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial
EMQ	Erro Médio Quadrático
EUA	Estados Unidos da América
Esalq	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologia
<i>FKP</i>	<i>Flächen. Korrektur Parameter</i>
<i>FP7</i>	<i>European Community's Seventh Framework Programme</i>
<i>FTP</i>	<i>File Transfer Protocol</i>
<i>GAGAN</i>	<i>GPS Aided GEO Augmented Navigation</i>
<i>Gb</i>	<i>Gigabyte</i>
<i>GBAS</i>	<i>Ground-Based Augmentation Systems</i>
<i>GGA</i>	<i>Global Positioning System Fix Data</i>
<i>GLONASS</i>	<i>Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i>
<i>GNSS</i>	<i>Global Navigation Satellite System</i>
<i>GNSS/SP</i>	Rede GNSS Ativa do Estado de São Paulo

<i>GPS</i>	<i>Global Positioning System</i>
<i>GPSSR</i>	<i>General Packet Radio Service</i>
<i>GSA</i>	<i>European GNSS Agency</i>
<i>GSM</i>	<i>Global System of Mobile</i>
<i>GSS</i>	<i>Galileo Sensor Stations</i>
<i>GST</i>	<i>Galileo System Time</i>
<i>GTRF</i>	<i>Galileo Terrestrial Reference Frame</i>
<i>HD</i>	<i>Hard Disk</i>
<i>HTTP</i>	<i>Hipertext Transfer Protocol</i>
<i>IBGE</i>	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
<i>IERS</i>	<i>International Earth Rotation and Reference Systems Service</i>
<i>IGS</i>	<i>International GNSS Service</i>
<i>INPE</i>	<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i>
<i>ISMR</i>	<i>Ionospheric Scintillation Monitor Receiver</i>
<i>ITESP</i>	<i>Instituto de Terras do Estado de São Paulo</i>
<i>LATOGEO</i>	<i>Laboratório de Astronomia, Topografia e Geodésia</i>
<i>LGE</i>	<i>Laboratório de Geodésia Espacial</i>
<i>LISN</i>	<i>Low-latitude Ionosphere Sensor Network</i>
<i>MAC</i>	<i>Master-Auxiliary Concept</i>
<i>MSAS</i>	<i>MSAT Satellite-based Augmentation System</i>
<i>MSAT</i>	<i>Multi-functional Satellite Augmentation System</i>
<i>N</i>	<i>North</i>
<i>NASA</i>	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
<i>NMEA</i>	<i>National Marine Electronics Association</i>
<i>NTRIP</i>	<i>Networked Transport of RTCM via Internet Protocol</i>
<i>OTF</i>	<i>On The Fly</i>
<i>Poli</i>	<i>Escola Politécnica</i>
<i>PP</i>	<i>Posicionamento por Ponto</i>
<i>PPM</i>	<i>Part Per Million</i>
<i>PPP</i>	<i>Posicionamento por Ponto Preciso</i>
<i>PRN</i>	<i>Pseudo Random Noise</i>
<i>PVT</i>	<i>Position Velocity Time</i>
<i>QZSS</i>	<i>Quase-Zenith Satellite System</i>
<i>RAM</i>	<i>Random Access Memory</i>

RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas <i>GNSS</i>
Ribac	Rede Incra de Bases Comunitárias <i>GNSS</i>
<i>RINEX</i>	<i>Receiver Independent Exchange Format</i>
<i>RTCM</i>	<i>Radio Technical Commission for Maritime Services</i>
<i>RTK</i>	<i>Real Time Kinematic</i>
<i>RTX</i>	<i>Real Time Extended</i>
<i>SA</i>	<i>Selective Availability</i>
<i>SBAS</i>	<i>Satellite-Based Augmentation System</i>
<i>SBF</i>	<i>Septentrio Binary File</i>
SC	Sem conexão
SCINTMON	Monitor de Cintilação Ionosférica
<i>SNAS</i>	<i>Satellite Navigation Augmentation System</i>
<i>SQL</i>	<i>Structured Query Language</i>
<i>SSH</i>	<i>Secure Shell</i>
<i>TCP/IP</i>	<i>Transfer Control Protocol/Internet Protocol</i>
<i>TEC</i>	<i>Total Electron Content</i>
<i>UHF</i>	<i>Ultra High Frequency</i>
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
USP	Universidade do Estado de São Paulo
<i>UTC</i>	<i>Universal Time Coordinated</i>
<i>VHF</i>	<i>Very High Frequency</i>
<i>VRS</i>	<i>Virtual Reference Station</i>
<i>WAAS</i>	<i>Wide Area Augmentation System</i>
<i>WGS84</i>	<i>World Geodetic System 1984</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Caracterização do Assunto	21
1.2	Objetivos.....	23
1.3	Justificativa.....	23
1.4	Estrutura da Dissertação	25
2	POSICIONAMENTO BASEADO EM REDES	26
2.1	Considerações Iniciais	26
2.2	Posicionamento Relativo Cinemático em Tempo Real (<i>RTK</i>).....	27
2.2.1	Limitações do <i>RTK</i>	28
2.3	<i>RTK</i> em Rede	28
2.3.1	Estação de Referência Virtual.....	30
2.4	Conceitos básicos de funcionamento do <i>NTRIP</i>	32
3	INFLUÊNCIA DOS EFEITOS DA IONOSFERA NO POSICIONAMENTO POR GNSS	34
3.1	Ionosfera	34
3.2	Variações na densidade de elétrons	38
3.3	Regiões geográficas da ionosfera	40
3.3.1	Anomalia Equatorial	41
3.4	Cintilação Ionosférica	43
3.4.1	Cintilação em amplitude	47
3.4.2	Cintilação em fase	49
3.5	Monitoramento da cintilação no Brasil	51
3.5.1	Projeto Scintec	52
3.5.2	Projeto CIGALA/CALIBRA	53
3.5.3	Projeto EMBRACE	55
4	MATERIAIS E MÉTODOS	56
4.1	Materiais	56

4.1.1 Rede GNSS/SP.....	56
4.1.2 ISMR Query Tool	58
4.1.3 Trimble Pivot	60
4.2 Métodos.....	65
4.2.1 Trimble Pivot	65
4.2.2 Experimento 1 – Assentamento Florestan Fernandes	71
4.2.3 Experimento 2 – Terraço do Laboratório de Geodésia Espacial (LGE1)	77
4.2.4 Experimento 3 – Terraço da Central de Laboratórios do Departamento de Cartografia (CLDC)	81
5 RESULTADOS E ANÁLISES.....	84
5.1 Experimento 1 – Assentamento Florestan Fernandes.....	84
5.1.1 Indicativo de cintilação ionosférica	84
5.1.2 Considerações sobre a inicialização	89
5.1.3 Desempenho do GNSS no posicionamento	91
5.2 Experimento 2 – Terraço do Laboratório de Geodésia Espacial (LGE1)	97
5.2.1 Indicativo de cintilação ionosférica	98
5.2.2 Desempenho do GNSS no posicionamento	100
5.3 Experimento 3 – Terraço da Central de Laboratórios do Departamento de Cartografia (CLDC).....	107
5.3.1 Indicativo de cintilação ionosférica	107
5.3.2 Desempenho do GNSS no posicionamento	109
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	120
REFERENCIAS	123

1 INTRODUÇÃO

1.1 Caracterização do Assunto

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, desde aplicações convencionais como navegação, georreferenciamento, cadastro, agricultura de precisão, etc. até novas possibilidades como monitoramento de barragens, meteorologia, navegação aérea, reflectometria usando alvos ambientais, entre outros.

Esta tecnologia engloba as constelações de satélites *GPS* (*Global Positioning System*), *GLONASS* (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), Galileo e Beidou. O *GPS*, desenvolvido pelo governo norte-americano, encontra-se completamente operacional e atualmente está em fase de modernização¹. Deu-se início pela extinta União Soviética a constelação *GLONASS*, declarada operacional em 1994, atualmente é de responsabilidade do governo russo, o qual financiou a retomada do projeto. Atualmente o *GLONASS* conta com 28 satélites em órbita, sendo: 24 operacionais, 3 reservas e 1 está em fase de testes de voo². O sistema europeu *Galileo* encontra-se na fase inicial de desenvolvimento, com 4 satélites operacionais desde 2008, com previsão para a constelação completa e operacional em 2020³. Semelhante ao *Galileo*, no ano de 2020 também está previsto que o sistema chinês Beidou esteja em amplo funcionamento. Atualmente a constelação chinesa é formada por 5 satélites de média órbita⁴.

Existem sistemas disponíveis de forma a complementar o GNSS, sendo designados genericamente de *SBAS* (*Satellite Based Augmentation System*), tais como o norte-americano *WAAS* (*Wide Area Augmentation System*), o europeu *EGNOS* (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), o japonês *MSAS* (*MSAT Satellite-based Augmentation System*), o chinês *SNAS* (*Satellite Navigation Augmentation System*), o canadense *CWAAS* (*Canadian Wide Area Augmentation System*) e o indiano *GAGAN* (*GPS Aided GEO Augmented Navigation*) (TORAN-MARTI et al., 2005; GARCÍA, 2008). Além do *SBAS*, outro sistema complementar de grande importância é o *GBAS* (*Ground Based*

¹ Cf. <http://www.gps.gov/>. Acesso em 3 jul. 2014.

² Cf. <https://glonass-iac.ru/en/GLONASS/>. Acesso em 3 jul. 2014.

³ Cf. <http://www.galileoic.org/>. Acesso em 3 jul. 2014

⁴ Cf. www.beidou.gov.cn. Acesso em 3 jul. 2014

Augmentation System), ambos os sistemas tem papel fundamental na garantia de capacidade e eficiência dos sistemas *GNSS*, principalmente no que concernem aplicações aéreas, como monitoramento de rotas, otimização do espaço aéreo nos terminais, bem como controle de pousos e decolagens (CHUJO, 2007).

Os sistemas *GNSS* vêm sendo cada vez mais utilizados em diversos segmentos, e definitivamente tornaram-se uma importante ferramenta para a comunidade científica. Neste sentido, 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).

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 e CANNON, 2001) e, com isto, permitir um posicionamento acurado, com estações de referência podendo estar mais distantes dos usuários se comparado ao *RTK*.

Conforme a necessidade de maior acurácia no posicionamento aumenta, há também maior necessidade de melhor conhecimento e da consideração de fatores que possam causar degradação no posicionamento. A cintilação 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 e usando como base os conceitos das referências citadas, foram exploradas nesta pesquisa diferentes situações onde o efeito da cintilação no posicionamento *RTK* em rede se faz presente, visto 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, sendo considerado o território brasileiro um local propício ao desenvolvimento de pesquisas na área, pois materializa um cenário ideal para tal finalidade.

1.2 Objetivos

Esta pesquisa caracteriza-se pela temática central da investigação quanto ao 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*.

De modo a cumprir o objetivo central desta pesquisa, comparecem as seguintes atividades e objetivos específicos:

- ✓ Implantar e configurar o sistema *Trimble Pivot*;
- ✓ Familiarização com a infraestrutura disponível para o desenvolvimento da pesquisa como receptores, *softwares* e sistemas de comunicação empregados no posicionamento *RTK* em rede;
- ✓ Realizar, descrever e analisar experimentos de campo relativos ao *RTK* em rede sob efeito da cintilação;
- ✓ Prestar contribuição às pesquisas que vem sendo desenvolvidas pela comunidade científica da FCT/UNESP (Faculdade de Ciências e Tecnologia/Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”) em particular as relacionadas com aos estudos da ionosfera e posicionamento baseado em redes.

1.3 Justificativa

Atualmente o interesse é cada vez maior em alcançar posicionamento com alta acurácia em um intervalo de tempo de ocupação cada vez menor (BARBOSA, 2010). Fato este, que motivou o desenvolvimento das metodologias e técnicas com o *RTK* em rede.

A Rede GNSS/SP tem uma infraestrutura viável para o emprego do RTK em rede, visto que os receptores da rede estão conectados à *internet*, disponibilizando dados em tempo real para uma central de controle responsável pelo gerenciamento. Outro fato de relevância para esta pesquisa é a contribuição aos estudos acerca do RTK em rede no Brasil, uma vez que até então, não havia infraestrutura pública viável, prejudicando a produção e disseminação de pesquisas acerca dos novos métodos de posicionamento baseado em redes. O que concerne o RTK em rede, a Rede GNSS/SP cuja geometria e densidade de estações podem contribuir com estudos relacionados ao método.

A cintilação ionosférica é um efeito recorrente que acaba por inviabilizar soluções de posicionamento e navegação em algumas situações específicas, gerando prejuízos em serviços que dependem do posicionamento por satélites, como a agricultura de precisão e aplicações offshore, por exemplo. Essa problemática ainda não apresenta solução definitiva, motivando novas pesquisas, principalmente no Brasil devido à sua localização na região equatorial. Nesta região, a ionosfera possui características peculiares e que devem ser consideradas para a mitigação de seus efeitos no posicionamento GNSS.

Devido ao ápice do ciclo solar 24, estudos relacionados aos efeitos da ionosfera na propagação dos sinais GNSS são imprescindíveis e estão sendo desenvolvidos no Brasil pelo Projeto CALIBRA (*Countering GNSS high Accuracy applications Limitations due to Ionospheric disturbances in BRAzil*)⁵ em continuidade do Projeto CIGALA (*Concept for Ionospheric Scintillation Mitigation for Professional GNSS in Latin America*). Tais projetos proporcionaram a infraestrutura necessária para que trabalhos como ‘Investigação da Cintilação Ionosférica no Brasil e seus efeitos no Posicionamento por GNSS’, (MENDONÇA, 2013) e “Análise da Cintilação Ionosférica no Brasil empregando GNSS e Técnicas de Mineração e Visualização de Dados” (VANI, 2014) fossem desenvolvidos no contexto dos estudos relacionados aos efeitos da cintilação no posicionamento GNSS.

Além das pesquisas relacionadas aos efeitos da cintilação, a FCT/UNESP tem desenvolvido há algum tempo, investigações no contexto do posicionamento baseado em redes GNSS. Por exemplo, os trabalhos “Posicionamento Baseado em Rede de Estações de Referência GPS Utilizando o Conceito de Estação Virtual”, (ALVES, 2008) e “Integridade, Disponibilidade e Acurácia no Posicionamento RTK e RTK em Rede: Investigação no Contexto da Rede GNSS Ativa do Estado de São Paulo”, (BARBOSA, 2010), são referências no meio científico brasileiro em se tratando de RTK em rede. Para testar esse método de

⁵ Cf. <http://is-CIGALA/CALIBRA.fct.unesp.br/is/>. Acesso em 12 ago. 2014

posicionamento um software científico foi desenvolvido por Alves (2008) e vem sendo aprimorado. Além disto, a Universidade possui um sistema comercial denominado *Trimble Pivot*, dentre suas funcionalidades está o gerenciamento e transmissão das correções utilizadas no *RTK* em rede.

Por fim, ressalta-se que esta pesquisa integra vários projetos científicos que vem sendo desenvolvidos na FCT/UNESP, a qual contribuirá na avaliação dos efeitos da cintilação no desempenho do *RTK* em rede. Cabe acrescentar que a temática da pesquisa proposta visa colaborar com informações que viabilizem a implantação do *RTK* em rede em outras regiões do país.

1.4 Estrutura da Dissertação

A estruturação desta dissertação encontra-se organizada em 7 capítulos. Na sequencia são descritos os tópicos chave de cada seção de modo a compor a estruturação desenvolvida. No presente capítulo, consta da introdução, objetivo e argumentos que justificam a importância da investigação proposta.

No Capítulo 2, são destacadas as principais características da ionosfera relacionadas aos efeitos da cintilação e a infraestrutura para o monitoramento desses efeitos no Brasil.

No Capítulo 3 a abordagem é feita acerca do posicionamento baseado em redes, com princípios gerais do posicionamento relativo. Neste contexto foram apresentados os aspectos do *RTK* em rede, com ênfase no conceito de *VRS*, por ser este o método utilizado nesta pesquisa.

O desenvolvimento da pesquisa é apresentado nos Capítulos 4 e 5, apresentando os métodos empregados para a realização dos experimentos com o intuito da investigação acerca do desempenho do *RTK* em rede sob efeitos da cintilação.

O capítulo 6 é dedicado às considerações finais e recomendações relacionadas ao assunto tratado no decorrer da dissertação.

Por fim, no capítulo 7 são apresentadas as referências utilizadas para a realização desta pesquisa.

2 POSICIONAMENTO BASEADO EM REDES

2.1 Considerações Iniciais

Desde o surgimento do *GPS*, vários métodos de posicionamento foram desenvolvidos com o intuito de explorar a capacidade que o *GPS* tem de *prover* coordenadas precisas sobre a superfície terrestre, ou próximo dela (SEEBER, 2003).

Os métodos de posicionamento baseados no *GNSS* são diferenciados principalmente com relação a qual referencial as coordenadas são determinadas. Quando estas são obtidas diretamente em relação ao geocentro, o posicionamento é classificado como posicionamento absoluto ou posicionamento por ponto (PP) (MONICO, 2008; SEEBER, 2003). Outra estratégia no posicionamento por ponto é a adoção das efemérides precisas, correções dos relógios e os dados de fase da onda portadora, e nesse caso, é denominado de PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) (MARQUES, 2012). Quando as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais pontos de coordenadas conhecidas, trata-se do posicionamento relativo.

No posicionamento relativo há necessidade de dispor de dois ou mais receptores coletando dados simultaneamente, sendo que um receptor rastreia os dados nos pontos que se deseja determinar as coordenadas e o outro receptor (denominado de base) permanece fixo sobre a estação de coordenadas conhecidas. Atualmente, com a disponibilização das redes ativas da RBMC/Ribac (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo/Rede Incra de Bases Comunitárias do *GNSS*) e *GNSS*/SP é possível utilizar as estações de referência pertencentes a estas redes (MONICO, 2008).

Sabe-se que na aplicação dos métodos de posicionamento o objeto a ser posicionado pode estar em repouso ou em movimento, sendo classificados em posicionamento estático e posicionamento cinemático, respectivamente. Além disto, há a diferenciação quanto ao processamento, o qual pode ser realizado em tempo real (as posições dos pontos de interesse são estimadas praticamente no mesmo instante em que as observações são coletadas) ou no modo pós-processado (as posições dos pontos de interesse são estimadas num processamento posterior).

Na seção 2.2 será abordado de modo introdutório o método *RTK*, precedente e motivador para o surgimento do *RTK* em rede, abordado na seção 2.3. Por fim, na seção 2.4

uma descrição acerca do funcionamento do protocolo *NTRIP* (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*), fator relevante quando se trata na transmissão de dados no *RTK*.

2.2 Posicionamento Relativo Cinemático em Tempo Real (*RTK*)

Normalmente o processamento de dados do método relativo é realizado no escritório. No entanto, muitas aplicações obtêm grandes benefícios se as coordenadas são determinadas em tempo real, tais como: monitoramento, navegação, obras de engenharia (terraplenagem), locação e agricultura de precisão (MONICO, 2008). Nesse sentido, o posicionamento *RTK* torna-se muito interessante.

O posicionamento *RTK* (tanto realizado em tempo real quanto no modo pós-processado) tem sido uma técnica muito eficiente em aplicações que requerem alta acurácia e produtividade no posicionamento. O *RTK* é capaz de *prover* acurácia centimétrica no posicionamento, quando as ambiguidades da fase da onda portadoras são resolvidas como valores inteiros, utilizando um dos métodos *On-The-Fly* (*OTF*) (CHEN *et al.*, 2003; WU *et al.*, 2003).

Para a aplicação dessa técnica na prática, é necessário que os dados coletados na estação de referência sejam transmitidos para o receptor móvel, via *link* de rádio ou algum outro meio de comunicação, por exemplo, a *internet* (SEEBER, 2003; MONICO, 2008).

A transmissão padrão dos dados no *RTK* ocorre via mensagem no formato *RTCM* (*Radio Technical Commission for Maritime Services*)⁶, atualmente as versões existentes são 2.3, 3.0 e 3.1. A versão 2.3 permite a transmissão de dados ou correções entre uma estação referência base e uma estação móvel qualquer. A versão 3.0 foi projetada para realização do *RTK* em rede, além de levar em consideração as atualizações nos sistemas *GPS* e *GLONASS*, com a introdução dos sinais L5 e L2C, além de adequar outros sistemas em desenvolvimento, como é o caso do *Galileo*. A versão 3.1 é a mais atual e também incorpora correções em rede, contribuindo para o envio de correções no posicionamento baseado em redes *GNSS*.

Atualmente tem-se utilizado a *internet* para transportar as mensagens *RTCM*. Para isto, criou-se o protocolo denominado *NTRIP*. Esse protocolo foi desenvolvido pela *German Federal Agency for Cartography and Geodesy* com o intuito de substituir a transmissão via rádio, que muitas vezes possui limitação em relação à distância da estação base, sendo ele um

⁶ Cf. <http://www.rtcn.org/>. Acesso em 15 ago. 2014

protocolo baseado em HTTP (*Hipertext Transfer Protocol*) (NTRIP, 2014). Mais informações sobre o protocolo *NTRIP* serão apresentadas na seção 2.4.

2.2.1 Limitações do RTK

Conforme citado na seção 2.2, um dos fatores limitantes para o *RTK* é o alcance da transmissão das ondas de rádio *UHF* (*Ultra High Frequency*), caso existam obstáculos entre a estação base e o *rover* a precisão poderá não ser alcançada devido às interferências físicas. Outra situação que pode ocorrer, reduzindo a qualidade do levantamento, é a interferência entre os canais de rádio, visto que a separação entre os canais de rádio é estreita, o sinal pode sofrer interferências da mesma banda de frequência do *rover*.

Atualmente umas das alternativas para este problema seja contornado é a comunicação via *GSM/GPSR* (*Global System of Mobile/General Packet Radio Services*), porém este tipo de comunicação é dependente da disponibilidade de cobertura dos serviços de telefonia celular na região do levantamento (RIZOS, 2002; MONICO, 2008).

O posicionamento *RTK* é baseado no uso de uma única estação de referência localizada nas proximidades do receptor móvel. Mas, devido à decorrelação espacial dos erros, principalmente devido à ionosfera, a distância entre a estação de referência e o usuário é geralmente limitada a 20 km ou até menos. Dessa forma, o uso de uma rede de estações de referência tem sido investigado (WU *et al.*, 2003). Dessa forma, a seção 2.3 apresenta as características envolvidas no funcionamento do *RTK* em rede.

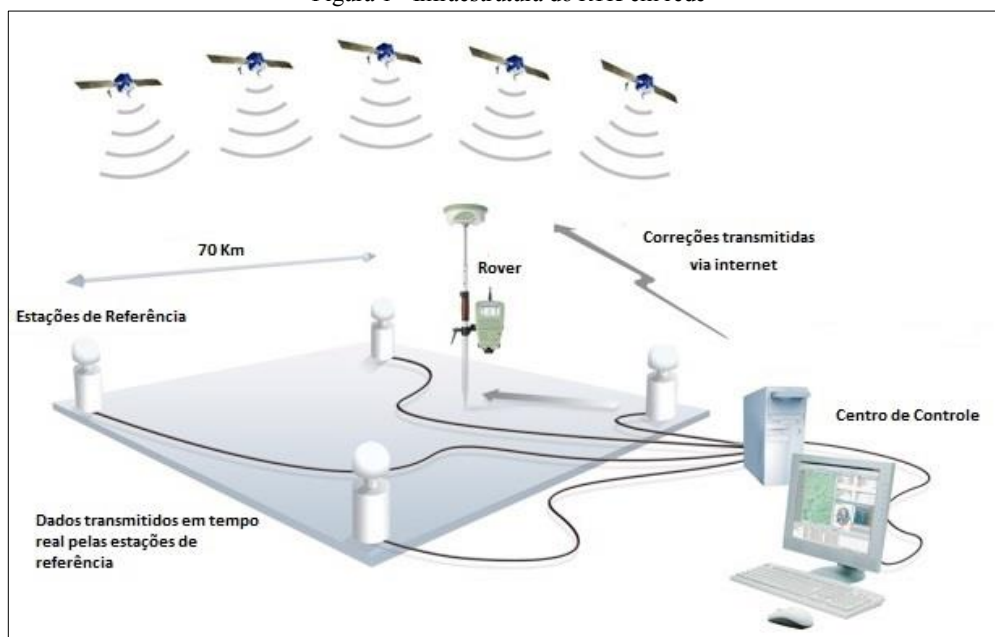
2.3 RTK em Rede

O emprego dos dados de múltiplas estações de referência é uma realidade em muitos países, principalmente nos mais desenvolvidos, como é o caso, por exemplo, da Alemanha, Canadá, Estados Unidos, Japão, etc., as redes de estações de referência são altamente densificadas, o que viabiliza esse tipo de posicionamento. O conceito de uma rede de estações *GNSS* surgiu devido à necessidade de melhor disponibilidade, acurácia e confiabilidade no posicionamento e navegação (ALVES *et al.*, 2003; ALVES, 2008).

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. O sistema opera em condições ditas ideais se há a existência de uma boa comunicação entre as estações da rede e o centro de controle, como por exemplo, a baixa latência no envio do fluxo de dados.

Figura 1 - Infraestrutura do *RTK* em rede



Fonte: Adaptado de <http://ukRTK.co.uk/SpiderWeb/SmartNet/2fNetworkRTK.html>

O número de estações de uma rede pode variar de duas estações (na prática três) a dezenas ou centenas de estações. A distância entre as estações pode variar de poucos quilômetros a dezenas de quilômetros ou mais (OMAR e RIZOS, 2003). A utilização de uma rede de estações de referência para realizar o posicionamento oferece diversas vantagens se comparado com o *RTK*, que utiliza apenas uma única linha de base.

Uma das principais vantagens da aplicação do conceito de posicionamento baseado em redes são a confiabilidade e disponibilidade do serviço. Caso uma ou mais estações que compõem a rede falharem ou sofrerem algum dano, é possível eliminar a contribuição das mesmas, sem prejudicar o restante do sistema, preservando assim sua integridade. Na técnica *RTK* tradicional, caso a estação de referência venha sofrer falhas, o usuário deverá retornar a campo ou processar os dados novamente, considerando o método PP (FOTOPOULOS, 2000).

A utilização de um número maior de estações de referência permite ainda fazer a combinação destas observações por meio de técnicas de modelagem, e assim tratar os erros atmosféricos dentro da área de abrangência da rede. A modelagem dos erros facilita a solução correta das ambiguidades da fase da onda portadora, condição para obtenção da acurácia a nível centimétrico no posicionamento (ALVES *et al.*, 2003).

Por desvantagens do método, Fotopoulos (2000) ressalta que dependendo do método adotado para disponibilizar as correções, existirá um aumento do volume de dados a serem transmitidos aos usuários ou a complexidade é maior na implementação a ser feita pelo usuário.

Para a aplicação do *RTK* em rede, há a necessidade de se estabelecer comunicação entre as estações que compõe a rede e o usuário. De acordo com Ramos (2007) o *link* de dados entre a estação de referência e *rover* irá depender do volume de dados a ser transmitido, do número de satélites rastreados, tipo e formato dos dados, requisitos de integridade e confiabilidade, condições de operação e comprimento da linha de base.

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*. Mais detalhes sobre os algoritmos empregados na formulação de correções *RTK* em rede podem ser obtidos em Alves (2008; 2011) e Alves e Monico (2011). O conceito empregado nesta pesquisa é o de *VRS*, dessa forma este conceito será apresentado na seção 2.3.1.

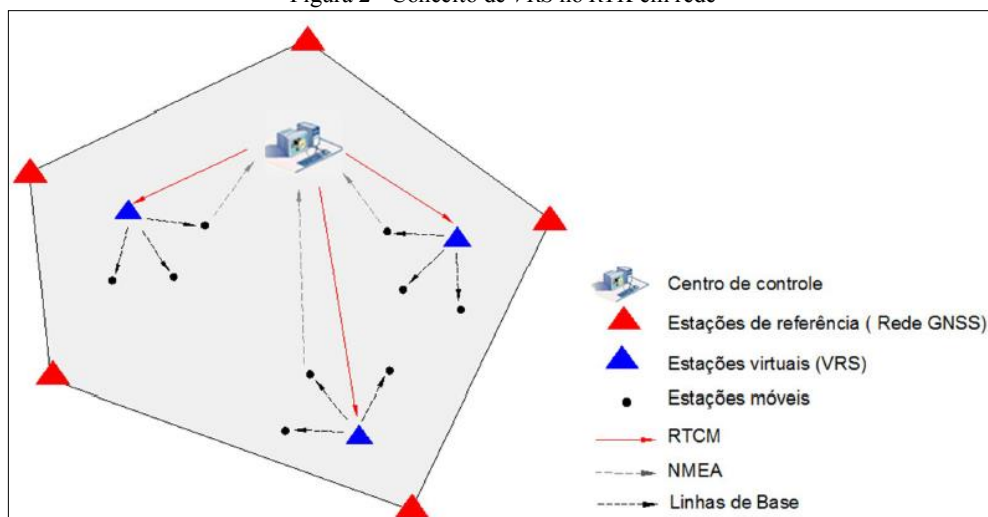
2.3.1 Estação de Referência Virtual

O conceito de *VRS* é comumente utilizado para o posicionamento *RTK* de rede e tem-se por ideia básica de uma *VRS* a geração de dados, simulando uma estação de referência próxima ao receptor do usuário, fornecendo desempenho semelhante a uma linha de base curta. Assim, não existiria a necessidade de ter fisicamente um receptor em um 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).

Para utilizar o conceito de *VRS* (Figura 2), os dados das estações de referência da rede são enviados para um computador 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 GNSS) e gerar correções apropriadas para serem utilizadas na área de abrangência da rede (ZHANG e ROBERTS, 2003).

É importante ressaltar que no processo de geração da *VRS*, o usuário deve enviar suas coordenadas aproximadas ao centro de controle. Em se tratando de posicionamento em tempo real, normalmente a posição aproximada do usuário é enviada ao computador central, utilizando o padrão desenvolvido pela *National Marine Electronics Association* (padrão *NMEA*) numa série de caracteres da posição chamada de mensagem *GGA* (*Global Positioning System Fix Data*) via comunicação bidirecional. Essa comunicação é realizada, por exemplo, utilizando um modem celular de conexão de dados via *internet*, como *GSM/GPSR*. O centro de controle recebe as coordenadas da posição e responde enviando dados da *VRS* no formato *RTCM*, simulando uma estação de referência que não existe fisicamente nas proximidades do usuário (VOLLATH *et al.*, 2000; LANDAU *et al.*, 2002 e TRIMBLE, 2013).

Figura 2 - Conceito de *VRS* no RTK em rede



Fonte: Adaptado de Landau *et al.* (2003)

Muitos estudos de caso foram publicados para descrever e analisar a implementação do conceito de *VRS* em diferentes países (MAREL, 1998; HIROMUNE *et al.*, 2001; PIETIKAINEN, 2004; MARZOOQI *et al.*, 2005 e BARBOSA, 2010). Mostra-se que precisões de nível centimétrico podem ser alcançadas para distâncias de até 35 km da estação

de referência mais próxima (RETSCHER, 2002), porém dentro de áreas urbanas, o desempenho do método é degradado consideravelmente (WU *et al.*, 2003).

Com o conceito de *VRS*, o receptor do usuário pode ser de simples frequência quando este está dentro da área de abrangência da rede (ZHANG e ROBERTS, 2003). A utilização do conceito de *VRS* se mostra atrativa à realidade brasileira, pois, utilizando os dados de uma *VRS* os usuários poderão fazer o processamento normalmente utilizando os seus *softwares* convencionais de processamento no posicionamento relativo, garantindo-lhes maior flexibilidade no aspecto computacional e uma maior vida útil aos equipamentos já adquiridos (MONICO, 2008).

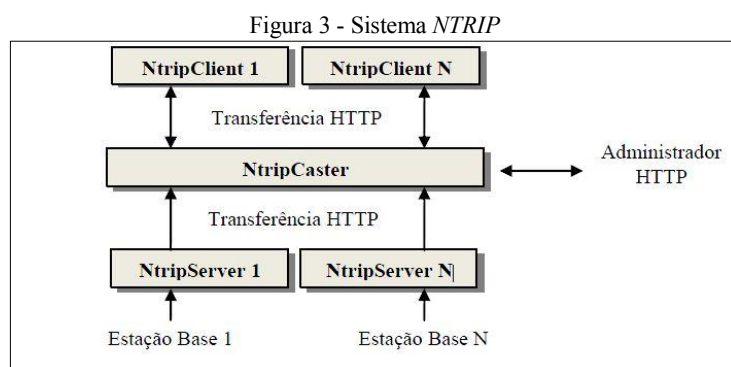
Há a possibilidade de utilizar o conceito de *VRS* no modo pós-processado, nesse caso os dados da *VRS* podem ser gerados diretamente no formato *RINEX* (*Receiver Independent Exchange Format*) (ALVES, 2008).

2.4 Conceitos básicos de funcionamento do NTRIP

Na presente seção, aborda-se em linhas gerais o funcionamento do *NTRIP*, protocolo concebido de forma a disseminar correções diferenciais ou outros tipos de dados *GNSS* em fluxos contínuos por meio da *internet*. As principais características são:

- ✓ Baseado em *HTTP*;
- ✓ Alta capacidade de conexão simultânea para uma grande quantidade de usuários;
- ✓ Acesso aos dados é realizado de forma segura sem a necessidade de o usuário estar em contato direto com as estações das redes ativas; e
- ✓ Habilitado a fornecer o fluxo de dados por meio de qualquer rede móvel *TCP/IP* (*Transfer Control Protocol / Internet Protocol*).

O *NTRIP* é basicamente composto por três componentes: o *NTRIP Server*, *NTRIP Caster* e *NTRIP Client*. A Figura 3 esquematiza a comunicação entre os componentes.



Fonte: Adaptado de NTRIP (2014)

O *NTRIP Server* é o aplicativo que cria um canal de transferência de dados *GNSS* entre o receptor instalado em uma estação de referência (*NTRIP Source*) e o *NTRIP Caster*. O *NTRIP Caster* é o distribuidor dos dados *RTCM* pela *internet* para os usuários. No *Caster* convergem várias estações de referência e cada uma delas tem um nome identificador denominado de *mountpoint*; uma tabela (*sourcetable*) com todos os *mountpoints* e suas respectivas configurações e informações está contida nesse componente.

Outras atribuições do *Caster* contemplam a verificação da qualidade e integridade dos dados recebidos e a autenticação dos usuários através de *login* e senha. Por fim, o *NTRIP Client* consiste em um aplicativo que se instala em um computador para que possa receber os dados *GNSS*. O acesso aos dados é realizado selecionando no *NTRIP Client* um dos *mountpoints* que estão na *sourcetable* do *NTRIP Caster* (NTRIP, 2014).

3 INFLUÊNCIA DOS EFEITOS DA IONOSFERA NO POSICIONAMENTO POR GNSS

Desde o desligamento da SA (*Selective Availability*), a ionosfera se tornou a maior fonte de erros no posicionamento absoluto por GNSS (CAMARGO, 1999).

Tendo em vista essa importante influência da atmosfera terrestre na propagação dos sinais GNSS, os tópicos apresentados neste capítulo abordarão, em linhas gerais, as características da ionosfera de modo a contextualizar a pesquisa no que diz respeito aos efeitos da ionosfera no posicionamento, com ênfase na cintilação.

3.1 Ionosfera

A atmosfera pode ser considerada um conjunto de camadas de gases, concêntricas e esféricas à Terra. A sua estrutura está relacionada com diversos elementos, sejam eles eletromagnéticos térmicos e químicos. Esses elementos variam sensivelmente em função de vários parâmetros: hora, latitude, longitude, época do ano e atividade solar. A atmosfera terrestre pode ser dividida em função de fatores, tais como: temperatura, ionização, campo magnético, propagação de ondas eletromagnéticas e segundo um parâmetro técnico (SEEBER, 2003). A Figura 4 apresenta a estratificação da atmosfera de acordo com os fatores citados e respectivos intervalos de altitude:

Figura 4 - Divisão da atmosfera

Altitude (km)	Temperatura	Ionização	Campo Magnético	Propagação	Geral
100000	Termosfera	Protonosfera	Magnetosfera	Ionosfera	Atmosfera Superior
10000					
1000					
100	Mesosfera	Neutrosfera	Dinamosfera	Troposfera	Atmosfera Inferior
	Estratosfera				
10	Troposfera				

Fonte: Adaptada de Seeber (2003)

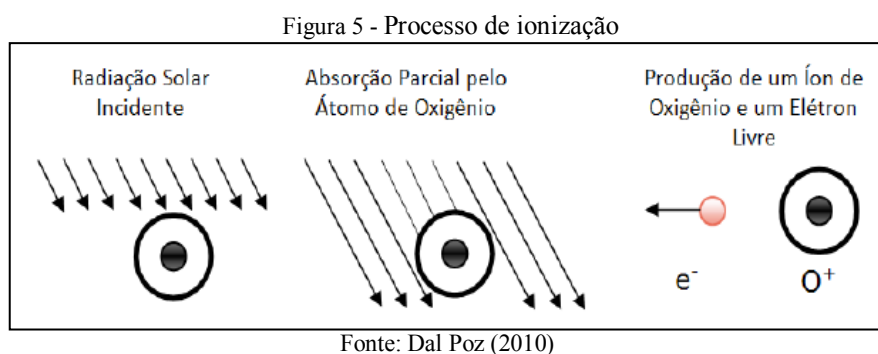
No contexto do GNSS, para fins teóricos e práticos, adota-se a divisão da atmosfera terrestre com respeito à propagação de ondas eletromagnéticas, em duas camadas principais: troposfera e ionosfera, cada qual com diferentes influências sobre os sinais

(MATSUOKA, 2007). Sabe-se que as ondas eletromagnéticas (como os sinais *GNSS*, por exemplo) ao se propagarem em tais meios sofrem diferentes influências devido às características destas camadas.

A troposfera, também conhecida como neutrosfera, é a camada compreendida entre a superfície terrestre até aproximadamente 50 km de altitude. Ela é formada por partículas neutras, e a maior concentração de gases encontra-se até uma altura de 12 km, composta por nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono, argônio, vapor d'água, entre outros (SEEBER, 2003). Nesta camada a propagação do sinal depende, exclusivamente, do conteúdo do vapor d'água, da temperatura e da pressão atmosférica, desde que a frequência do sinal transmitido seja inferior a 30 GHz, caracterizando assim um meio não dispersivo para os sinais *GNSS* (LEICK, 1995).

A camada superior da atmosfera entre, aproximadamente, 50 e 1000 km de altitude é a ionosfera. Na realidade, a fronteira superior da ionosfera não é bem definida, pois, a mesma pode ser interpretada como uma zona de transição com a plasmasfera (AGUIAR, 2005). A ionosfera, diferentemente da troposfera, é um meio dispersivo, ou seja, meio onde a propagação dos sinais depende da frequência, constituída por partículas livres carregadas, ou seja, íons e elétrons.

Os íons e elétrons livres na ionosfera são criados principalmente pelo processo de ionização. A ionização ionosférica consiste na absorção de radiação solar, predominantemente na faixa do extremo ultravioleta e raios-x, por elementos atmosféricos neutros (DAL POZ, 2010). A Figura 5 ilustra o processo de fotoionização para o caso de um átomo de oxigênio.

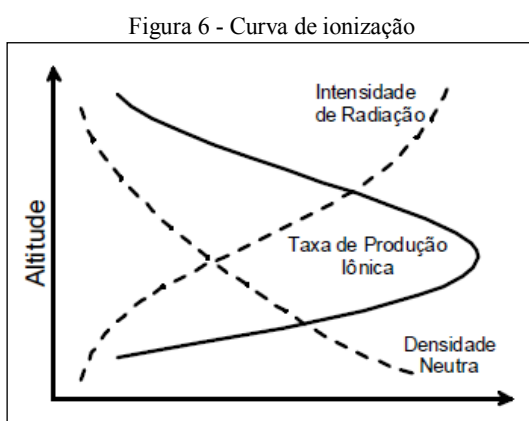


Quando a energia dos fótons incidentes sobre o elemento neutro é maior do que o seu potencial de fotoionização, ocorre a perda de elétrons deste elemento, dando origem a um íon positivo e elétrons livres. No caso ilustrado pela Figura 5, foi originado um íon positivo O^+ e um elétron livre (e^-). Na verdade, somente os elétrons livres afetam a propagação de

ondas de rádio, e não os íons, visto que os íons possuem uma massa cerca de 20 mil vezes maiores do que a dos elétrons, e, portanto, são muito pesados para responder às rápidas oscilações de uma onda de rádio (McNAMARA, 1991).

A recombinação é outro processo que ocorre na ionosfera, os elétrons de carga negativa e íons de carga positiva se juntam para formarem, novamente, átomos de carga neutra, sendo esse o principal processo pelo qual elétrons são “perdidos” na parte mais alta da ionosfera, sendo considerado como o processo inverso à ionização. Já nas partes mais baixas, o processo predominante é o processo de junção eletrônica dos átomos. Nesse processo, os elétrons se juntam a átomos neutros, formando assim íons de carga negativa (ânions). Sabe-se que para que uma partícula de carga não neutra interaja, ou interfira, em uma onda eletromagnética, sua massa deve ser subatômica. Nesse caso, íons, sejam positivos ou negativos, não apresentam papel importante na propagação de sinais de rádio (McNAMARA, 1991).

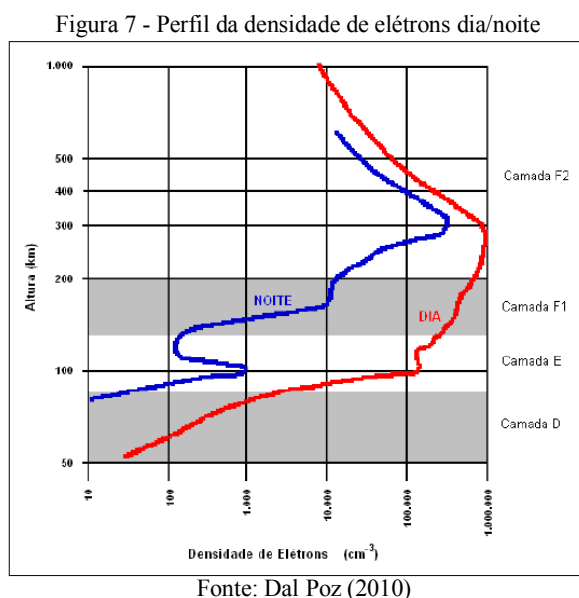
À medida que a radiação solar eletromagnética percorre a atmosfera mais densa, a produção de elétrons se eleva até um patamar onde a densidade de elétrons é máxima. Abaixo deste nível, apesar do aumento na densidade da atmosfera neutra, a produção de elétrons decresce, pois a maior parte da radiação ionizante já foi absorvida e a taxa de perda predomina sobre a taxa de produção de elétrons (FEDRIZZI, 2003). A Figura 6 apresenta a curva de ionização.



Fonte: Dal Poz (2010)

De acordo com a concentração de elétrons livres, costuma-se dividir a camada ionosférica em três regiões denominadas D, E e F, tal divisão é devido à diversidade de moléculas e átomos presentes na atmosfera e às suas diferentes taxas de absorção (DAVIES, 1990; FEDRIZZI, 2003 e MATSUOKA, 2007). Essas camadas são caracterizadas pelas variações da densidade de elétrons à medida que a altura se eleva. A Figura 7 apresenta a

distribuição das camadas, bem como a densidade de elétrons ao longo do dia e os vários tipos de ondas que propagam na ionosfera.



A camada D consiste na região da ionosfera que vai de 50 a 90 km de altitude. Essa camada é influenciada, principalmente, pela radiação solar. O nível de densidade de elétrons livre é maior durante o dia, ao contrário da noite, onde a densidade atinge baixos níveis. De acordo com Davies (1990), a camada D é importante na propagação de ondas, atuando como uma fonte refletora dos sinais de baixa frequência.

A próxima subcamada da ionosfera é a camada E, que vai de 90 a 140 km de altitude. O comportamento dessa subcamada depende do nível de atividade solar e do ângulo zenital do Sol. Uma das principais características da camada E é que a mesma é livre de distúrbios e só está presente durante o dia (DAVIES, 1990).

Já a camada F corresponde ao intervalo da ionosfera entre 140 e 1000 km de altitude, sendo subdivididas em outras duas camadas: F1 e F2. A camada F1 vai da altitude de 140 km até, aproximadamente, 200 km. Davies (1990) relata que durante a noite essa região desaparece completamente, pois a densidade de elétrons é controlada principalmente pelo ângulo zenital do Sol. A camada F2 corresponde ao intervalo da ionosfera entre as altitudes de 200 até 1000 km. É nessa região que ocorre o pico máximo de densidade de elétrons o que consequentemente causam uma maior variabilidade no comportamento da ionosfera causando efeitos como a cintilação.

3.2 Variações na densidade de elétrons

Como citado na seção anterior, a densidade de elétrons, que descreve o estado da ionosfera, 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 (aproximadamente onze anos).

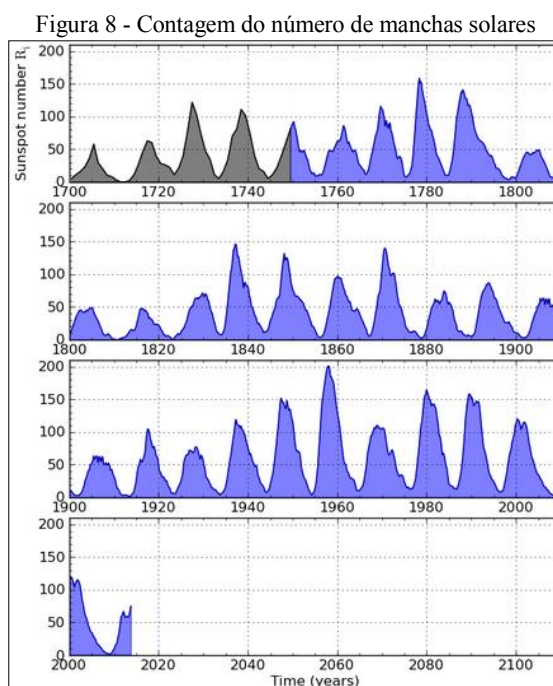
As variações diurnas são provocadas por mudanças que acontecem em determinados locais da ionosfera, no entanto desaparecem no período noturno devido à recombinação dos elétrons. Há a variação diurna simplesmente devido à iluminação do Sol, ou seja, devido à radiação solar. No decorrer do dia a densidade de elétrons depende da hora local, atingindo um valor máximo entre as 12h e 16h (WEBSTER, 1993). 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 e CAMARGO, 2004; MATSUOKA, 2007 e 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).

A Figura 8 mostra registros de ciclos solares, desde 1700 até Julho de 2014. Vale salientar que, de 1700 até 1750, as médias dos números de manchas são anuais (em preto), ao

passo que, de 1750 até os dias atuais, a contagem do número de manchas são dadas pela média mensal (em azul). A partir de 1750 observa-se uma característica mais próxima ao valor efetivo do número de manchas solares contabilizada, representadas de forma suavizada para o respectivo ano.

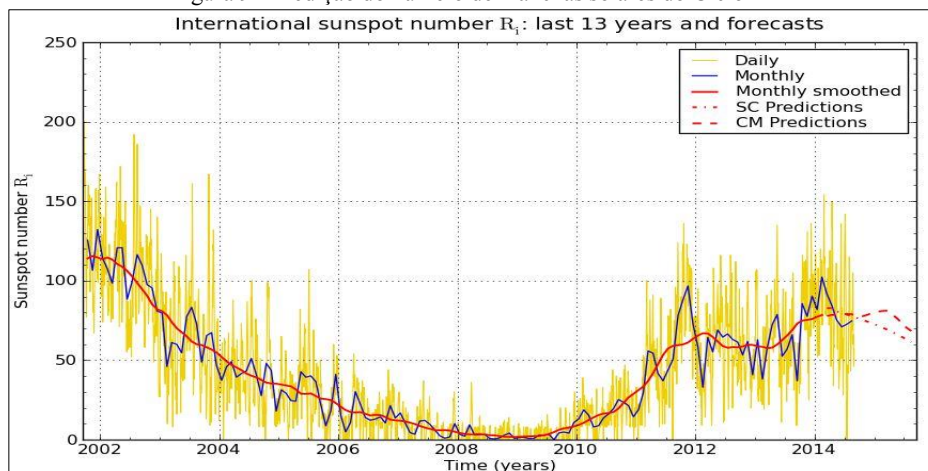


Disponível em: <<<http://sidc.oma.be/html/wolfam1.html>>. Acesso em: 2 jul. 2014

Conforme observado na Figura 8 verifica-se que a maior atividade do sol ocorreu alguns anos antes de 1960. No pico deste ciclo houve aproximadamente 200 manchas solares. Normalmente, os ciclos solares não são simétricos (LEICK, 2004). O último Ciclo foi o de número 23 e o período de máxima atividade solar compreendeu os anos de 2000 e 2001, o que ocasionou um aumento do número de manchas solares e, consequentemente, do número de elétrons presentes na Ionosfera. O término do Ciclo 23 deu-se em 2008, dando início ao Ciclo 24 (NASA, 2014).

O ciclo solar 24 apresentou o menor número de manchas solares dos últimos 100 anos, desde o Ciclo 14 que contou com um máximo de 64 manchas solares (fevereiro de 1906) não se tem observado um valor desta magnitude para um máximo solar. O pico de manchas solares para o Ciclo 24 ocorreu no verão de 2013, com um número máximo de manchas solares de 90 (NASA, 2014). A Figura 9 ilustra a predição para o Ciclo 24.

Figura 9 - Predição do número de manchas solares do Ciclo 24



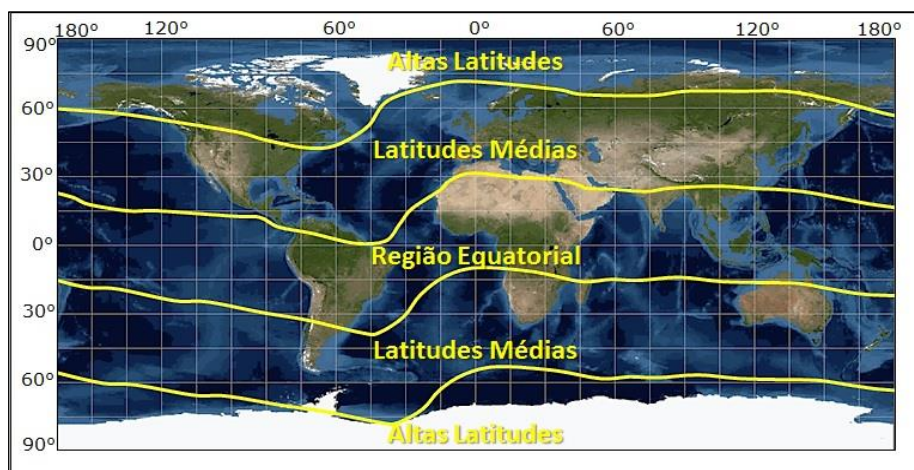
Disponível em: <<<http://sidc.oma.be/html/wolfam1.html>>. Acesso em: 9 jul. 2014

De acordo com Dal Poz (2010), nos últimos anos o entendimento do ciclo solar tem se tornado alvo de grande interesse internacional, devido a sua relação com muitos efeitos que ocorrem sobre as tecnologias, ambos sobre a superfície terrestre e no clima espacial. Seus efeitos de forma indireta são notáveis nos sinais *GNSS*. Assim, é de extrema relevância estudos relacionados com efeitos ionosféricos no *GNSS* em função dos ciclos solares.

3.3 Regiões geográficas da ionosfera

Além do perfil vertical da ionosfera, também comparece uma divisão latitudinal dos efeitos dessa camada. A Figura 10 mostra essa divisão empírica, baseada nos efeitos em comum, como auroras, anomalias, variação na concentração eletrônica e etc. (FONSECA JÚNIOR, 2002).

Figura 10 - Regiões geográficas da ionosfera



A região equatorial, local de desenvolvimento desta pesquisa, contém os maiores valores de concentração de elétrons, principalmente no início da tarde, sendo que no equador geomagnético os valores são mais baixos do que nas latitudes entre 15° e 20°, onde se concentram os valores mais altos da região. Tal fenômeno é denominado anomalia equatorial. As mais fortes instabilidades do plasma ionosférico ocorrem na camada F, na região equatorial, e normalmente após o pôr do sol. Nas regiões de altas latitudes o pico de densidade de elétrons é pequeno, porém há uma grande instabilidade de plasma. Nas regiões polares e de latitudes médias é detectável a variação diurna, o que mostra que a incidência solar é um fator considerável na variação da densidade de elétrons na ionosfera (FONSECA JÚNIOR, 2002).

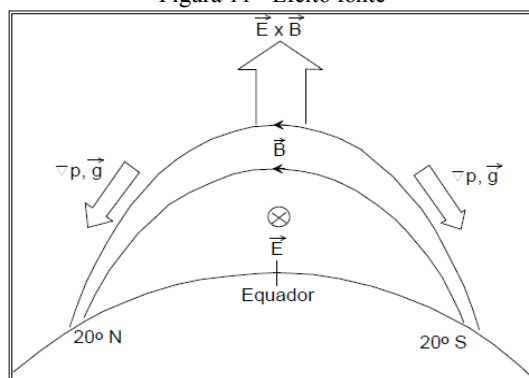
Na região equatorial ocorrem dois fenômenos importantes que afetam a propagação dos sinais GNSS: as irregularidades ionosféricas, que produzem a cintilação, e a Anomalia Equatorial ou Anomalia de *Appleton* (MATSUOKA, 2007) descrita brevemente a seguir. Considerando a importância do tema para o presente trabalho, as características da cintilação serão abordadas *a posteriori*.

3.3.1 Anomalia Equatorial

Antes de descrever a Anomalia Equatorial, torna-se necessário definir o Efeito Fonte, pois este dá origem à Anomalia Equatorial. Devido à alta radiação solar na região equatorial e aos campos magnético e elétrico da Terra, a densidade de elétrons na ionosfera nesta região sofre sensíveis consequências, sendo uma delas denominada de efeito fonte, o qual consiste no movimento de elevação do plasma na região do equador geomagnético e posterior descida ao longo das linhas do campo geomagnético até as baixas latitudes (RODRIGUES, 2003).

Os campos elétricos do dínamo atmosférico que são gerados na camada E são transmitidos ao longo das linhas de campo geomagnético para a região F, devido à alta condutividade paralela. Durante o dia o campo elétrico (E) é direcionado para leste. Na região F equatorial, um campo elétrico para leste, na presença do campo magnético (B) que é dirigido para norte causa uma deriva eletromagnética para cima, dada por $\mathbf{E} \times \mathbf{B} / B^2$. Após a subida do plasma até elevadas altitudes na região equatorial, o plasma inicia um movimento de descida ao longo das linhas de campo geomagnético. Este movimento ocorre devido à ação da gravidade (g) e gradiente de pressão (∇p) (DAL POZ, 2010). Um esquema das forças agindo no plasma é mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Efeito fonte

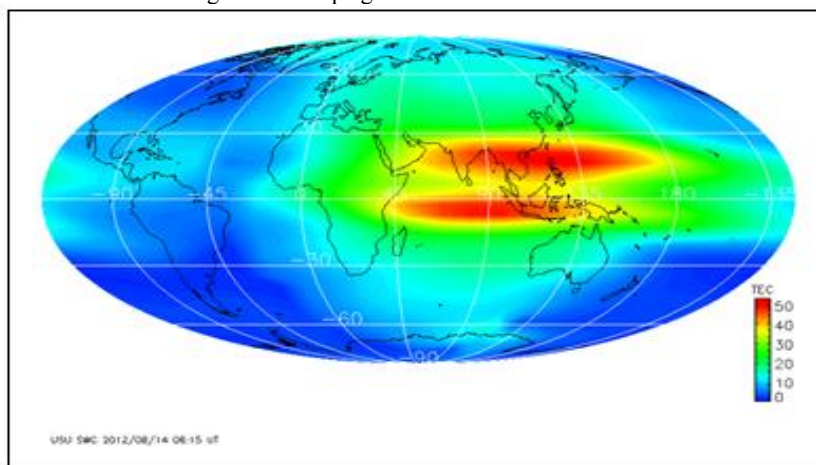


Fonte: Dal Poz (2010)

Uma consequência da combinação dos movimentos de subida e subsequente descida do plasma é que dois picos de ionização são formados nas regiões subtropicais ao norte e ao sul do equador geomagnético, entre 10° e 20° de latitude. No equador geomagnético a ionização fica menos intensa. Tal distribuição latitudinal de ionização é denominada de Anomalia Equatorial ou Anomalia de *Appleton* (APPLETON, 1946 *apud* MATSUOKA, 2007).

Nas faixas da Anomalia Equatorial que se localizam no território brasileiro as densidades da ionosfera atingem valores maiores que em outras regiões da Terra. Tal fato desempenha importante influência nos enlaces de telecomunicações terrestre e espacial. A maior intensidade desta anomalia, conforme já mencionado, ocorre nas latitudes geomagnéticas entre $\pm 10^\circ$ e $\pm 20^\circ$, causando alta concentração de elétrons nos dois lados do equador geomagnético, conforme apresentado na Figura 12. No entanto, os valores máximos do *TEC* ocorrem nas latitudes aproximadas de $\pm 15^\circ$ em relação ao equador geomagnético, que correspondem à região das cristas da anomalia equatorial (FEDRIZZI, 2003).

Figura 12 - Mapa global de densidade eletrônica



Fonte: NASA (2014)

A Anomalia Equatorial varia ao longo do dia, passando por um máximo por volta das 17 h UTC, e por um segundo máximo, nas horas que precedem a meia noite, geralmente maior que o primeiro. Este segundo máximo em geral não ocorre durante períodos de baixa atividade solar (BATISTA, 2003).

O comportamento da Anomalia Equatorial acaba por potencializar os efeitos da ionosfera nessa região do planeta, na qual o Brasil está localizado, ocasionando irregularidades ionosféricas como a cintilação, de suma importância para as investigações propostas pela presente pesquisa.

3.4 Cintilação Ionosférica

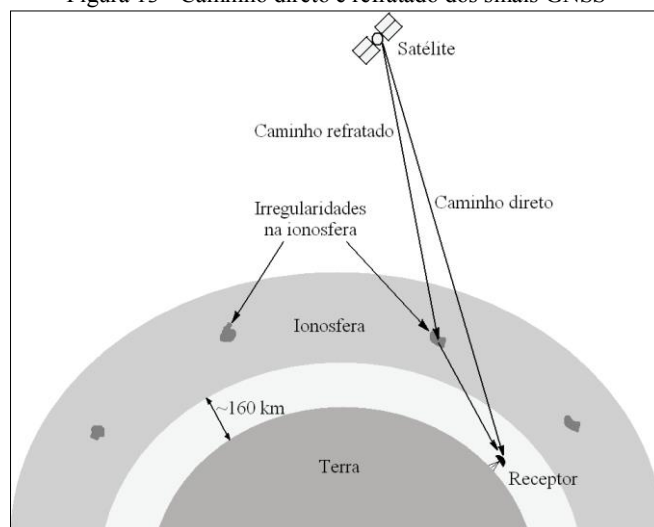
Nesta seção procura-se apontar as principais características dos eventos de cintilação de modo a fornecer subsídios para as análises dos experimentos realizados nesta pesquisa.

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).

Na definição de Rodrigues (2003), cintilação são flutuações da amplitude ou fase de uma onda de rádio, resultado da sua propagação através de uma região na qual existem irregularidades na densidade de elétrons, e, conseqüentemente, do índice de refração.

Nota-se, de acordo com as definições anteriores, que as ocorrências de cintilação estão associadas com a existência de irregularidades na densidade de elétrons já citadas. A concentração de íons locais produz irregularidades na ionosfera, geralmente, associado com a existência de períodos de cintilação. Como resultado, o sinal alcança a antena receptora via dois caminhos, o caminho direto e o caminho refratado, como mostra a Figura 13 (MAINI & AGRAWAL, 2007).

Figura 13 - Caminho direto e refratado dos sinais GNSS



Fonte: Adaptado de Maini & Agrawal (2007)

Segundo Conker *et al.* (2002), o efeito de uma rápida variação na densidade do plasma ionosférico causa também variações no ângulo de fase e/ou amplitude, polarização e ângulo de propagação de um sinal de rádio que a atravessa. A consequência dessa rápida variação no sinal é uma degradação na acurácia das medidas de fase e pseudodistância nos receptores *GNSS*, sendo diretamente refletidas nas coordenadas estimadas, e na capacidade do receptor de coletar os dados corretamente e manter a sintonia dos satélites observados.

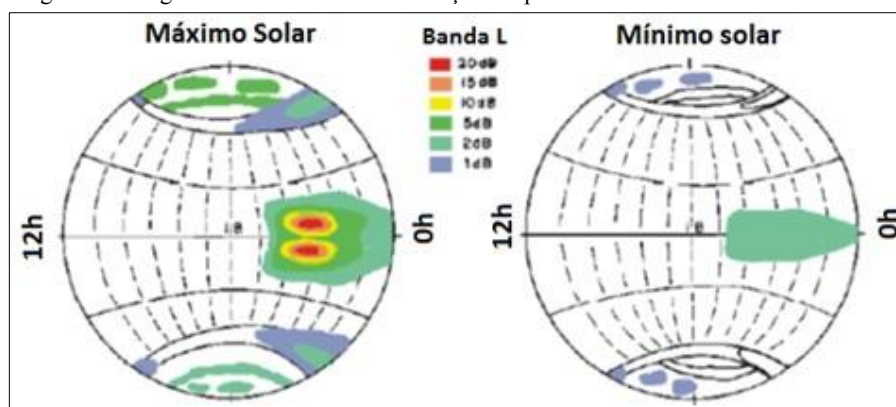
Em 1946 foram observadas, pela primeira vez, flutuações irregulares de curto período de tempo na intensidade da radiação na banda de rádio (64 MHz) emitida pela estrela *Cygnus* (HEY *et al.*, 1946 *apud* RODRIGUES, 2003). Após o lançamento do primeiro satélite artificial em 1957, tornou-se possível observar cintilações em sinais emitidos por radiotransmissores a bordo de satélites (RODRIGUES, 2003).

O processo físico básico do surgimento das irregularidades na ionosfera é referido como Instabilidade de *Rayleigh–Taylor*, tal processo tem início após o pôr do Sol, onde a densidade do plasma nas regiões mais baixas da ionosfera decresce com a recombinação dos íons. Ao mesmo tempo, há um movimento ascendente para as camadas superiores, como resultado de forças eletromagnéticas. Isto faz com que os gradientes da densidade no plasma fiquem maiores, que por sua vez conduz a formação de irregularidades que aumentam de uma maneira instável (DAL POZ, 2010).

De acordo com Aarons (1982) e Basu *et al.* (1988) *apud* Wernick (2007), existem três regiões principais de ocorrência das cintilações, como ilustrado na Figura 14. A primeira região é a equatorial e de baixas latitudes (latitudes geomagnéticas de $\pm 10^\circ$ a 20°), nas quais as cintilações ocorrem no período após o pôr do sol. A segunda região (latitudes

geomagnéticas de $\pm 65^\circ$ a 75°) compreende o lado noturno da região auroral e o lado diurno do vértice polar. Por fim, a terceira região corresponde à região mais interna da capa polar (latitudes geomagnéticas maiores que $\pm 75^\circ$). Nesta região, é possível observar cintilações em qualquer hora local. Nas regiões de latitudes médias os efeitos da cintilação são normalmente negligenciáveis.

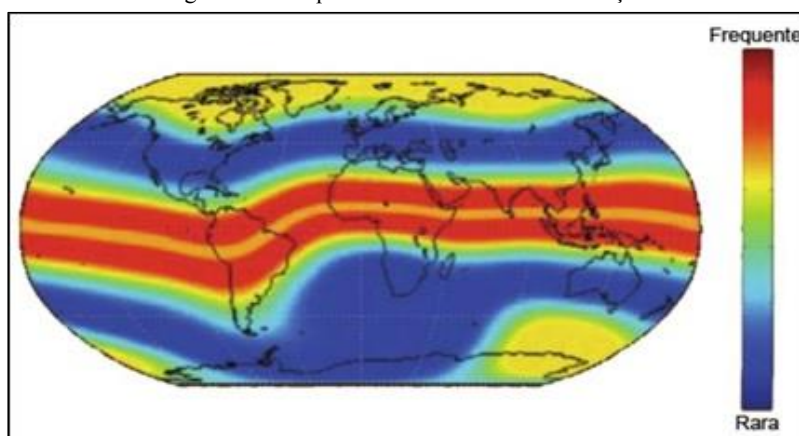
Figura 14 - Regiões de ocorrências de cintilação em períodos de max e min atividade solar



Fonte: Adaptado de Basu *et al.*(2002) apud Wernik *et al.*(2007)

Verifica-se na Figura 14 que no período de mínima atividade solar, as ocorrências de cintilações são minimizadas de forma significativa. Percebe-se também que na região equatorial e de altas latitudes ocorrem os maiores efeitos de cintilação, no entanto, na região equatorial, no qual se localiza o Brasil, estes efeitos são potencializados (DAL POZ, 2010). Nas regiões de médias latitudes não são observados efeitos da cintilação, no qual a ionosfera tem um comportamento mais previsível, como já mencionado. A Figura 15 é apresentada de modo a reforçar as características de ocorrência da cintilação segundo a localização geográfica.

Figura 15 - Frequência na ocorrência de cintilação

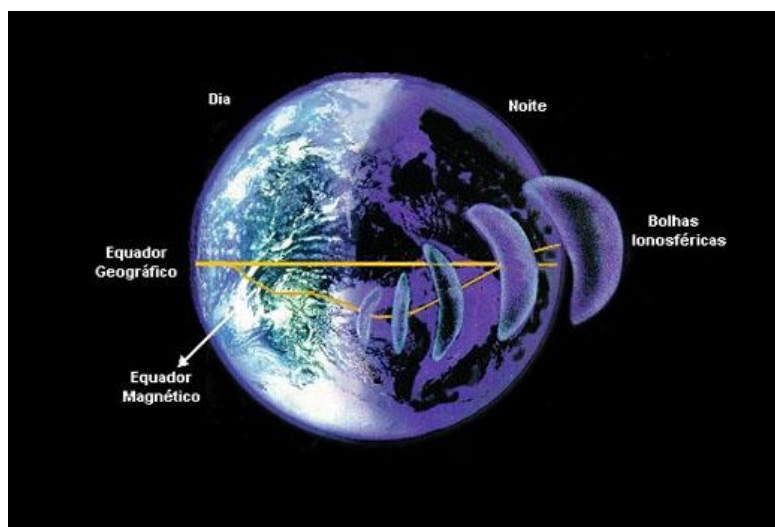


Fonte: Adaptado de Kintner Jr., Humphreys e Hinks (2009)

Em suma, cintilações que ocorrem nas regiões de altas latitudes (região auroral) e na região equatorial surgem de distintos fenômenos físicos. Na região auroral, a ocorrência da cintilação é devida às tempestades geomagnéticas. No caso da região equatorial, a cintilação está relacionada mais diretamente com a anomalia equatorial, e principalmente com as bolhas ionosféricas (bolhas de plasma).

As bolhas ionosféricas são imensas regiões do espaço onde a densidade do plasma ionosférico é drasticamente reduzida. Ocorrem sempre após o pôr do Sol e principalmente no período noturno até a meia noite, não obstante durante algumas fases do ano aparecem durante a noite toda até o amanhecer. No Brasil, as bolhas ionosféricas geralmente ocorrem entre os meses de outubro à março e variam de características com o ciclo de atividade solar (FONSECA JÚNIOR, 2002). A Figura 16 apresenta a evolução temporal e espacial das bolhas ionosféricas.

Figura 16 - Evolução das bolhas ionosféricas



Fonte: Fonseca Júnior (2002)

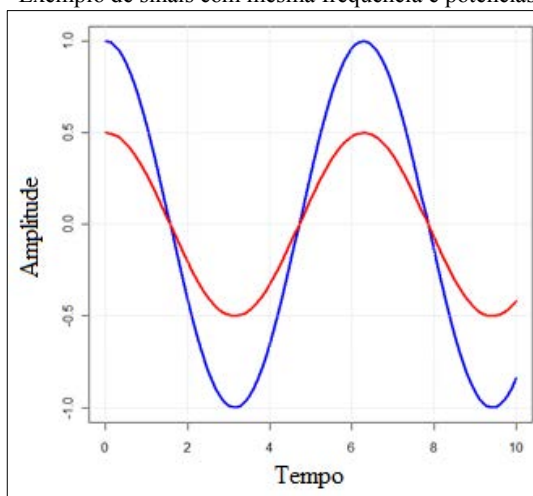
Matsuoka (2007) ressalta que as bolhas ionosféricas interferem na propagação de ondas eletromagnéticas devido à alta variação na densidade do plasma ionosférico nas bordas das bolhas. Pois, conforme já mencionado, no interior das bolhas a densidade do plasma é drasticamente reduzida, ao passo que, nas regiões externas as bolhas, existem uma maior concentração do plasma, resultando em altos gradientes de densidade de elétrons, causando irregularidades na ionosfera, que por sua vez causam perturbações na propagação de ondas nestes locais.

Nos tópicos seguintes, são evidenciadas as principais características dos eventos de cintilação nos sinais *GNSS*, como a cintilação na amplitude e na fase, bem como os principais aspectos presentes nas cintilações de região equatorial.

3.4.1 Cintilação em amplitude

De acordo com Mendonça (2013), uma característica importante dos sinais dos satélites de posicionamento que acabam por não comparecer nas equações das observáveis *GNSS* é a amplitude da onda, ou, potência do sinal. Apesar das diversas definições existentes para amplitude de uma onda, sempre estão presentes os elementos “potência máxima” ($P_{\max}$) e “potência mínima” ($P_{\min}$) de um sinal em um determinado intervalo de tempo. A Figura 17 apresenta um exemplo onde o sinal representado em azul tem o dobro da potência do sinal representado em vermelho.

Figura 17 - Exemplo de sinais com mesma frequência e potências diferentes.



Fonte: Mendonça (2013)

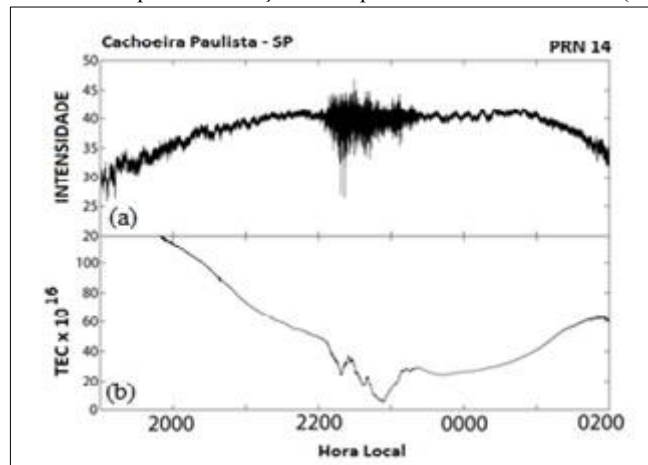
McNamara (2001) afirma que a potência de um sinal nada mais é do que uma padronização de quanta energia é recebida em determinada área, sendo a unidade de medida mais comum para o caso dos sinais de rádio o W/m^2 . Por questão de padronização, pode-se definir também a intensidade do sinal como sendo função da potência. Essa função é representada na seguinte equação:

$$I = 10 \log P,$$

sendo P a potência do sinal em determinado momento. A unidade de medida dessa escala logarítmica é o decibel (dB).

A Figura 18 mostra um exemplo de cintilação onde a potência do sinal é afetada. No gráfico “a”, a intensidade do sinal é representada, mostrando a variabilidade da potência em função do tempo. Já no gráfico “b”, é mostrada a variabilidade do *TEC*, também em função do tempo. Observa-se nesse caso a alta correlação entre os gradientes de densidade eletrônica e variações na potência do sinal emitido pelo satélite *GPS* (MENDONÇA, 2013).

Figura 18 - Exemplo de cintilação na amplitude de um satélite GPS (PRN 14)



Fonte: Adaptado de Kinter (2009)

Utilizando esses conceitos, um índice muito apropriado para caracterizar a variação da potência de um sinal ao longo do tempo é o índice S_4 e seus derivados. Tal índice é derivado a partir da intensidade de sinal não tendencioso dos sinais recebidos dos satélites, sendo um desvio padrão da intensidade do sinal numa alta frequência (50 Hz) em relação à média calculada em cada minuto (VAN DIERENDONK, 2001).

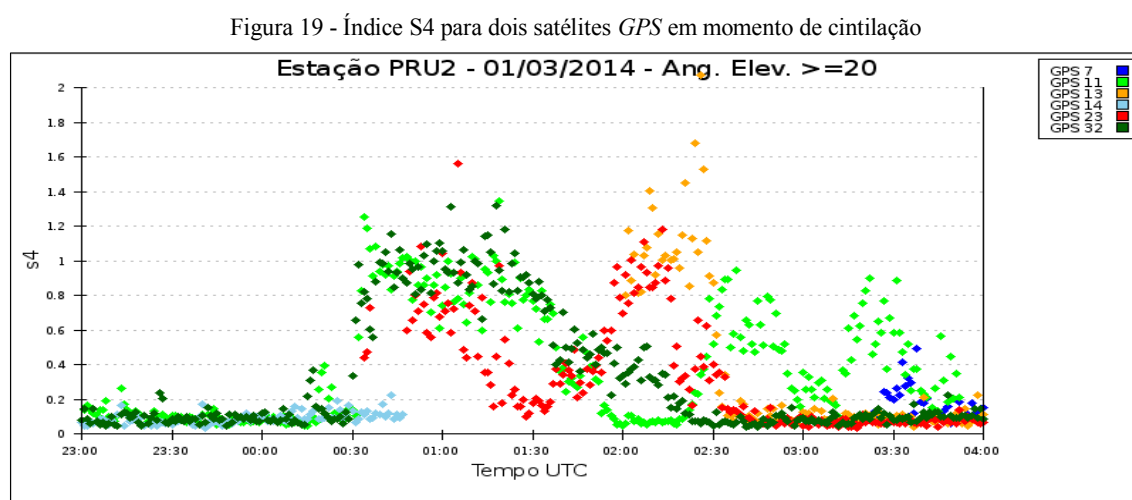
O índice de cintilação S_4 tem sido amplamente utilizado para quantificar a magnitude das cintilações em amplitude de sinais transionosféricos, sendo definido pela dispersão da intensidade do sinal ao longo do tempo dividido pela média dessa intensidade (I) do sinal recebido, como mostra a equação a seguir (Yeh e Liu, 1982 *apud* SILVA, 2009):

$$S_4 = \sqrt{\frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle I \rangle^2}},$$

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

O índice S_4 é adimensional e alguns limiares para a determinação da intensidade da cintilação são apresentados por diversos autores. Conker *et al* (2002) definem 0 para

ausência de cintilação e 1 para cintilações forte. Tiwari *et al.* (2011) adotam intervalos classificados como fraco ($S_4 < 0,5$), moderado ($0,5 \leq S_4 \leq 1,0$) e forte ($S_4 > 1,0$). Nesta pesquisa, os limiares considerados serão os adotados pela *International Telecommunication Union* (2012), de modo análogo à Tiwari *et al.* (2011), três intervalos são adotados na classificação: fraco ($S_4 < 0,3$), moderado ($0,3 \leq S_4 \leq 0,6$) e forte $S_4 > 0,6$). A Figura 19 apresenta um exemplo desse índice para um período de cintilação onde os satélites são afetados.



3.4.2 Cintilação em fase

As cintilações de fase ocorrem a partir de rápidas variações na fase do sinal ao percorrer as irregularidades na densidade de plasma na ionosfera. As cintilações de fase podem acarretar em perda de ciclos e perda de sintonia conforme o receptor recebe o sinal do satélite (WALTER *et al.*, 2010).

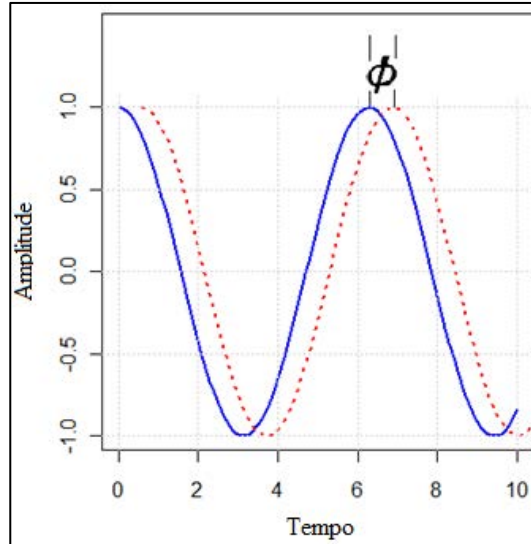
Segundo Monico (2008), a medida de fase da onda portadora é a medida mais precisa das observáveis GNSS. Ao medir a fase da onda, é possível descobrir em que ponto do período o sinal se encontra, e a partir daí, iniciar a contagem de ciclos de acordo com o movimento do satélite emissor.

As cintilações de fase são mais significativas em regiões de altas latitudes, onde irregularidades na densidade de elétrons são produzidas por subtempestades aurorais, estendendo-se numa região de aproximadamente 100 a 300 km de altitude (TIWARI *et al.*, 2011).

A Figura 20 apresenta um exemplo de dois sinais e a medida de fase entre eles. Nessa figura, pode-se considerar o sinal azul como sendo de referência (um sinal gerado

dentro do receptor, por exemplo) e o sinal vermelho um sinal recebido com determinado atraso (MENDONÇA, 2013).

Figura 20 - Exemplo de dois sinais e a medida de fase entre eles



Fonte: Mendonça (2013)

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, tem-se os índices Phi (também denominado σ_φ) sendo o mais usual deles, o índice Phi60, representando o desvio padrão das medidas de fase nos últimos sessenta segundos, como mostra a equação a seguir:

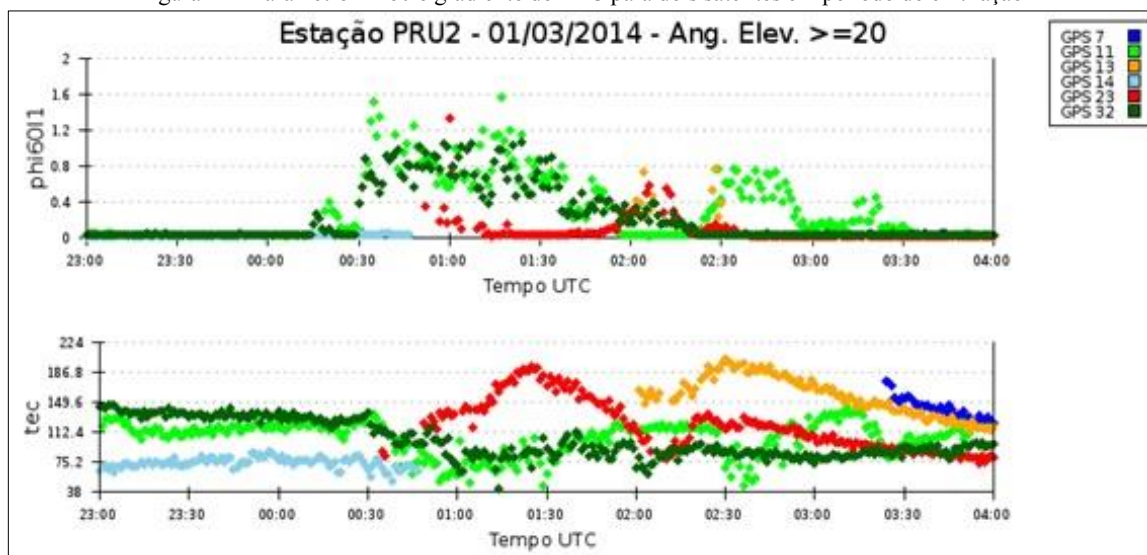
$$\text{Phi60} = \sqrt{\langle \varphi^2 \rangle - \langle \varphi \rangle^2},$$

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 ($\sigma_\varphi \geq 0,8$).

A Figura 21 apresenta a variação do índice σ_ϕ acima, e abaixo o valor do gradiente do *TEC* para o mesmo período, evidenciando a relação variação de densidade/variação na medida de fase.

Figura 21 - Parâmetro Phi60 e gradiente do TEC para dois satélites em período de cintilação



A variação de fase do sinal segue uma distribuição normal com média zero ao longo do tempo, sendo de interesse apenas o desvio padrão dessa variação (MENDOÇA, 2013). Nas regiões equatoriais, observações indicam que os índices S_4 e Phi60 são fortemente correlacionados, contando ainda com o fato de que durante eventos de cintilação ionosférica, os valores de ambos os parâmetros, sendo Phi60 expresso em radianos, são numericamente similares (ITU, 2012).

3.5 Monitoramento da cintilação no Brasil

Atualmente, no Brasil, o monitoramento dos eventos de cintilação ionosférica com dados *GNSS* são baseados em pesquisas de três principais projetos: Projeto Scintec⁷, gerenciado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), Projeto *CIGALA/CALIBRA*⁸ e o Projeto EMBRACE⁹ (Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial). A seguir uma breve descrição dos respectivos projetos e a abordagem empregada para o monitoramento da cintilação.

⁷ Cf. <http://www.inpe.br/scintec/pt/>. Acesso em 02 ago. 2014

⁸ Cf. <http://is-CIGALA/CALIBRA.fct.unesp.br/is/>. Acesso em 02 ago.2014

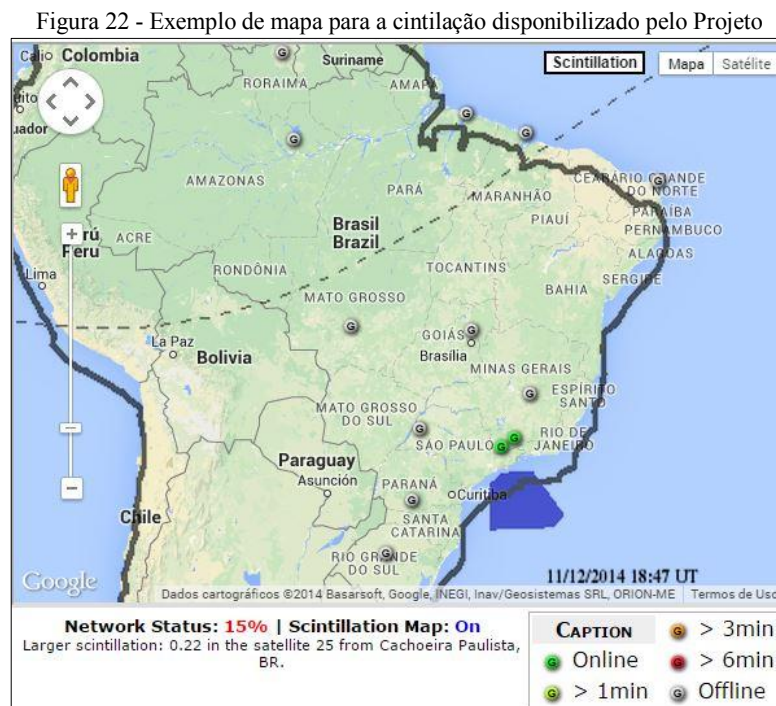
⁹ Cf. <http://www.inpe.br/climaespacial/>. Acesso em 02 ago.2014

3.5.1 Projeto Scintec

Atualmente, a Divisão de Aeronomia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DAE/INPE) desenvolve o projeto Scintec com suporte da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo). Tal projeto trata-se de um sistema que tem por finalidade, mapear e monitorar a cintilação e o *TEC* sobre o território brasileiro. Além do monitoramento, estão sendo testados métodos de captação de dados e inteligência artificial para a predição da cintilação.

O monitoramento é feito através de uma rede de receptores *GPS CASCADE* (Placa *GEC-Plessey*) desenvolvidos pela Universidade de Cornell (EUA), denominado Monitor de Cintilação Ionosférica (SCINTMON). O SCINTMON é um *software* computacional que permite monitorar a frequência L1 transmitida pelo *GPS*, e é capaz de amostrar simultaneamente 11 satélites, porém somente coleta dados de satélites com uma elevação superior a 10°.

O Scintec utiliza bancos de dados relacionais e a consulta de dados é feita através da linguagem *SQL* (*Structured Query Language*), o usuário poderá consultar os mapas de cintilação em tempo real ou para uma determinada data (Figura 22).



Disponível em: <http://www.inpe.br/scintec/pt/>. Acesso em 12 dez. 2014

O Projeto Scintec possui parceria com o Projeto *LISN (Low-latitude Ionosphere Sensor Network)*, coordenado pelo Instituto Geofísico do Peru, com a finalidade de *prover* mapas de cintilação e *TEC* sobre toda a América do Sul em tempo real. Isto permitirá uma maior colaboração e interação entre os pesquisadores do cone sul. O Projeto prevê ainda uma integração com a RBMC do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) com a finalidade de fazer o cálculo de *TEC* para analisar seus gradientes latitudinais, os efeitos das irregularidades do plasma e o desenvolvimento de modelos para o *TEC*.

3.5.2 Projeto CIGALA/CALIBRA

Além das estações instaladas pelo Projeto Scintec, o Brasil conta com outra rede de estações para o monitoramento da cintilação, constituído no âmbito dos Projetos *CIGALA* e *CALIBRA*, visando analisar os efeitos da cintilação, investigar suas causas e desenvolver novos métodos de mitigação a serem implementadas em receptores *GNSS*.

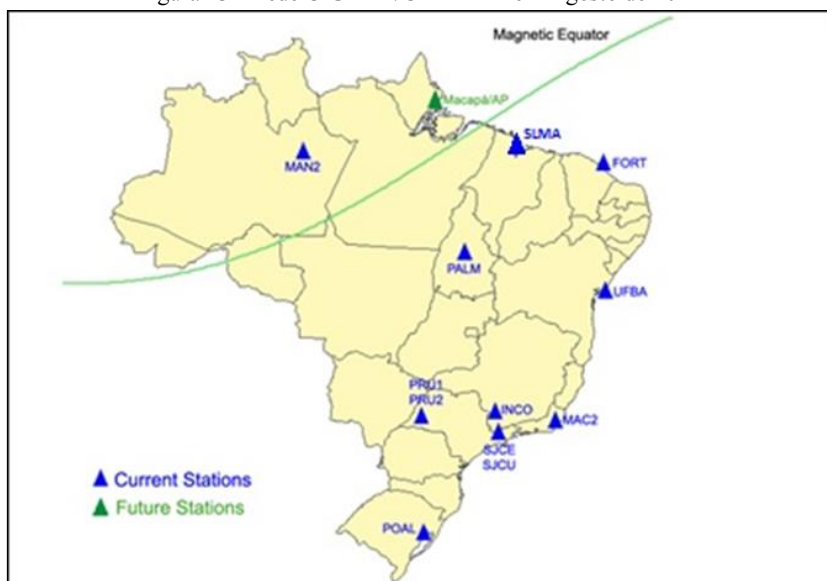
O projeto liderado União Europeia denominado *CALIBRA*, é financiado e supervisionado pela FP7 (*European Community's Seventh Framework Programme*) e GSA (*European GNSS Agency*), respectivamente. O desenvolvimento do projeto encontram-se sob responsabilidade do consórcio formado pelos seguintes parceiros:

- ✓ Universidade de *Nottingham*, Reino Unido;
- ✓ Universidade de *Nova Gorica*, Eslovênia;
- ✓ Instituto de Geofísica e Vulcanologia, Itália;
- ✓ *Septentrio Satellite Navigation*, fabricante belga de receptores *GNSS*;
- ✓ FCT/UNESP, Brasil;
- ✓ ConsultGEL, empresa brasileira de engenharia.

O Projeto *CALIBRA*, trata-se de uma continuação do projeto *CIGALA*, também financiado pela FP7 e desenvolvido pelas mesmas instituições de ensino, no período de março de 2010 a fevereiro de 2012. Em ambos os projetos foram instaladas estações exclusivas para o monitoramento da ionosfera, compondo assim a Rede *CIGALA/CALIBRA* com um total de 12 estações numa previsão de 13.

A Figura 23 apresenta a distribuição espacial das atuais estações permanentes da Rede *CIGALA/CALIBRA*, além da estação em Macapá/AP que se encontra em fase de implantação.

Figura 23 - Rede CIGALA/CALIBRA em Agosto de 2014



Disponível em: <http://is-CIGALA/CALIBRA.fct.unesp.br/is/>. Acesso em 02 ago.2014

Observa-se no mapa a presença de duas estações na cidade de Presidente Prudente/SP (PRU1 e PRU2 - distam entre si aproximadamente 300 m) e em São José dos Campos/SP - distam entre si aproximadamente 10 km). Com estas estações é possível comparar os índices de monitoramento observados, além de realizar testes baseado em posicionamento relativo. As demais estações estão localizadas em Manaus/AM (MAN2), São Luís/MA (SUMA), Fortaleza/CE (FORT), PALMAS/TO (PALM), Salvador/BA (UFBA), Inconfidentes/MG (INCO) Macaé/RJ (MAC2) e Porto Alegre/RS (POAL).

A Rede *CIGALA/CALIBRA* é composta por receptores *Septentrio PolaRxS-Pro* que coletam dados a uma taxa de até 100 Hz, produzindo parâmetros específicos da ionosfera como o S_4 , Φ_{i60} , TEC , etc. Localmente, essas estações contam também com antenas *GNSS AERAT 1639* da fabricante *AeroAntenna* e computadores *Intel i5*, com 2 Gb de RAM, HD de 4 Tb e, quando é constatada necessidade, equipamentos *no break* para o caso de queda constante de energia. Em cada computador, há conexão *SSH (Secure Shell)*, ambientadas em servidores *Linux Debian* e um *backup* dos dados coletados. Esses dados são armazenados, posteriormente, em repositórios localizados nas dependências do Laboratório de Geodésia Espacial (LGE) da FCT/UNESP. Atualmente, o repositório conta com aproximadamente 20 Tb de espaço para armazenamento de dados.

Uma vez que o volume de dados é consideravelmente grande, foi desenvolvido um gerenciador de banco de dados, denominado *ISMR (Ionospheric Scintillation Monitor*

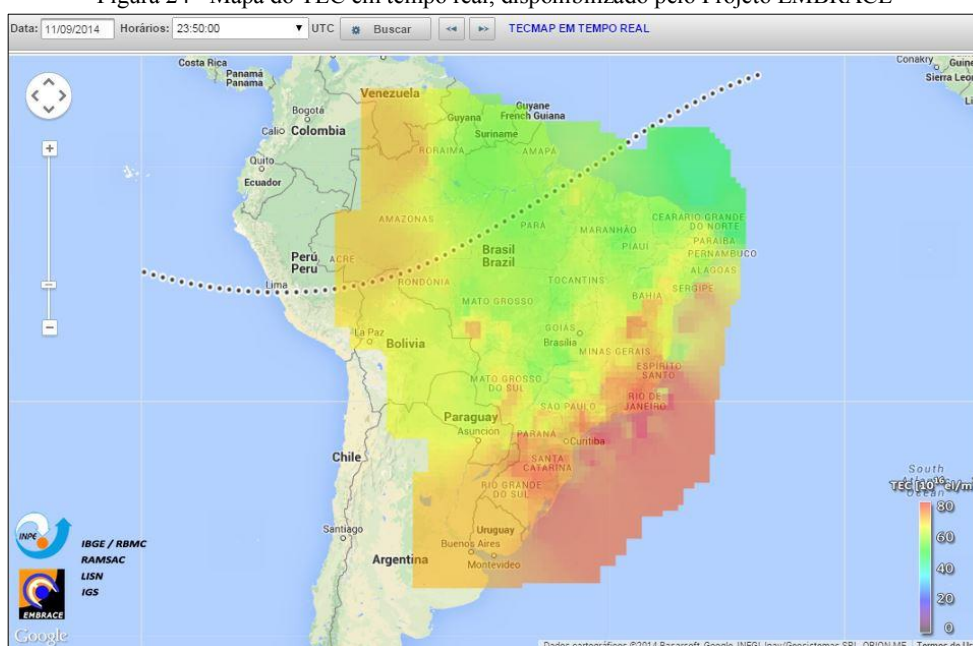
Receiver) Query Tool, ferramenta para a visualização e extração de informações, informações detalhadas acerca desta ferramenta serão apresentadas na seção 4.1.2.

3.5.3 Projeto EMBRACE

Além dos projetos em andamento que visam o estudo da ionosfera na região latino-americana, no ano de 2007 foi implantado no INPE o Projeto EMBRACE. Tal projeto é financiado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia do Brasil e construído com base na infraestrutura operacional do INPE, incluindo cientistas com uma longa tradição e excelência na observação, análises e modelagem de fenômenos solares e solares-terrestres. A infraestrutura conta com um arranjo de instrumentos astronômicos e geofísicos distribuídos pelo Brasil de norte a sul do equador magnético. Os sensores disponíveis incluem receptores e telescópios solares em radiofrequências, instrumentos ópticos e imageadores solares, receptores *GNSS*, ionosondas, radares VHF (*Very High Frequency*), imageadores do céu de grande angular, magnetômetros e detectores de raios cósmicos.

O Projeto EMBRACE tem por finalidade, realizar a observação e o monitoramento do clima espacial, a fim de disponibilizar informações em tempo real, além da previsão sobre o sistema Sol-Terra em *prover* diagnósticos de seus efeitos sobre diferentes sistemas tecnológicos. A Figura 24 apresenta um dos produtos do Projeto EMBRACE, o mapa de *TEC* em tempo real para o dia 11/09/2014.

Figura 24 - Mapa do TEC em tempo real, disponibilizado pelo Projeto EMBRACE



Disponível em: <http://www.inpe.br/climaespacial/>. Acesso em 11 set.2014

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais utilizados para a realização da pesquisa, bem como a metodologia utilizada para tal abordagem. Na seção 4.1.1 informações referentes à Rede *GNSS/SP* serão apresentadas, na sequência a seção 4.1.2 traz a descrição geral da ferramenta *ISMR Query Tool*, empregada na extração de informações do banco de dados do Projeto *CIGALA/CALIBRA*. Informações gerais acerca do funcionamento do sistema *Trimble Pivot*, responsável pelo gerenciamento da Rede *GNSS/SP*, são apresentadas na seção 4.1.3.

A partir da seção 4.2 a metodologia empregada é descrita de acordo com os experimentos realizados. Dessa forma, as configurações realizadas no sistema *Trimble Pivot* são descritas na 4.2.1. Por fim, os métodos para os Experimentos 1, 2 e 3 são descritos respectivamente nas seções 4.2.2, 4.2.3 e 4.2.4.

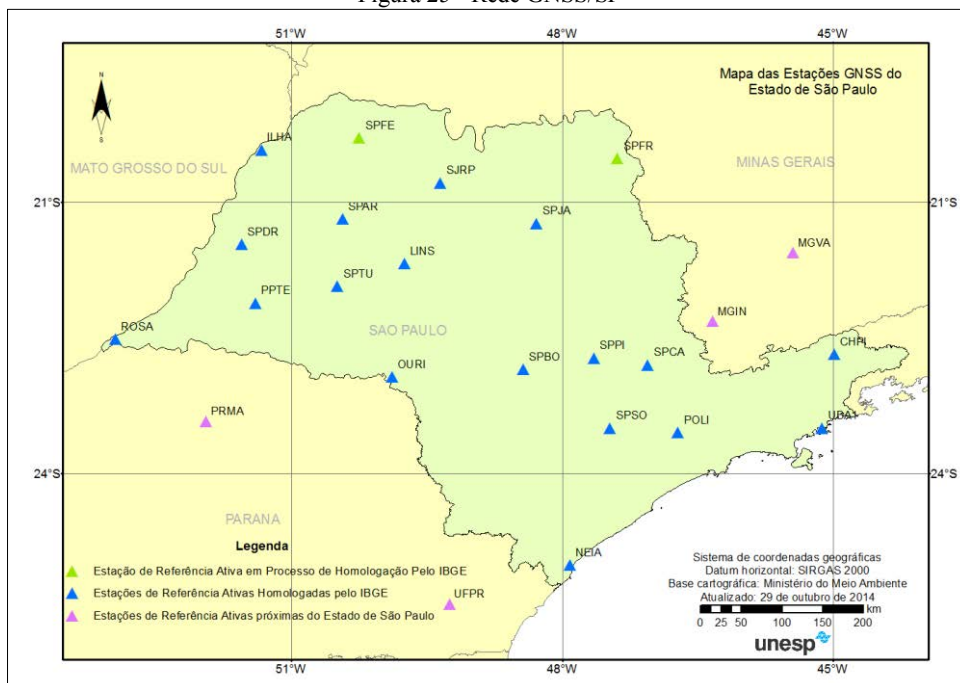
4.1 Materiais

4.1.1 Rede GNSS/SP

A região para as investigações desta pesquisa é formada pelo conjunto de estações que compõe a rede *GNSS* do estado de São Paulo (Rede *GNSS/SP*). A Rede *GNSS/SP* (Figura 25) foi implantada com o intuito de ampliar o número de estações ativas no estado de São Paulo e proporcionar a infraestrutura necessária para o desenvolvimento de pesquisas e aplicações dentro do contexto de posicionamento geodésico e estudos atmosféricos, georreferenciamento de imóveis rurais, levantamentos cadastrais, dentre outras aplicações. Além disso, existe a possibilidade de utilizar os dados para propósitos operacionais como, por exemplo, no *RTK* em rede (tempo real ou pós-processado).

A implantação e manutenção da estrutura da Rede *GNSS/SP* é resultado de projetos FAPESP (Processos 2004/03384-5 e 2004/09235-1), desenvolvidos no Departamento de Cartografia da FCT/UNESP, além do Projeto Temático (Processo 2006/04008-2) que envolve a FCT/UNESP, USP/Poli (Universidade de São Paulo/Escola Politécnica), USP/Esalq (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”) e INPE/CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) .

Figura 25 - Rede GNSS/SP



Fonte: <http://www.fct.unesp.br/#!/pesquisa/grupos-de-estudo-e-pesquisa/gege/>. Acesso em 31

Conforme observado na Figura 25, atualmente a Rede *GNSS/SP* é composta por 20 estações de monitoramento contínuo, sendo que 15 delas já homologadas pelo IBGE e 5 estão em processo de homologação.

O centro de controle da Rede *GNSS/SP* está situado no município de Presidente Prudente/SP, no LGE localizado nas dependências da FCT/UNESP. A distância entre a estação de controle (PPTE) e a estação de referência mais próxima (SPDR), ou seja, a menor linha de base é de 74 km. Em relação a mais distante (OURI), tem-se 180 km. Quanto ao espaçamento, por mais distância entre estações que compõem a rede é de 405 km (SPFR-CHI) e a menor é de 58 km (SPCA-SPPI), considerando as linhas de base formadas entre as estações.

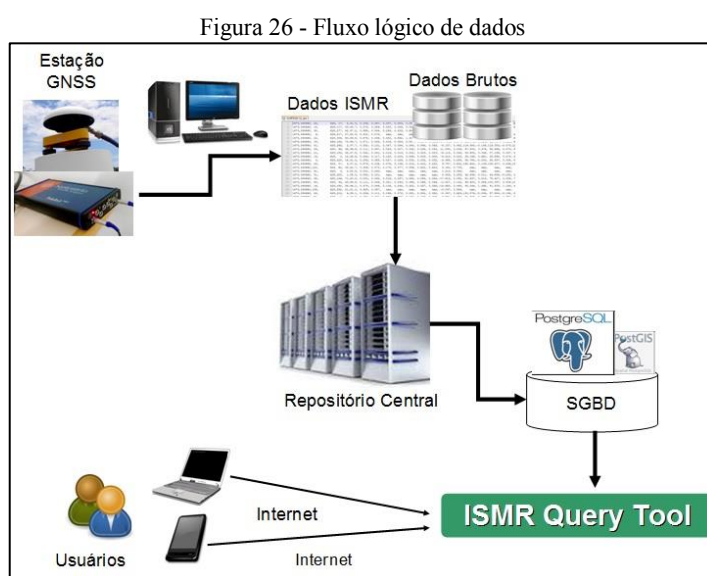
As estações da rede disponibilizam dados em tempo real via *internet*, utilizando o protocolo *NTRIP*. Em relação ao monitoramento desta rede, a FCT/UNESP dispõe do *software* comercial *Trimble Pivot* responsável pelo gerenciamento e armazenamento dos dados. A atual configuração da Rede *GNSS/SP*, caracteriza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

Para informações detalhadas acerca dos equipamentos utilizados na rede, locais de implantação das estações, obtenção de dados, etc. estão disponíveis na página na *internet* do GEGE (Grupo de Estudo em Geodésia Espacial) ¹⁰.

4.1.2 ISMR Query Tool

Conforme citada na seção 3.5.2, um banco de dados foi implantado no contexto do Projeto *CIGALA/CALIBRA*, para armazenamento dos dados oriundos das estações implantadas pelos respectivos projetos além do desenvolvimento de uma ferramenta para visualização dos dados via *internet*. Tal ferramenta denominada *ISMR Query Tool*, encontra-se em constante desenvolvimento por Vani (2014).

A Figura 26 apresenta um fluxo lógico dos dados. Os registros de monitoramento, obtidos através de receptores e antenas *GNSS* são armazenados primeiramente em um computador local em cada estação (arquivos brutos e arquivos ISMR). Em seguida os arquivos são enviados a um repositório central com alta capacidade de armazenamento, atualmente localizado na FCT/UNESP. A partir do repositório, os dados são importados automaticamente para o banco de dados, em intervalos de uma hora, constituindo a base de dados da *ISMR Query Tool* que está disponível via *internet* aos usuários. Optou-se pela implementação de uma aplicação web, onde se desfruta das vantagens como portabilidade, mobilidade e capacidade de disseminação das informações (VANI, 2014).

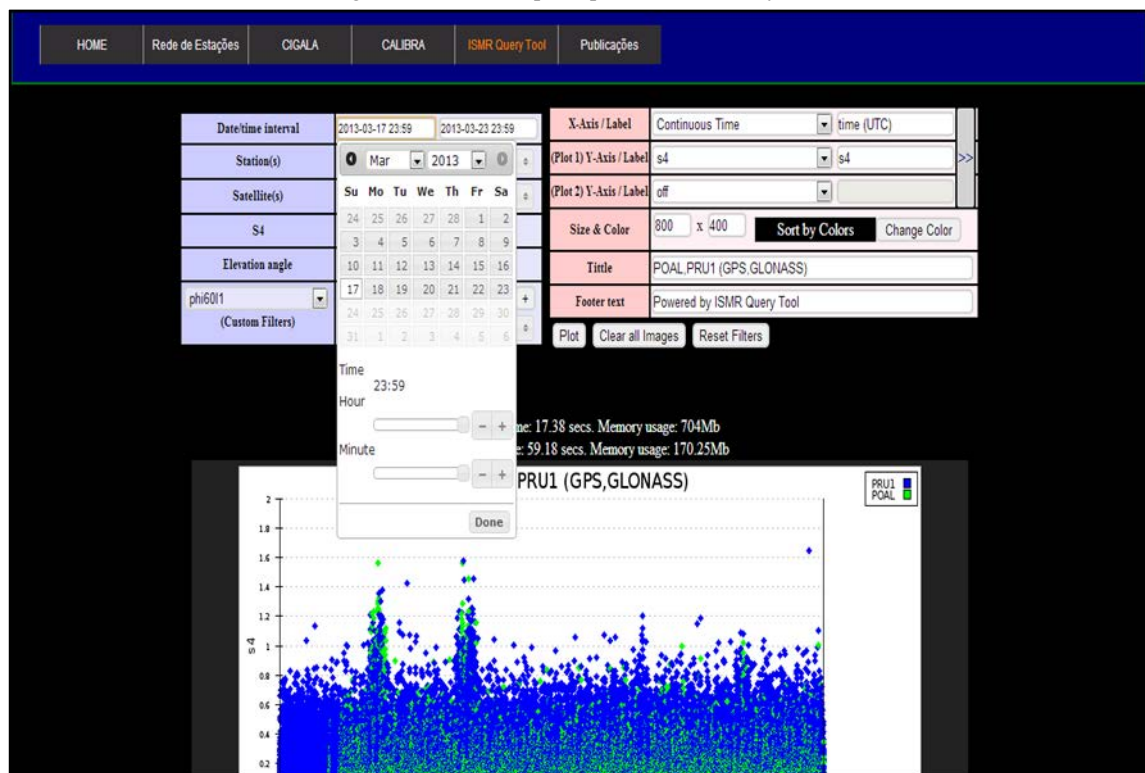


Fonte: Vani (2014)

¹⁰ Cf. <http://gege.fct.unesp.br/>. Acesso em 10 ago. 2014.

Essa ferramenta permite realizar consultas considerando índices ionosféricos de interesse do usuário (S_4 e σ_ϕ , por exemplo), visando estender as possibilidades de análise do comportamento da cintilação e seus efeitos no posicionamento *GNSS*, uma vez que se tem um grande volume de dados. A Figura 27 apresenta a interface principal da ferramenta em sua versão 3.0, atualizada em maio de 2013¹¹.

Figura 27 - Interface principal da ISMR Query Tool

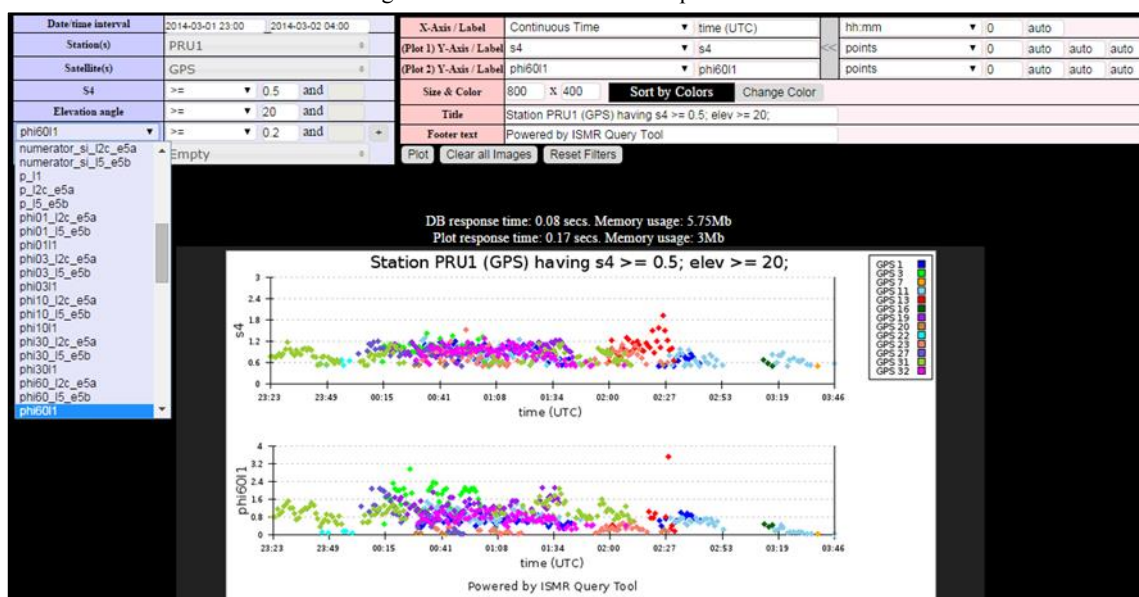


A *ISMR Query Tool* permite identificar as estações, os satélites e os horários mais afetados pela cintilação através da visualização dos índices providos pelo receptor. Uma das principais características da ferramenta é a possibilidade de filtrar atributos através da aplicação de operadores booleanos em campos desejados do banco de dados. Desta forma, o usuário pode valer-se da interatividade da ferramenta para a visualização da informação aplicando-a para o período de interesse.

Na Figura 28, por exemplo, o usuário, ao detectar os picos de cintilação, explora os mesmos dados em uma visualização mais criteriosa abrangendo a identificação dos satélites, possibilitando novas análises sobre o comportamento de determinados satélites num período de cintilação, bem como para diferentes parâmetros coletados pelos receptores.

¹¹ Cf. <http://is-CIGALA/CALIBRA.fct.unesp.br/is/ismrtool/view/View.php>. Acesso em 10 ago. 2014.

Figura 28 - Interface de consulta para diferentes filtros



4.1.3 Trimble Pivot

As informações apresentadas nessa seção tiveram como referências o guia do usuário para o *software* comercial *Trimble Pivot* (TRIMBLE, 2013).

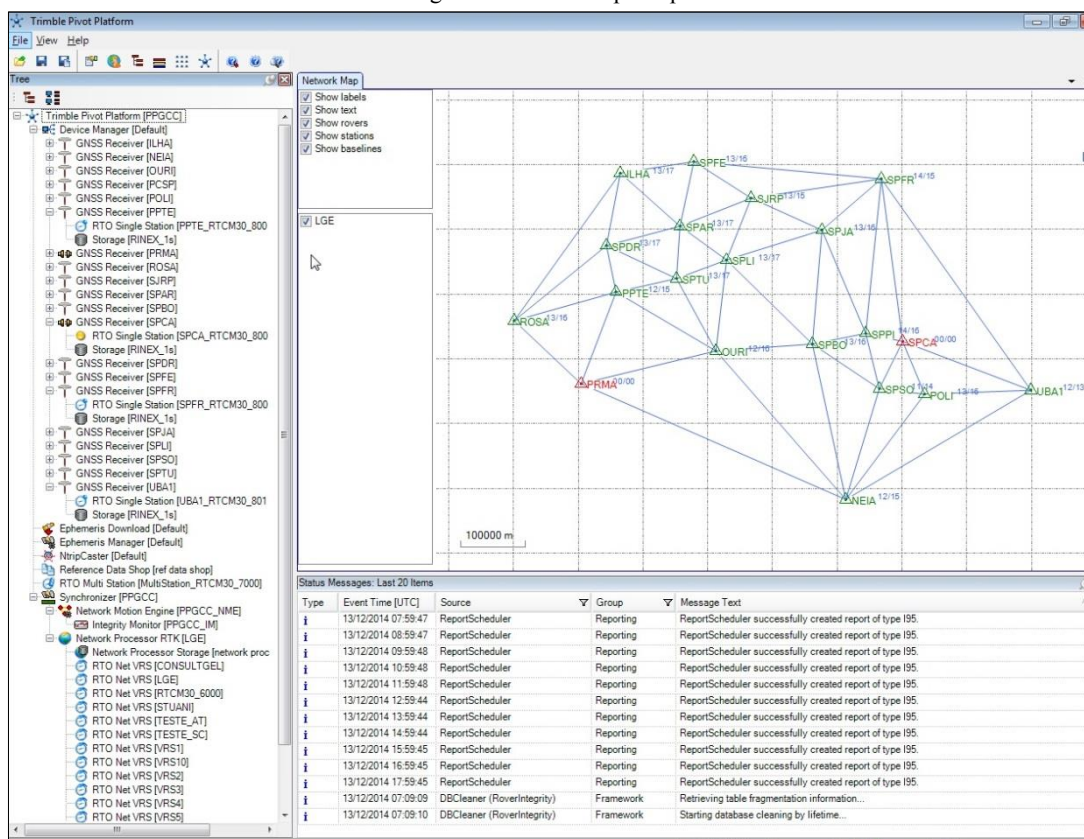
Este software foi desenvolvido para oferecer uma infraestrutura de gerenciamento para os usuários *GNSS*, integrando várias soluções (aplicativos) já desenvolvidas pela fabricante para garantir melhores resultados nos trabalhos e redução de custos nas operações. O desempenho da plataforma *Pivot* dá-se utilizando o conceito *software* de servidor, oferecendo uma estrutura robusta e escalável como base para outros aplicativos baseados nesta plataforma.

Algumas das vantagens na utilização da metodologia *software* servidor estão na integração entre o usuário e o sistema. Por exemplo, um usuário em campo que possuir um dispositivo móvel com um plano de dados para *internet* e sinal da rede de telefonia celular, pode ter acesso às informações do sistema, como a saúde dos satélites rastreados, status do serviço, condições da atmosfera, etc., independente da hora e do local.

Dentre as diversas soluções já desenvolvidas pela *Trimble* que podem ser incorporadas à plataforma *Pivot* destaca-se o *Trimble VRS³Net App*. Sendo este o aplicativo empregado nesta pesquisa (Figura 29), razão pela qual será apresentado em detalhes. Para informações sobre outros aplicativos que podem ser incorporados à plataforma *Pivot*,

recomenda-se acessar <<http://www.trimble.com/infrastructure/Pivot-platform.aspx?dtID=market>>.

Figura 29 - Interface principal



A plataforma *Trimble Pivot* combinada ao aplicativo *VRS³Net* forma um sistema que tem por principal característica o gerenciamento de redes de estações de referência para posicionamento *RTK* em rede usando *VRS*, além da geração e envio de dados/correções de outros algoritmos *RTK* aos usuários da rede. Este sistema arquiva (para serviços pós-processados) e processa simultaneamente os dados das estações, época por época, para disponibilizá-los aos usuários que realizam o posicionamento em rede, tanto com o *RTK* quanto com o *DGNSS*. O sistema permite ao administrador gerenciar várias estações de referência ao mesmo tempo, recebendo alertas ou notificações quanto ao status de cada uma das estações inseridas no sistema (TRIMBLE, 2013).

O funcionamento do sistema *Trimble Pivot* pode ser classificado em três estágios: coleta de dados das estações de referência; armazenamento e processamento no centro de controle; transmissão dos dados e/ou correções aos usuários da rede.

A coleta de dados se dá pela conexão em tempo real das estações de referência com o centro de controle via interface *TCP/IP* evitando limitações físicas como as portas

seriais. O sistema pode armazenar em diversos formatos de arquivos, tais como *RINEX* versão 2.x e 3.0 x, *RINEX* compacto (HATANAKA), T01, T02, DAT e TGD. Além da possibilidade de compressão dos arquivos em formatos .gz, .zip ou tgz. Dessa forma, com os dados sendo enviados e armazenados continuamente no centro de controle, é feito o ajuste simultâneo e a modelagem das observáveis para permitir a determinação do erro ionosférico, atraso troposférico, erro de órbita e a determinação das ambiguidades. Usando esses parâmetros o sistema recalcula os dados GNSS e interpola para combinar com a posição do usuário, que pode estar em qualquer local dentro da área de abrangência da rede conectado utilizando uma comunicação bidirecional (TRIMBLE, 2013).

A arquitetura do sistema *Pivot* é implementada na forma de módulos. Então, cada ferramenta específica funciona em um módulo e diferentes combinações podem ser organizadas dependendo dos requisitos do administrador da rede.

A seguir é apresentada uma breve descrição dos principais módulos deste sistema, os quais integram a plataforma ativa na FCT/UNESP.

- ✓ *Device Manager*: principal ferramenta para configurar e visualizar a rede de estações de referência. Utilizado para adicionar as estações e suas principais características como tipo de receptor, antena, coordenadas de referência, etc.;
- ✓ *GNSS Receiver*: cada módulo *GNSS Receiver* adicionado controla os dados de observação recebidos pelo respectivo receptor ligado. Esse módulo pode detectar possíveis erros de recepção, se o dado for passível de correção o módulo aplica, caso contrário tal dado é removido do conjunto de dados, antes de ser transferido para os outros módulos. Este módulo também fornece algumas consultas e gráficos interessantes como *Satellite Tracking*, *Skyplot*, *Multipath*, *Temperature Chart*, *Humidity Chart*, e *Pressure Chart*;
- ✓ *Storage*: este módulo é responsável pelo armazenamento dos dados recebidos em arquivos de dados em diferentes formatos de saída de acordo com a configuração escolhida;
- ✓ *Ephemeris Download*: auxilia na automatização do *download* de arquivos de órbitas preditas, precisas e de arquivos de DCBs (*Differential Code Biases*), selecionando o endereço de busca dos arquivos e sua pasta de destino;
- ✓ *NTRIPCaster*: serve como centro de comunicação entre a fonte de dados GNSS e os usuários desses dados. O módulo de *NTRIPCaster* é usado para transmitir esses fluxos de dados usando o protocolo *NTRIP*;

- ✓ *Synchronizer*: módulo responsável por coletar os dados da última época de estações de referência (módulo *GNSS Receiver*) e enviá-los para os módulos de processamento como uma única época de dados;
- ✓ *Integrity Monitor*: este módulo recebe os dados *GNSS* processados e a partir disso proporciona diversas finalidades como ajuste da posição para a detecção de erros, conversão de vetores para um conjunto de coordenadas de uma posição (que pode ser usado para monitorar ou atualizar a lista estação de todo o sistema), monitoramento das atuais velocidades das estações, etc.;
- ✓ *Network Processor*: um dos vários tipos de módulos de processamento de dados em tempo real. Estes módulos de processamento de dados em tempo real são responsáveis pela criação de modelos troposféricos e ionosféricos da rede. Com um ou vários módulos *RTO Net* adicionados abaixo do módulo *Network Processor*, o sistema está apto a gerar correções destes modelos da rede e transmiti-los para o usuário em campo. Os módulos de processador de rede vêm em dois modos de operação básicos, que se distinguem pela precisão dos dados computadorizada. Esses modos são chamados *RTK* e *DGPS*;
- ✓ *Network Processor Storage*: adicionado logo abaixo do módulo *Network Processor*, é responsável pelo armazenamento dos resultados do processamento em arquivos de dados em diferentes formatos de saída.

O módulo *Network Processor* engloba uma importante funcionalidade utilizada nesta pesquisa. Trata-se do índice I95 (Índice de Distúrbio da Ionosfera), baseado no resíduo ionosférico diferencial calculado em uma rede de estações de referência *GNSS*. Originalmente ele foi destinado a apoiar o *RTK*, mas também comprovou ser útil aos usuários de *RTK* em rede.

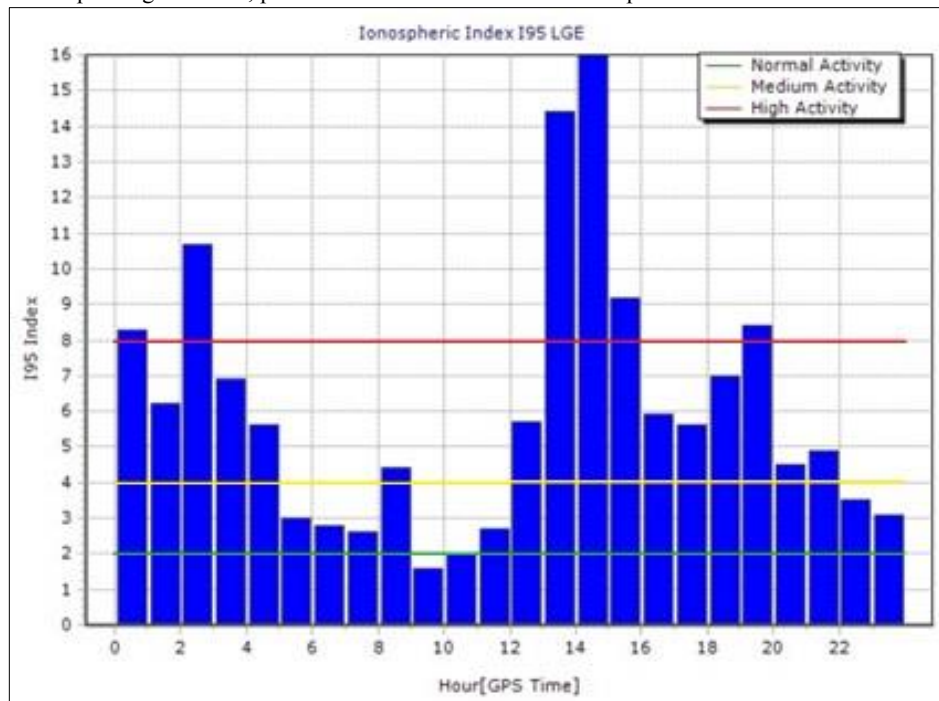
Com a instalação de redes de estações de referência *GNSS* densas, modelos da refração atmosférica foram desenvolvidos. Esses modelos de correção são baseados na solução das ambiguidades das observáveis de fase e são capazes de registrar efeitos atmosféricos diferenciais com acurácia na ordem do milímetro ao centímetro. Os modelos ionosféricos são produzidos para cada satélite individualmente e com uma alta resolução temporal (WANNINGER, 2004).

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):

$$I = \sqrt{I_{LAT}^2 + I_{LON}^2}$$

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 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. Um exemplo do índice é apresentado na Figura 30.

Figura 30 - Exemplo de gráfico I95, proveniente do sistema Trimble Pivot para a rede GNSS/SP no dia 07/05/2014



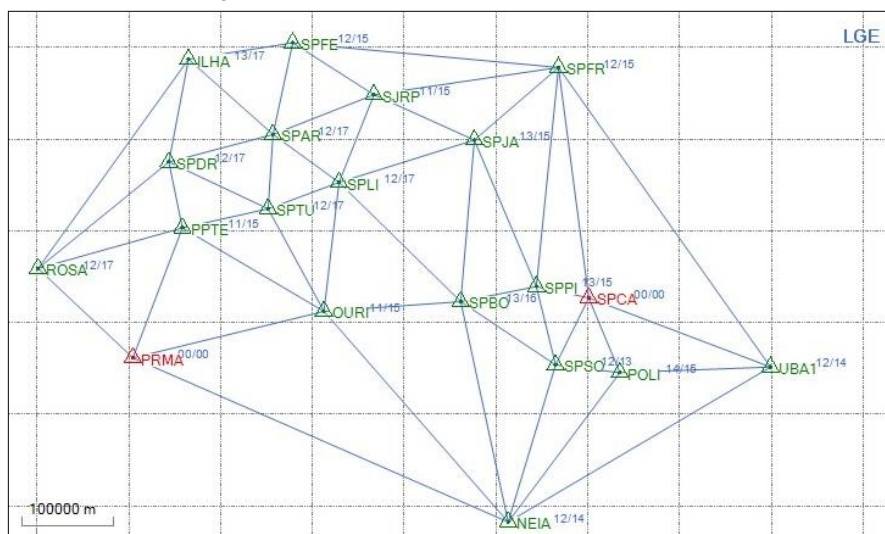
4.2 Métodos

4.2.1 Trimble Pivot

Foram instalados e configurados todos os módulos disponíveis de acordo com a licença de uso adquirida pela FCT/UNESP. Dessa forma, estudos envolvendo manuais técnicos relacionados ao respectivo software foram utilizados para o conhecimento e familiarização com as funções oferecidas pelo sistema ao usuário. Nesta seção serão apresentadas as principais configurações realizadas no referido software.

Para dar início às atividades de armazenamento, processamento e disponibilização de dados da Rede GNSS/SP, primeiramente foram adicionadas 19 das 20 estações que compõem a Rede GNSS/SP, conforme já apresentado na Figura 25. Devido às restrições na versão da licença adquirida pela FCT/UNESP, a estação CHPI (Cachoeira Paulista) não foi adicionada no presente momento, pois o receptor da respectiva estação não é compatível com as permissões concedidas pela referida licença. Em contrapartida a estação PRMA (Maringá), pertencente à RBMC foi adicionada visando uma melhor configuração na geometria das estações. Considerando a configuração atual, em agosto de 2014, as 20 estações gerenciadas pelo sistema *Trimble Pivot* apresentam 164,46 km de distância média entre as linhas de base, valor 100% maior se comparado ao recomendado pela fabricante. A Figura 31 apresenta uma visão pontual das estações que atualmente integram o sistema *Trimble Pivot*.

Figura 31 - Rede GNSS/SP no sistema *Trimble Pivot*



A visualização parcial do módulo *Device Manager* é apresentada na Figura 32, na qual é possível observar que atualmente o sistema possui 20 estações de monitoramento contínuo. A mesma é composta por receptores de dupla frequência, sendo: 3 da fabricante *Leica* (2 GRX1200 e 1 GR25) e 17 da fabricante *Trimble* (4 NetR9, 12 NetR8 e 1 NetR5). Destaca-se que este é o número máximo de estações licenciadas para a FCT/UNESP.

Figura 32 - Tipo de receptores da Rede GNSS/SP

Station Name	Station ID	Station Code	Receiver Type	Decoder Type	Decoder Communication Mode	Firmware
SPSO	19	SPSO	LEICA GR25	RTCM 3	Active - "fire and forget"	Not Available
ILHA	11	ILHA	LEICA GRX1200+GNSS	RTCM 3	Active - "fire and forget"	Not Available
SPBO	12	SPBO	LEICA GRX1200+GNSS	RTCM 3	Active - "fire and forget"	Not Available
ROSA	3	ROSA	TRIMBLE NETR5	Real-time	Active - "fire and forget"	Not Available
NEIA	4	NEIA	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Not Available
OURI	5	OURI	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Not Available
POLI	15	POLI	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Not Available
PRMA	9	PRMA	TRIMBLE NETR8	RTCM 3	Active - "fire and forget"	Not Available
SJRP	2	SJRP	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Nav 4.43 / Boot 3.6
SPCA	13	SPCA	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Nav 4.7 / Boot 3.62
SPFE	25	SPFE	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Not Available
SPFR	10	SPFR	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Not Available
SPJA	6	SPJA	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Not Available
SPLI	14	SPLI	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Not Available
SPPI	18	SPPI	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Nav 4.7 / Boot 3.62
UBA1	8	UBA1	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Not Available
PSTE	1	PSTE	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Not Available
SPAR	7	SPAR	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Nav 4.85 / Boot 4.71
SPDR	16	SPDR	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Not Available
SPTU	17	SPTU	TRIMBLE NETR8	Real-time	Active - "fire and forget"	Not Available

Status Messages: Last 20 Items

Type	Event Time [UTC]	Source	Group	Message Text
i	13/12/2014 07:59:47	ReportScheduler	Reporting	ReportScheduler successfully created report of type I95.
i	13/12/2014 08:59:47	ReportScheduler	Reporting	ReportScheduler successfully created report of type I95.
i	13/12/2014 09:59:48	ReportScheduler	Reporting	ReportScheduler successfully created report of type I95.
i	13/12/2014 10:59:48	ReportScheduler	Reporting	ReportScheduler successfully created report of type I95.
i	13/12/2014 11:59:48	ReportScheduler	Reporting	ReportScheduler successfully created report of type I95.
i	13/12/2014 12:59:44	ReportScheduler	Reporting	ReportScheduler successfully created report of type I95.
i	13/12/2014 13:59:44	ReportScheduler	Reporting	ReportScheduler successfully created report of type I95.
i	13/12/2014 14:59:44	ReportScheduler	Reporting	ReportScheduler successfully created report of type I95.
i	13/12/2014 15:59:45	ReportScheduler	Reporting	ReportScheduler successfully created report of type I95.
i	13/12/2014 16:59:45	ReportScheduler	Reporting	ReportScheduler successfully created report of type I95.
i	13/12/2014 17:59:45	ReportScheduler	Reporting	ReportScheduler successfully created report of type I95.
i	13/12/2014 07:09:09	DBCleanner (RoverIntegrity)	Framework	Retrieving table fragmentation information...
i	13/12/2014 07:09:10	DBCleanner (RoverIntegrity)	Framework	Starting database cleaning by lifetime...

Os receptores adicionados ao sistema foram configurados de modo a permitirem a conexão e transmissão de dados em tempo real (Figura 33 a). Arquivos *RINEX* 2.11 com uma taxa de coleta de 1s são gerados de hora em hora (Figura 33 b) e armazenados temporariamente no mesmo computador onde o *software* está instalado.

Figura 33 - Módulos: GNSS Receiver (a) e Storage (b)

(a) Properties - GNSS Receiver (PPT)

Selected Station	
Selected station	PPT
Receiver Information	
Manufacturer	TRIMBLE
Name	TRIMBLE NETRS
Decoder	
Decoder group	Real-time
Communication Mode	Active - "fire and forget"
Incoming Connection	
Connection type	TCPIP Client
Connection Settings	
Server name	200.145.185.235
Dynamic port number	
Port number	
Automatic reconnect	
Reconnect delay [sec]	
Use IP authentication	
Use a plain password	
Backup Connection	
Use backup connection	
Receiver Control	
Elevation cutoff [°]	
Azimuth dependent cutoff	
Tracking interval	
Remote Access	
Receiver name	
HTTP port	
User name	
Password	
Advanced	
Phase smoothing	
Selected Station	

(b) Properties - Storage (RINEX_1a)

Storage Type	
Storage type	RINEX
Folder	
Storage path	E:\RINEX
Folder structure	Enhanced day
Add station code to folder structure	No
Filtering	Yes
Data rate	1 Hz
Next File	
Start the next observation file after ...	24 h
Lower case only	No
Compress	
Activate compression	No
File Rollover	
File rollover	No
RINEX	
RINEX format	2.11
Store orbit files	Yes
Store meteorological files	No
Use compact RINEX	No
RINEX header	PGM:TRIP 2.5 RunBy: Date:13/12/2014 18:54:14 Marker Name:PPT Marker N
RINEX observations	C1 P2 L2 D2 C2 L1 C5 L5 D1 D5 P1
Correct for clock jumps	No
Customization	
Override station code	Yes
Custom station code	PPT
Storage Integrity	
Use storage integrity	Yes
Retrieval time	3 days
Epoch availability [%]	90

Para realizar o processamento, o sistema utiliza os dados de todas as estações da rede que estão selecionadas no módulo *Synchronizer*. Tal módulo é responsável pela coleta e envio dos respectivos dados para o módulo *Network Processor*, considerado um dos mais importantes módulos do sistema. Ele é o responsável pela criação dos modelos de ionosfera e troposfera para a área de abrangência da rede e consequente geração de correções destes modelos aos usuários do sistema.

O módulo *Network Processor* possui dois modos de operação, *RTK* em rede (*VRS*) e/ou *DGPS* em rede. No modo *RTK* em rede, os tipos de correções possíveis são *VRS*, *RTCM3Net* ou *FKP*. No contexto deste projeto, utiliza-se somente o modo de operação *RTK* em rede (módulo *Network Processor RTK*) abordando o conceito de *VRS* (módulo *RTO Net VRS*). Tal configuração pode ser observada na Figura 34.

Figura 34 - Módulo RTO Net VRS (visão parcial)

Properties - RTO Net VRS [VRS2]

Outgoing Connection	
Connection type	Control line
Connection Settings	
Host IP/Name TNC	Ige-PC
Control line port	6005
Control line mode	Redundancy
Priority	Primary
Performance	
Enable multithreading	Yes
Number of worker threads	4
Maximum allowed delay [sec]	10
Format	
Processing mode	RTK VRS
Output type	RTK VRS
Output format	RTK FKP
General	
Elevation cutoff [']	0
Send GPS	Yes
Send GLONASS (Dense GLONASS)	Yes
Send PBS info in ITRF Current	Yes
Check NMEA Record	
Enable NMEA integrity check	No
Assign to region	No
Null Antenna Handling	
Use null antenna	Yes
Null antenna name	ADNULLANTENNA NONE
Network Configuration	
Mobile Reference Station	
Use mobile reference	No
Processing mode Specifies the processing method of the selected network processor(s). A change of this property disconnects all connected users.	

Apply Close

A conexão com o servidor dos dados foi configurada de modo que o usuário tenha acesso ao mesmo, conectando-se ao IP do servidor (200.145.185.240) e utilizando uma porta específica (2101) para transmissão dos dados. Cada estação de referência da rede tem sua respectiva porta configurada e seu ponto de montagem (*mountpoint*) único (Figura 35).

No *RTK* em rede utilizando *VRS*, o usuário envia sua posição ao centro de controle e este gera os dados da *VRS* e envia ao usuário em campo. Para viabilizar a transferência de informações entre o usuário em campo e o centro de controle, o mesmo necessita utilizar algum dispositivo que permita a comunicação via *internet* na localidade de realização do levantamento. Tal dispositivo pode ser, por exemplo, um modem de celular, garantindo mobilidade ao usuário na área de abrangência da rede.

O sistema Trimble *Pivot* possibilita diferentes configurações para cada um dos módulos existentes, principalmente no módulo responsável pela geração de correções dos modelos troposféricos e ionosféricos da rede (módulo *RTO Net*).

As configurações específicas realizadas no *Trimble Pivot* para os Experimentos 1, 2 e 3 (descritos nas seções 4.2.2, 4.2.3 e 4.2.4) diferem quanto ao módulo *RTO Net VRS*. Este módulo apresenta uma subcategoria denominada *VRS Category* (Figura 37), a qual define o mecanismo de recurso que será aplicado à área de abrangência da rede caso as correções *RTK VRS* da mesma não estiverem disponíveis por algum motivo.

Figura 37 - Módulo *RTK Net VRS*, subcategoria *VRS Category*

Properties - RTO Net VRS [LGE]	
Use mobile reference	Yes
Minimum mobile reference station distance [km]	1
Immediate Output Mode	
Immediate output mode	No
VRS	
Raw Mode	
Raw mode handling	Prohibit raw mode
Minimum number of satellites	Enable fallback to raw mode (default)
Maximum distance [km]	Enable raw mode
Minimum distance [km]	Force raw mode
VRS Mode Station ID	
Increment VRS ID	Yes
RTCM 3.1 Messages	
Position Messages	
Position information output rate [sec]	5
Position message	1005 - ARP without height
Antenna descriptor	1007 + 1033 - combined
RTK Messages	
RTK observables output rate [sec]	1
GPS message	1004 - GPS L1 & L2 extended
GLONASS message	1012 - GLONASS L1 & L2 extended
Ephemeris Messages	
GPS + GLONASS ephemeris	Yes
Ephemeris output rate [sec]	1
System Messages	
System message	No
Transformation Messages	
Transformation	No
VRS Messages	
VRS physical base info	Yes
VRS PBS info output rate [sec]	10
Residual messages	Yes
Residual message output rate [sec]	8
Raw mode handling	
Defines the raw mode handling.	

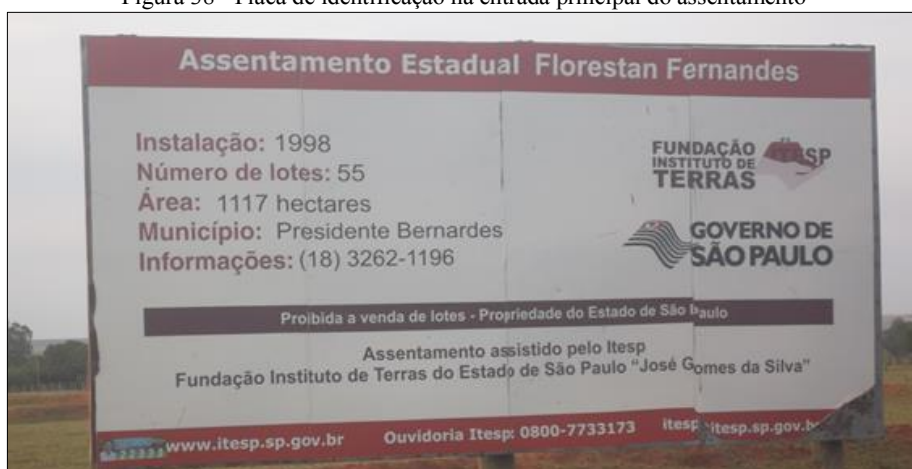
Para o Experimento 1 foi adotado o mecanismo *Prohibit Raw mode*. Uma vez que esta opção está ativada, o sistema não envia nenhum tipo de dados ao usuário em campo, enquanto as correções da rede não estiverem disponíveis. Esta configuração específica foi adotada para que caso haja altas perturbações 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 para o determinado período.

Já para os Experimentos 2 e 3, foi selecionada a opção *Enable fallback to raw mode*. Este mecanismo é a opção *default* do sistema *Trimble Pivot*, seu funcionamento é independente quanto à ocorrência ou não de anormalidades na rede, como perturbações ionosféricas, por exemplo. Em situações que as correções são prejudicadas por algum motivo, o módulo envia ao usuário dados brutos não corrigidos de acordo com a estação de referência mais próxima.

4.2.2 Experimento 1 – Assentamento Florestan Fernandes

Esse 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. O Assentamento foi criado em 1998, fruto da Reforma Agrária na região do Pontal do Paranapanema e possui uma área total de 1117 hectares (Figura 38).

Figura 38 - Placa de identificação na entrada principal do assentamento



O Departamento de Cartografia da FCT/UNESP, em convênio com o ITESP (Instituto de Terras do Estado de São Paulo), implantou uma Área Teste no Assentamento

visando proporcionar infraestrutura para o desenvolvimento das atividades de pesquisa da Universidade, motivo pelo qual tal área foi escolhida para algumas das atividades em campo desta pesquisa. Na Área Teste já foram realizados diversos levantamentos geodésicos e topográficos por docentes, pós-graduandos e graduandos do curso de Engenharia Cartográfica, visando avaliar novas metodologias, equipamentos, entre outros. 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 & Monico (2009) e Pinto (2012).

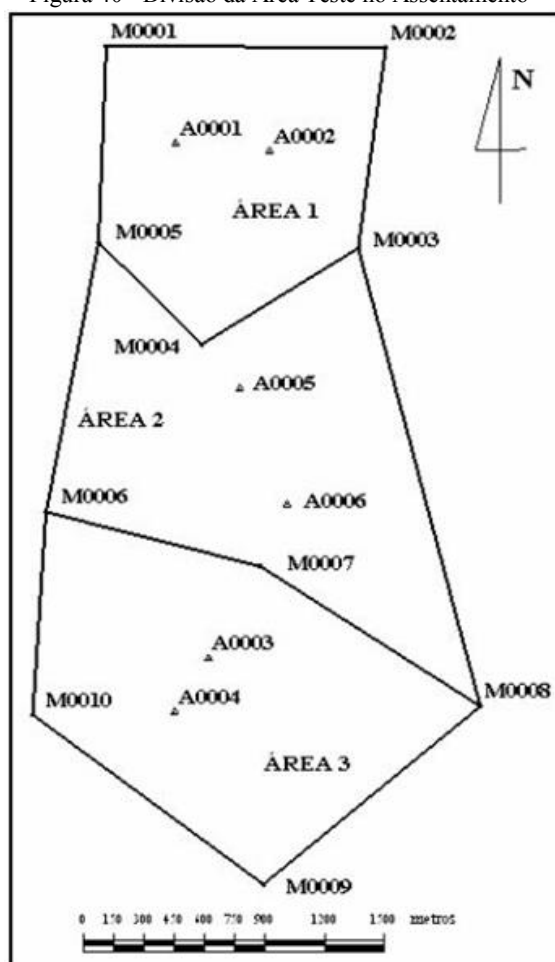
Na Área Teste foram implantados pela FCT/UNESP e ITESP dezesseis marcos de concreto, iguais ao apresentado na Figura 39. Destes vértices, dez simulam ser limitrofes de três propriedades (Área 1, Área 2 e Área 3), ou seja, pontos que definem o perímetro de cada área. Além disso, seis vértices funcionam como apoio básico, pontos que tem suas coordenadas como referência no cálculo dos vértices limitrofes. Cada marco implantado possui um parafuso (Figura 39 b) que possibilita centrar o receptor com maior precisão.

Figura 39 - Marco de concreto (a), em (b) vista superior



A divisão em subáreas ocorreu visando proporcionar situações que ocorrem quando se faz levantamentos de imóveis vizinhos (ISHIKAWA, 2007). A Figura 40 apresenta a divisão da área teste implantada, sendo os vértices limitrofes indicados pela letra M e os vértices de apoio básico pela letra A.

Figura 40 - Divisão da Área Teste no Assentamento

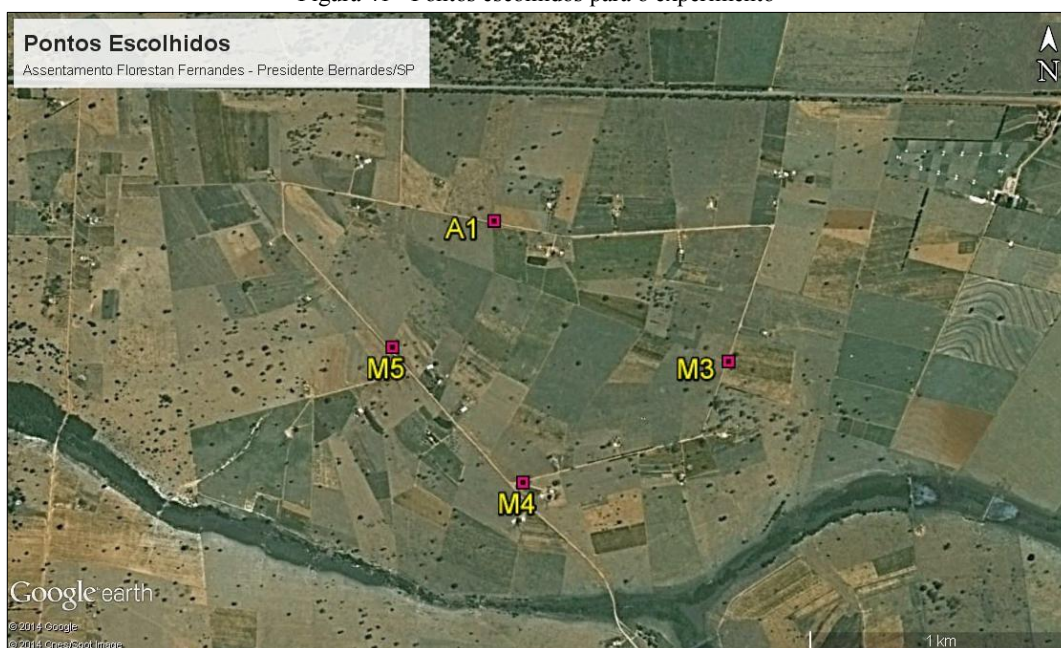


Fonte: Ishikawa (2007)

Para as atividades de coleta de dados neste experimento, 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 marcos de concreto da Área Teste. Nesta visita ficou determinado que os pontos a serem utilizados neste experimento seriam os vértices M3, M4, M5 e ponto de apoio A1 (Figura 41) 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.

Figura 41 - Pontos escolhidos para o experimento



Para a coleta de dados utilizou-se o receptor *Trimble R8 GNSS 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 conforme ilustrado na Figura 42. Em relação ao receptor utilizado no presente experimento, 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, 2013). Os respectivos materiais foram disponibilizados pelo LATOGEO (Laboratório de Astronomia, Topografia e Geodésia) da FCT/UNESP.

Figura 42 - Trimble R8 GNSS e controladora TSC2



A disposição do receptor durante as coletas em cada um dos pontos, bem como algumas características locais são apresentadas nas figuras a seguir.

Figura 43 - Ponto A1



Figura 44 - Ponto M5



Figura 45 - Ponto M4



Figura 46 - Ponto M3



As configurações adotadas no receptor empregado para as coletas foram:

- ✓ Máscara de elevação: 10°;
- ✓ Intervalo de gravação: 1 Hz;
- ✓ Constelação de satélites: *GPS*.

Como metodologia geral desta dissertação, a técnica de posicionamento *RTK* em rede foi empregada tendo por conexão bidirecional externa entre usuário x centro de controle a rede de telefonia móvel via tecnologia *GSM/GPRS*, possibilitando a troca de informações entre usuário e servidor.

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 (DOYs 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 10min 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, no período da tarde às 15h e à noite iniciava-se às 24h (UTC). O tempo total do percurso era em torno de 4 horas por período do dia;
- ✓ Tipo de posicionamento: *RTK* em rede empregando o conceito de *VRS*.

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 41, 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.

4.2.3 Experimento 2 – Terraço do Laboratório de Geodésia Espacial (LGE1)

A ideia inicial deste experimento surgiu da premissa na limitação existente em prever com alto grau de confiabilidade dias específicos para a ocorrência de cintilações de modo a causar interferências na transmissão dos sinais *GNSS* e consequentemente degradar o posicionamento. A julgar por ser o tema central desta pesquisa, as investigações com relação ao desempenho do *RTK* em rede sob períodos em que há ocorrências da cintilação, seria necessária uma campanha de coleta de dados em vários dias consecutivos, visando um aumento das probabilidades de correspondência com os períodos de ocorrência da cintilação.

Este experimento consistiu na instalação de um receptor num local onde houvessem precedentes de perturbações ionosféricas e que o mesmo possa coletar dados de forma contínua empregando a técnica *RTK* em rede, num período de tempo capaz de

proporcionar um conjunto de dados consistente, a fim de viabilizar avaliações quanto ao comportamento deste método. Dessa forma, esperava-se que com o presente experimento o desempenho do *RTK* em rede, de alguma forma, apontasse os efeitos da cintilação em suas coordenadas.

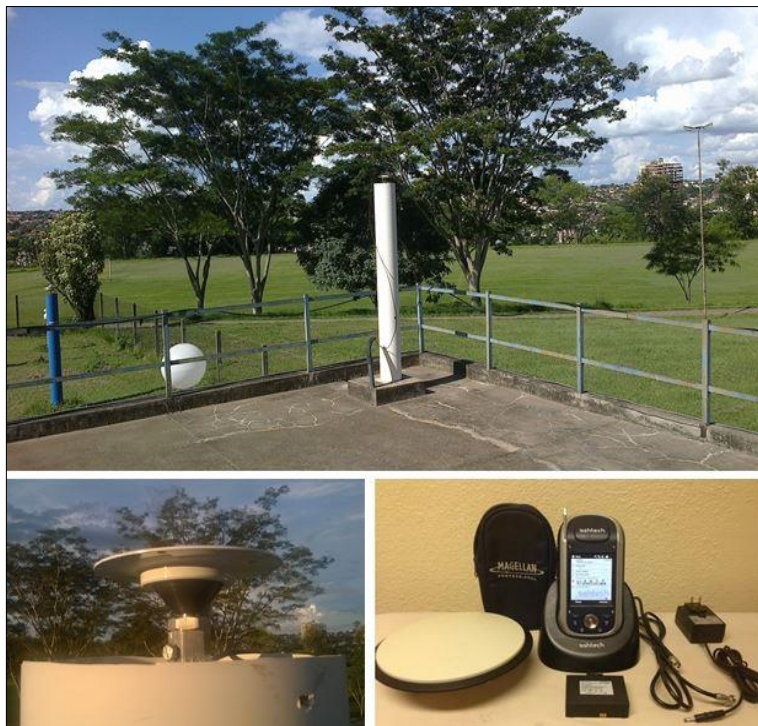
O local escolhido para este experimento foi determinado sob os critérios de infraestrutura disponível que facilitassem o monitoramento e manutenção do equipamento, haja vista que a campanha englobaria vários dias, sendo necessária uma constante supervisão do equipamento quanto ao seu correto funcionamento. Na Figura 47 é apresentado o local escolhido. Trata-se do Laboratório de Geodésia Espacial (LGE1) localizado no câmpus da FCT/UNESP em Presidente Prudente, que atende as premissas para a realização deste experimento.

Figura 47 - Prédio do Laboratório de Geodésia Espacial (LGE1)



No terraço do LGE1 existem pilares de concreto dotados com pinos de centragem forçada, comumente empregados em pesquisas na área de Geodésia na FCT/UNESP. Um destes pilares foi utilizado para a instalação da antena *Antcom G5_52AT1 GNSS* conectada ao receptor *Ashtech Magellan ProMark100 L1*. A Figura 48 apresenta uma visão geral do pilar utilizado, bem como dos equipamentos e acessórios.

Figura 48 - Infraestrutura do Experimento 2



O receptor utilizado integra modem *GSM/GPRS* já habilitado para conexões via *internet*, dispensando um modem externo, como um celular, ao contrário do Experimento 1. Sistema operacional *Windows Mobile* e *software* de campo *ProMark Field* para configurações das coletas. As especificações do fabricante quanto à precisão para levantamentos *RTK* são as seguintes: $0,01\text{ m} + 1\text{ ppm}$ na componente horizontal e $0,02\text{ m} + 1\text{ ppm}$ na componente vertical (ASHTECH MAGELLAN, 2011). Todos os insumos para a realização deste experimento foram disponibilizados pelo Projeto Temático FAPESP.

As configurações adotadas para as coletas seguiram os seguintes critérios:

- ✓ Taxa de gravação: 30s;
- ✓ Arquivos gravados: *.csv* (arquivo de pontos);
- ✓ Máscara de elevação: 15° ;
- ✓ Link de comunicação: *GSM/GPRS*;
- ✓ Correções disponibilizadas pelo sistema *Trimble Pivot*;
- ✓ Tipo de posicionamento: *RTK* em Rede empregando o conceito de *VRS*.

As coletas se iniciaram no dia 18 de outubro de 2013 e estenderam-se até março de 2014. O receptor permaneceu coletando dados continuamente e ligado diretamente a uma fonte externa de energia elétrica para independência da bateria interna como única fonte de alimentação.

A Figura 49 apresenta os meses de outubro de 2013 até março de 2014, em destaque os dias em que houve dados coletados. As células em branco indicam ausência de dados para o respectivo dia. Eventos como interrupção de energia elétrica, manutenção do equipamento, falha na supervisão, uso em testes paralelos ou outros eventos que venham a tornar os dados indisponíveis ocorreram durante o período do experimento.

Figura 49 - Período de coleta dos dados para o Experimento 2

OUTUBRO - 2013						
D	S	T	Q	Q	S	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

NOVEMBRO - 2013						
D	S	T	Q	Q	S	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

DEZEMBRO - 2013						
D	S	T	Q	Q	S	S
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

JANEIRO - 2014						
D	S	T	Q	Q	S	S
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

FEVEREIRO - 2014						
D	S	T	Q	Q	S	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	

MARÇO - 2014						
D	S	T	Q	Q	S	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

Os dados das estações de monitoramento da cintilação empregadas neste experimento serão de PRU1, PRU2 e PRU3. Tais estações encontram-se implantadas dentro do câmpus da FCT/UNESP, sendo PRU1 localizada no mesmo terraço do prédio utilizado deste experimento. Ao contrário de PRU1 e PRU2, destaca-se que a estação PRU3 caracteriza-se por ser uma estação provisória, implantada para alguns experimentos no contexto do Projeto *CIGALA/CALIBRA*. Sua permanência no referido local ocorreu no período de agosto de 2013 a fevereiro de 2014, posteriormente sua localização foi alterada.

Pode-se observar na Figura 50 a localização das estações de monitoramento da cintilação PRU1, PRU2 e PRU3 além da estação PPTE, integrante da Rede *GNSS/SP* e empregada como base para a geração da *VRS*. Nota-se que toda a infraestrutura deste experimento está implantada num raio menor que 300 m de distância da estação base PPTE.

Figura 50 - Local do Experimento 2



4.2.4 Experimento 3 – Terraço da Central de Laboratórios do Departamento de Cartografia (CLDC)

Em linhas gerais, este experimento compartilha os objetivos propostos pelo Experimento 2, porém tem-se o diferencial na utilização de um receptor de dupla frequência e um menor período de coleta dos dados para análises mais pontuais.

As dependências do prédio da Central de Laboratórios do Departamento de Cartografia (CLDC) da FCT/UNESP apresentaram os critérios pré-estabelecidos para a instalação do equipamento que serão descritos na sequência. No referido prédio há um terraço amplamente utilizado para o desenvolvimento de pesquisas na área de Ciências Cartográficas, como a Fotogrametria e Geodésia, tendo disponível sua infraestrutura dotada de um campo de calibração para câmaras fotogramétricas e pilares de concreto com pinos de centragem forçada comumente utilizados em atividades de posicionamento.

A Figura 51 apresenta o local escolhido, bem como a disposição do equipamento num dos pilares existentes no terraço.

Figura 51 - Central de Laboratórios do Departamento de Cartografia (CLDC)



Neste experimento utilizou-se o receptor *Altus APS-3 GNSS L1/L2*, o qual possui integrado opções sem fio, como *GSM/GPRS* e *Bluetooth*, configurável a partir da controladora *Carlson SurvCE*. Este receptor atua como base ou *rover*, tendo como opções de comunicação o rádio UHF e modem de celular. Para levantamentos *RTK*, o receptor apresenta as seguintes especificações: 0,01 m + 1 ppm na componente horizontal e 0,02 m + 1 ppm na componente vertical (ALTUS, 2014). Esse experimento foi realizado no contexto do Projeto *CALIBRA*.

Para realizar o pós-processamento dos dados foram utilizados os softwares PPSDK (*Post Processing Software Development Kit*) versão 3.2 e a biblioteca de análises *RxTools 1.10*. Esses softwares são capazes de manipular os arquivos *.SBF*, formato nativo do dados coletados por receptores da fabricante *Septentrio*.

As coletas foram realizadas em 14 dias do mês de março de 2014, exclusivamente no período noturno. Conforme literatura especializada o mês/período em questão apresenta uma alta atividade ionosférica no hemisfério sul, propício ao que se propõe no presente experimento. As configurações adotadas para as coletas seguiram os seguintes critérios:

- ✓ Taxa de gravação: 1 Hz;
- ✓ Arquivos gravados: dados brutos *.SBF* (*Septentrio Binary File*);
- ✓ Máscara de elevação: 15°;
- ✓ Link de comunicação: *GSM/GPRS*;
- ✓ Correções disponibilizadas pelo sistema *Trimble Pivot*;
- ✓ Tipo de posicionamento: *RTK* em Rede empregando o conceito de *VRS*.

O receptor era ligado no começo da noite, por volta das 21h UTC, permanecendo até o término de duração da bateria interna. Na manhã seguinte, a manutenção do receptor era feita: backup dos dados armazenados e recarga da bateria para a próxima coleta.

A Figura 52 apresenta o calendário do mês de março de 2014, em destaque os 14 dias em que houve coleta de dados. Nota-se que não há dados para os dias 19, 20 e 21. Este fato se deve à chuva no horário programado para que o receptor fosse ligado. Uma vez que o receptor foi instalado num lugar onde o acesso somente é feito com auxílio de uma escada em alumínio de 2,5 m, a coleta para os dias chuvosos foi suspensa por critérios de segurança.

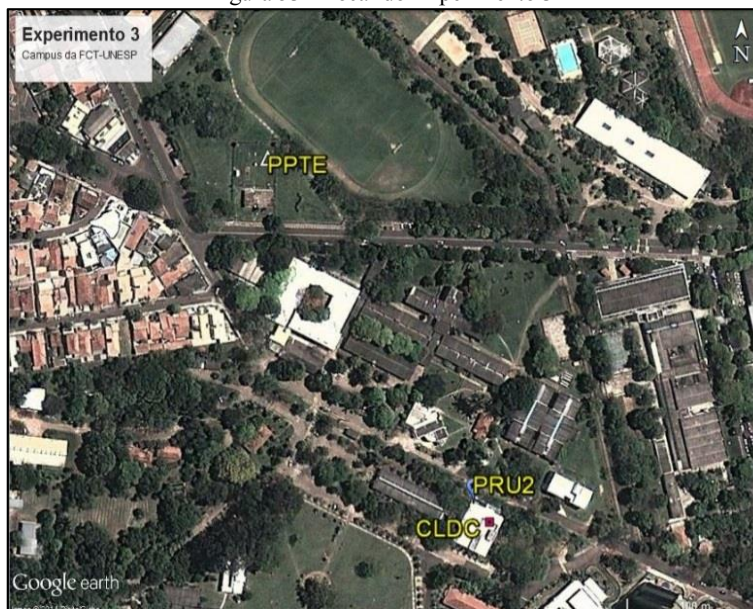
As coletas não foram realizadas no primeiro dia do mês e nem após o dia 27 devido ao uso do receptor em outros experimentos no contexto do Projeto *CALIBRA*.

Figura 52 - Datas das coletas realizadas em março de 2014

D	S	T	Q	Q	S	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

Conforme mencionado na seção 4.2.3, as estações PRU1, PRU2 e PRU3 encontram-se implantadas dentro do câmpus da FCT/UNESP. A estação PRU2 está localizada no mesmo terraço do prédio da CLDC, próxima ao pilar usado neste experimento. Na Figura 53 pode-se observar a localização da estação PRU2, bem como do pilar CLDC usado neste experimento, além da estação PPTE que integra a Rede *GNSS/SP* e empregada como base para a geração da *VRS*.

Figura 53 - Local do Experimento 3



5 RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 Experimento 1 – Assentamento Florestan Fernandes

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 4.2.2. A seção 5.1.1 apresenta uma visão geral dos eventos de cintilação no período de realização do experimento. Na seção 5.1.2 os resultados referentes ao período de inicialização no ponto A1 serão apresentados e por fim na seção 5.1.3 as análises relativas ao desempenho do posicionamento *RTK* em rede.

5.1.1 Indicativo de cintilação ionosférica

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° (análogo ao selecionado para os levantamentos).

Nas Figuras 54, 55 e 56 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.

Figura 54 - Índice S4 para o DOY 297

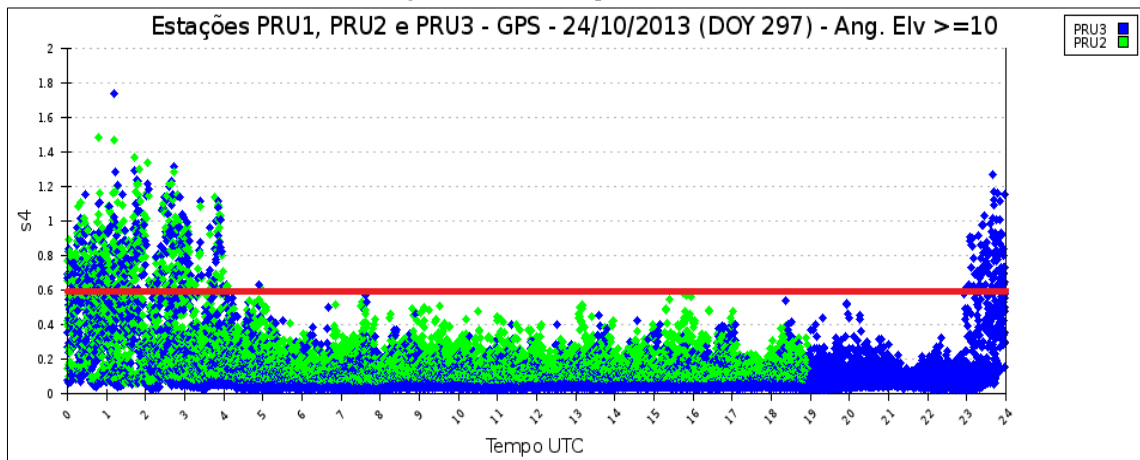


Figura 55 - Índice S4 para o DOY 304

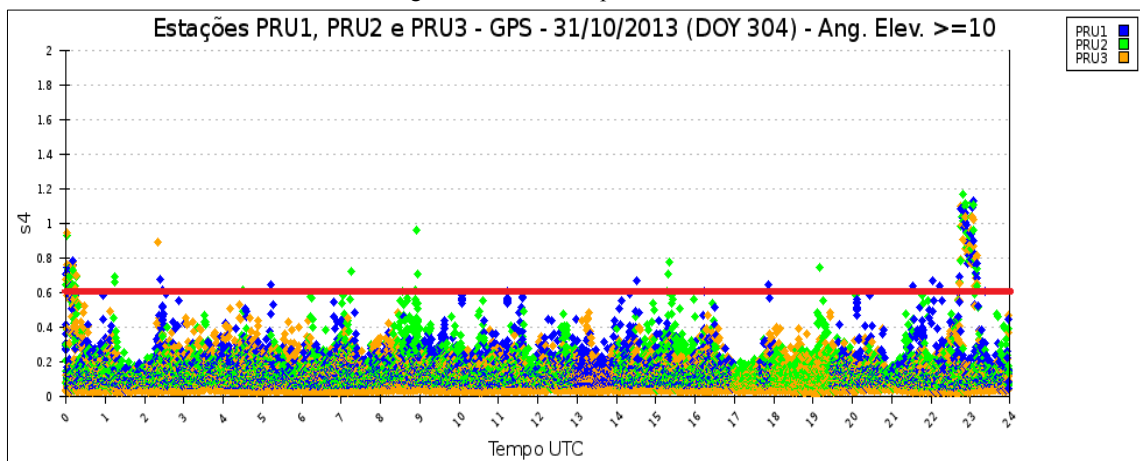
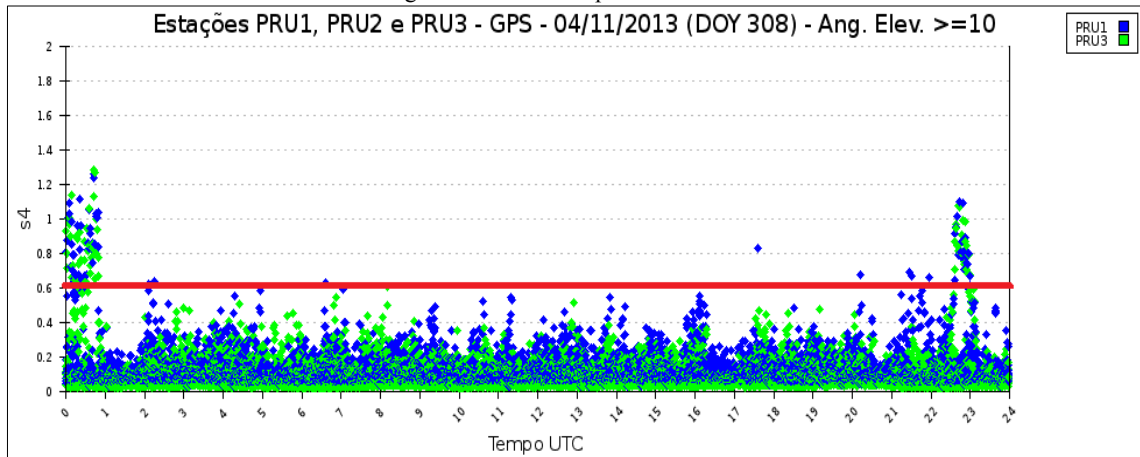


Figura 56 - Índice S4 para o DOY 308



Nota-se que a disponibilidade integral dos dados das estações de monitoramento só ocorreu para PRU3 nos três dias consultados, dessa forma essa estação será empregada para as análises seguintes. A estação PRU1 apresentou ausência de dados para DOY 297 e a estação PRU2 para DOY 308. 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.

Analogamente, conforme apresentado para o índice S_4 , tem-se nas Figuras 57, 58 e 59 os valores do índice σ_ϕ . A linha vermelha mostra o limiar de 0,3, também empírico, para a ocorrência de cintilação moderada/forte. Mais uma vez, nota-se a ocorrência muito provável de cintilação durante parte do período noturno.

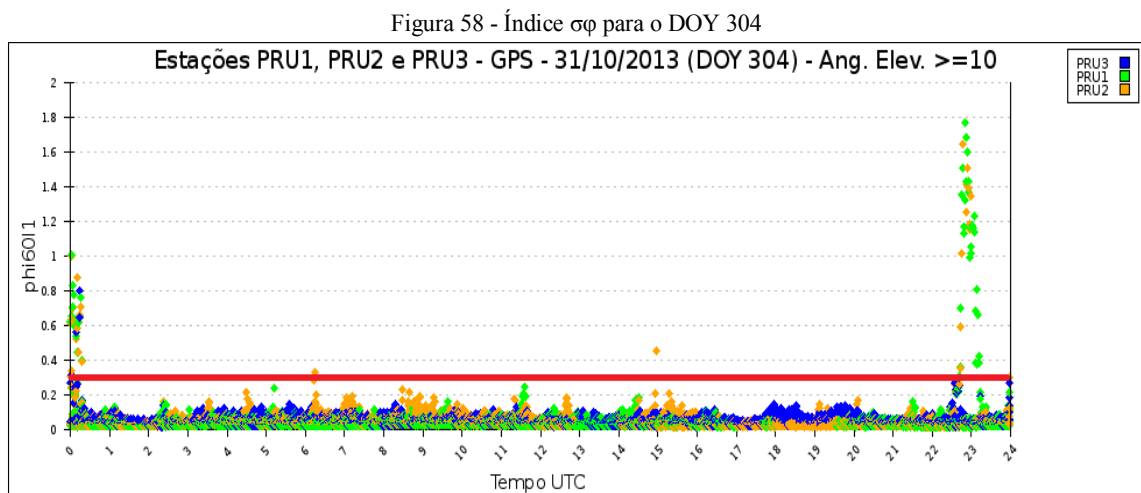
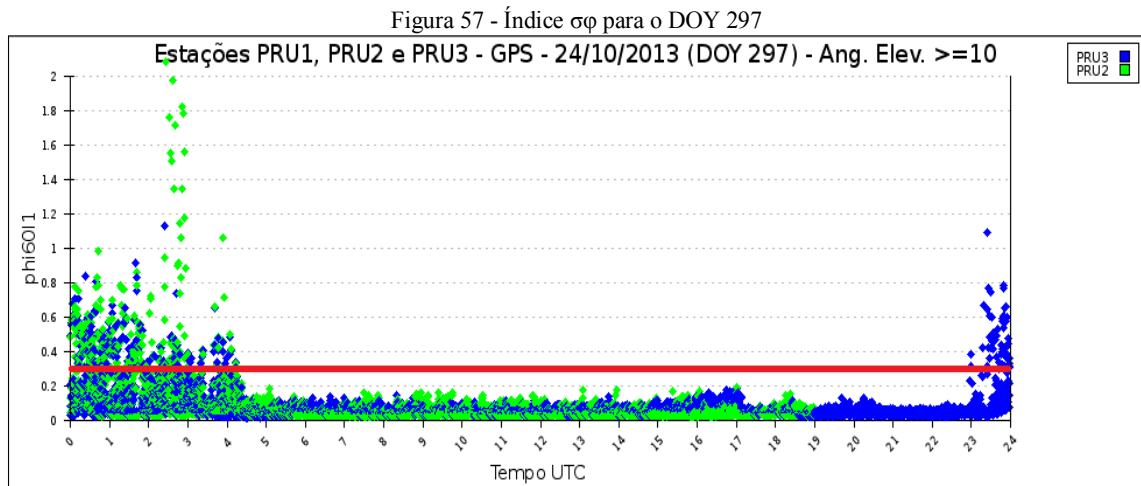
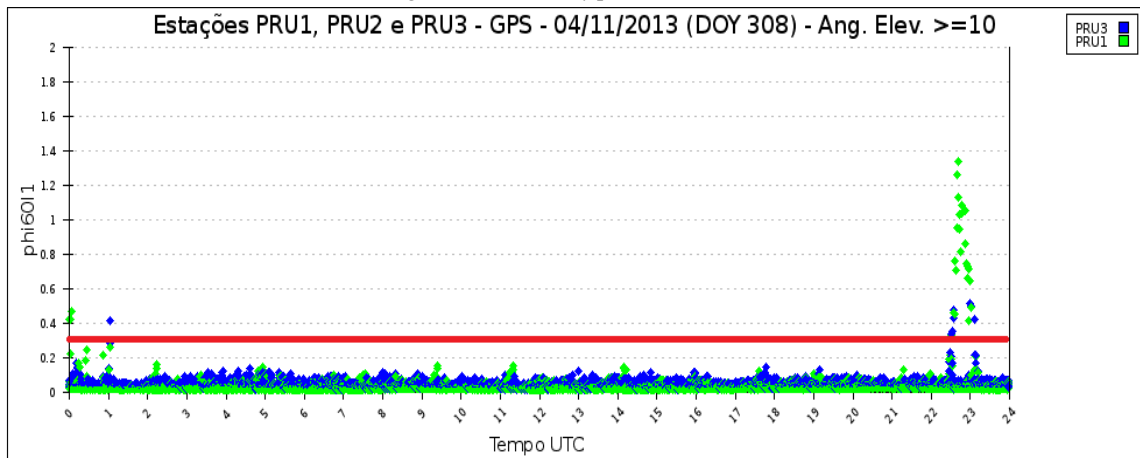


Figura 59 - Índice σ_ϕ para o DOY 308

De acordo com ITU (2013), 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.

Em auxílio aos índices S_4 e σ_ϕ , são apresentados os valores calculados pelo sistema *Trimble Pivot* para o índice I95 no contexto da Rede GNSS/SP. Assim, os valores do I95 fornecidos são apresentados nas Figuras 60, 61 e 62.

Figura 60 - Índice I95 da rede GNSS/SP para DOY 297

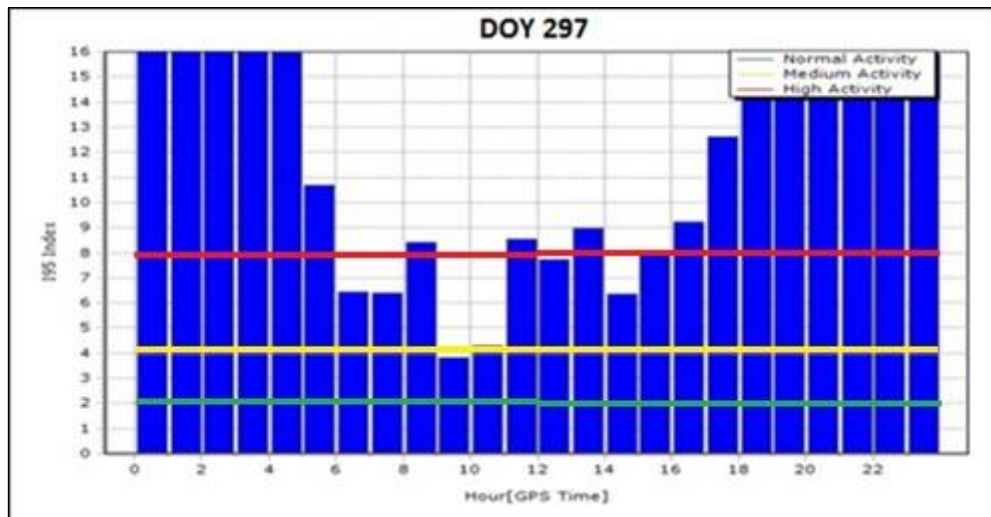


Figura 61 - Índice I95 da rede GNSS/SP para DOY 308

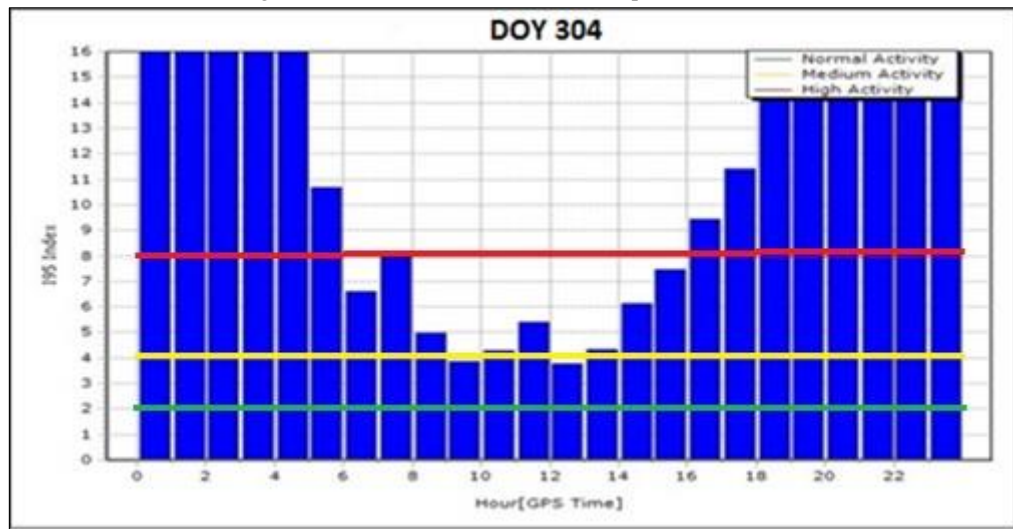
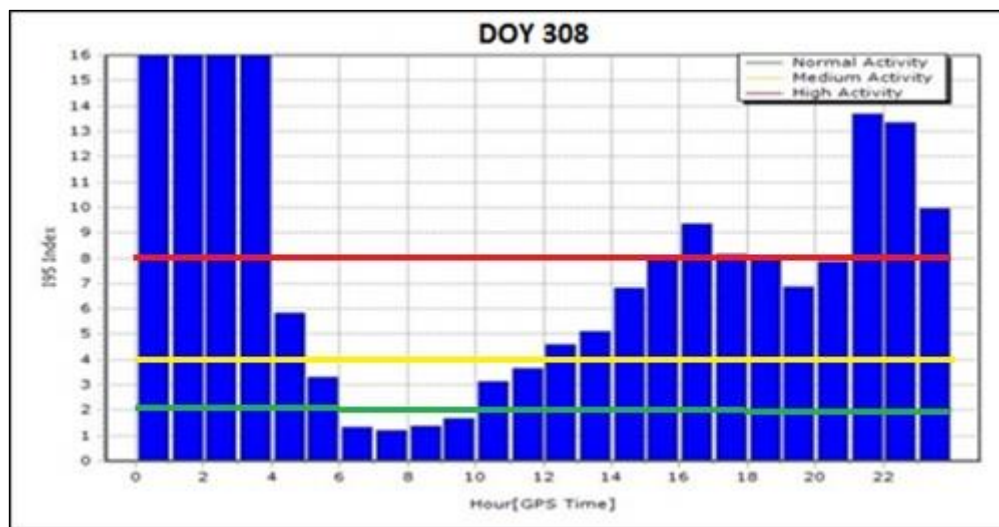


Figura 62 - Índice I95 da rede GNSS/SP para DOY 304



Ao analisar os gráficos constantes nas Figuras 60, 61 e 62, 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 apresentaram uma alta atividade ionosférica para o período após as 16h UTC, com uma atenuação no terceiro dia para o mesmo horário.

O primeiro dia 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 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 foi 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 às 9h UTC, segundo o limiar de classificação este intervalo é considerado de atividade ionosférica normal, apresentando as melhores condições para o posicionamento.

5.1.2 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 4.2.2 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	Passagem Por A1	Tempo de Inicialização			Horário de Início do Circuito (UTC)
			1°	2°	3°	
24/10/2013 (DOY 297)	Manhã	1° Vez	2s	35s *	1min06 s *	9h16min
		2° Vez	7s	3min35s	16s	11h26min
	Tarde	1° Vez	13s	56s *	18s	14h47min
		2° Vez	2min40s	2min39s *	27s	16h49min
	Noite	1° Vez	SC	SC	SC	23h03min

		2° Vez	SC	SC	SC	00h30min
31/10/2013 (DOY 304)	Manhã	1° Vez	10s	18s	3min50s *	8h55min
		2° Vez	1min40s	24s	20s	10h40min
		1° Vez	16s	38s	1min21s	15h00min
	Tarde	2° Vez	51s	17s	16s	16h26min
		1° Vez	SC	SC	SC	23h00min
	Noite	2° Vez	SC	SC	SC	00Hh20min
01/11/2013 (DOY 308)	Manhã	1° Vez	15s	32s *	16s	8h52min
		2° Vez	21s	18s	24s	10h10min
	Tarde	1° Vez	37s	1min18s *	53s	14h50min
		2° Vez	25s	24s	24s	16h15min
	Noite	1° Vez	SC	SC	SC	22h40min
		2° Vez	SC	50s	4min12s	00h10min

SC: sem conexão com o centro de controle

*: perda de dados

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 4min12s. 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* e apresentada em detalhes na seção 4.2.1. Essa configuração impediu que o usuário em campo estabelecesse conexão bidirecional com o centro de processamento e consequentemente 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, o terceiro dia apresentou os menores efeitos ionosféricos na área de abrangência da rede.

5.1.3 Desempenho do GNSS no posicionamento

Primeiramente são apresentadas considerações quanto às coordenadas de referência tidas como verdadeiras, posteriormente na forma de EMQ (Erro Médio Quadrático) as análises quanto à acurácia do desempenho empregando *RTK* em rede serão discutidas.

As coordenadas de referência dos pontos da Área Teste, consideradas como verdadeiras para as análises feitas nesta seção 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

Coordenadas de Referência - SIRGAS 2000						
Ponto	N [m]	σ [m]	E [m]	σ [m]	h [m]	σ [m]
A1	7535431,495	0,0022	428311,7	0,0038	386,6008	0,0080
M5	7534942,839	0,0024	427928,5	0,004	374,1305	0,0084
M4	7534433,959	0,0026	428440,9	0,0041	369,0408	0,0089
M3	7534913,06	0,0024	429221,8	0,0039	381,6295	0,0086

Fonte: Pinto (2012)

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:

$$EMQ^2 = \sigma^2 + b^2,$$

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

Na Figura 63 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.

Figura 63 - Estações próximas ao local do experimento



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 4.2.2.

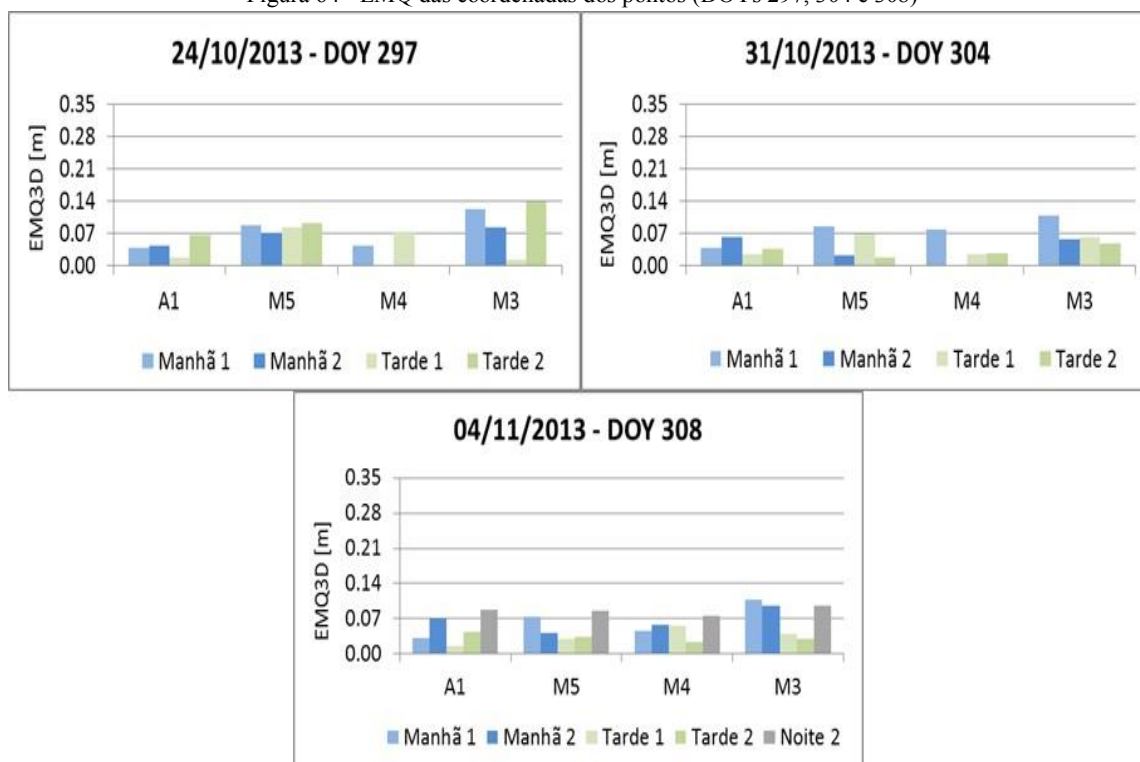
Tabela 3 - Distância até PPTE e valores de acurácia de acordo com especificações do equipamento

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					

Seguindo a metodologia apresentada na seção 4.2.2, 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.

Na Figura 64 são apresentados os gráficos relacionados à acurácia do posicionamento, na forma do EMQ no sistema local (componentes E, N e Up), obtido para cada uma das duas passagens pelo circuito durante o respectivo período do dia. 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*.

Figura 64 - EMQ das coordenadas dos pontos (DOYs 297, 304 e 308)

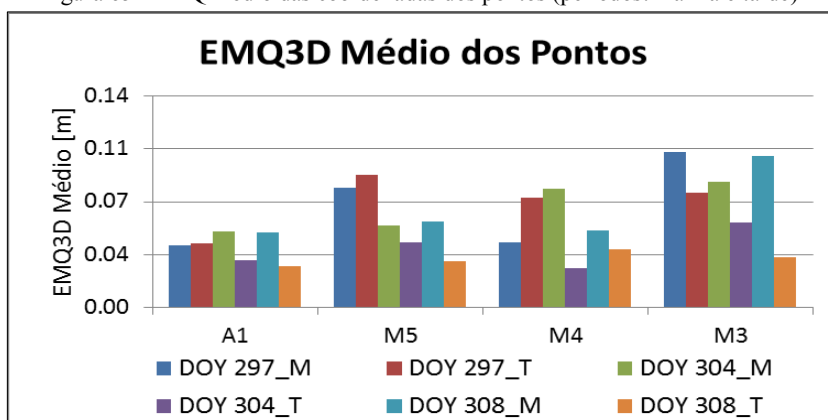


A primeira observação acerca dos resultados apresentados na Figura 64 diz respeito à ausência de parte dos dados em determinados períodos, por hora serão feitas as considerações acerca dos períodos da manhã e tarde, sendo o período noturno tratado adiante nesta seção.

O ponto M4 apresenta ausência de dados em alguns períodos da coleta, por exemplo, para Manhã_2 e Tarde_2 de DOY 297. 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 10min 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.

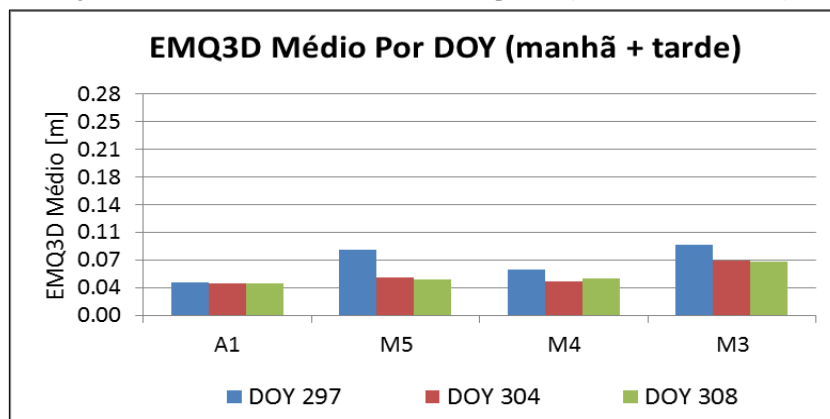
Na Figura 65 são apresentados os valores do EMQ médio, com base nos valores apresentados na Figura 64, para cada um dos pontos nos períodos da manhã e tarde, foi feita a média do EMQ (componentes E, N e Up) considerando as duas passagens pelo circuito.

Figura 65 - EMQ médio das coordenadas dos pontos (períodos: manhã e tarde)



Conclui-se pela análise da Figura 65 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 66 apresenta o valor um EMQ médio para cada um dos dias do experimento considerando o conjunto dos períodos manhã e tarde.

Figura 66 - EMQ médio das coordenadas dos pontos (DOYs 297, 304 e 308)



A Figura 66 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 66 mostraram-se satisfatórios quanto à acurácia do posicionamento para DOY 304 e 308 principalmente.

Em relação ao período noturno, pela Figura 64 observa-se a ausência total destes dados para os dois primeiros dias do experimento e parcialmente para o terceiro dia. Como já citado na seção 5.1.1 há indicativo de cintilação para tais períodos de acordo com os dados da estação de monitoramento PRU3 e índice I95 para a Rede GNSS/SP. Para uma visualização pontual, as Figuras 67, 68 e 69 apresentam o índice S_4 para o intervalo das 22h até 2h UTC, para cada um dos três dias do Experimento 1. As linhas destacadas em amarelo e vermelho correspondem ao horário de início da primeira e segunda tentativa de passagem pelo circuito.

Figura 67 - Intervalo 22h às 02h para o DOY 297

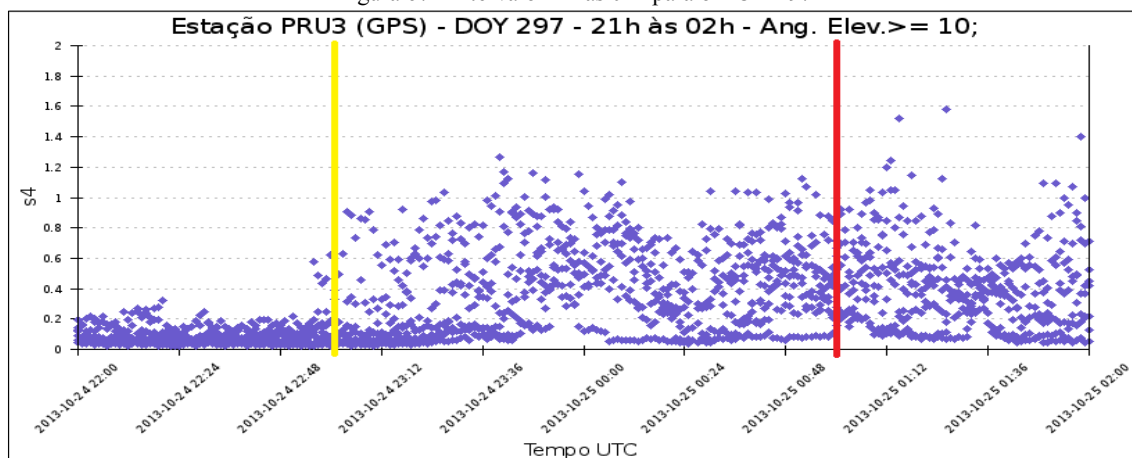


Figura 68 - Intervalo 22h às 02h para o DOY 304

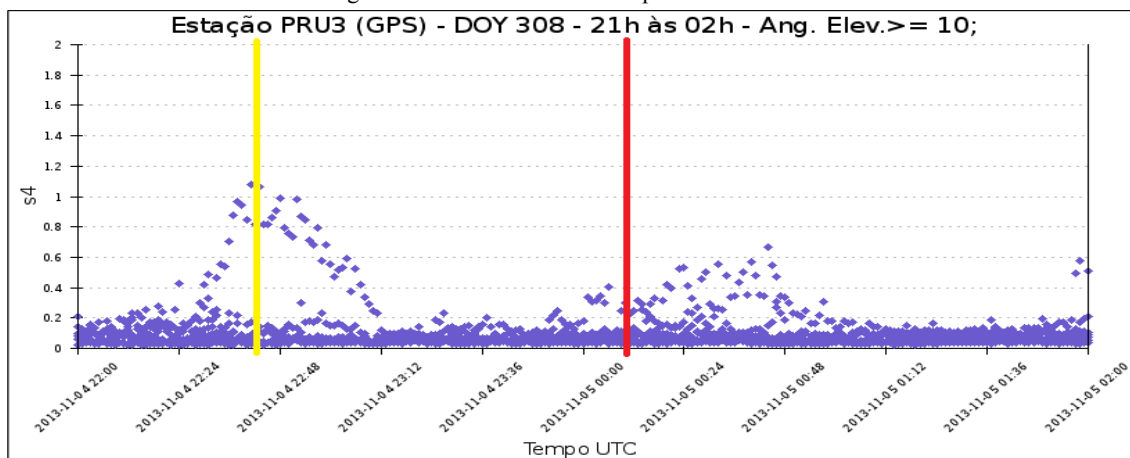
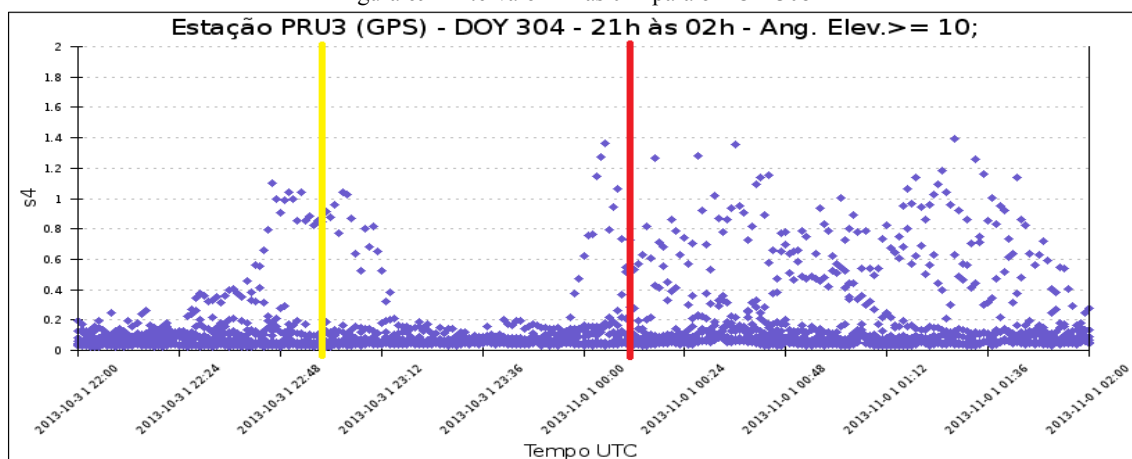


Figura 69 - Intervalo 22h às 02h para o DOY 308

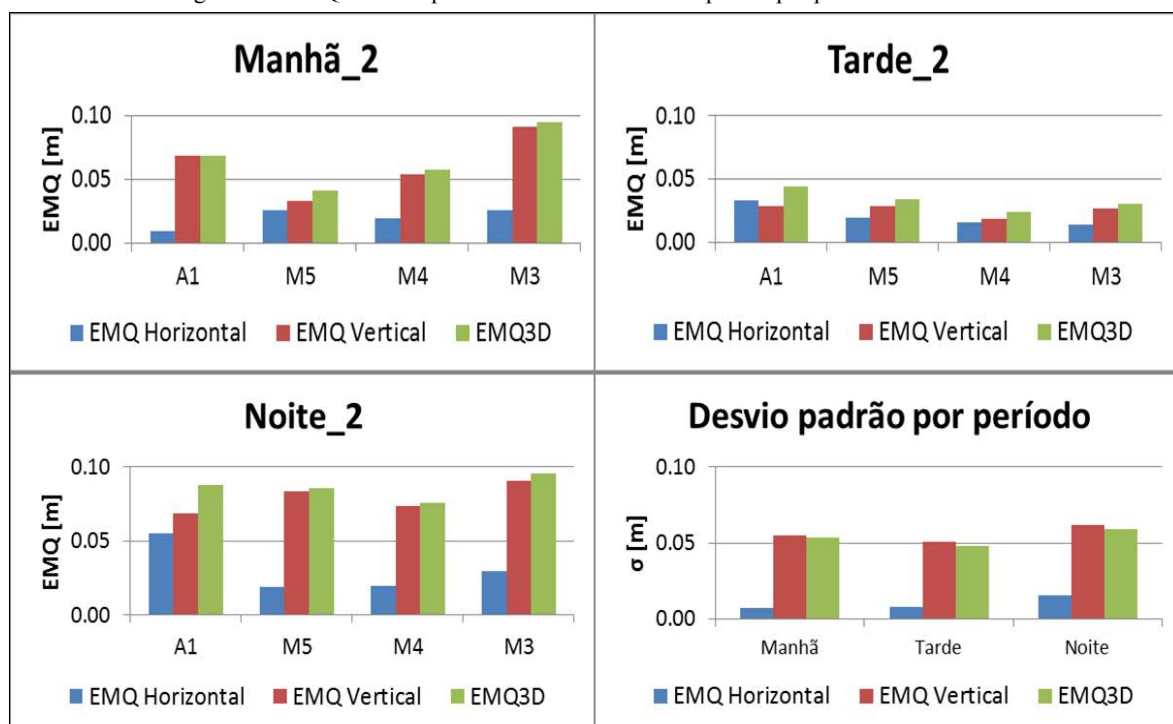


As tentativas de passagem foram determinadas segundo a inicialização no ponto A1. Em caso de sucesso na solução das ambiguidades o levantamento prosseguia para o próximo ponto e caso o tempo de espera pela inicialização fosse superior a 20min a passagem pelo circuito era abortada. Em nenhum caso a inicialização 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 68 nota-se que o índice S_4 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 serão apresentadas na Figura 70, resultados obtidos na forma do EMQ para as componentes horizontal e vertical 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.

Figura 70 - EMQ e desvio padrão das coordenadas dos pontos por período do DOY 308



Pela análise dos resultados apresentados na Figura 70 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, 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 do equipamento.

5.2 Experimento 2 – Terraço do Laboratório de Geodésia Espacial (LGE1)

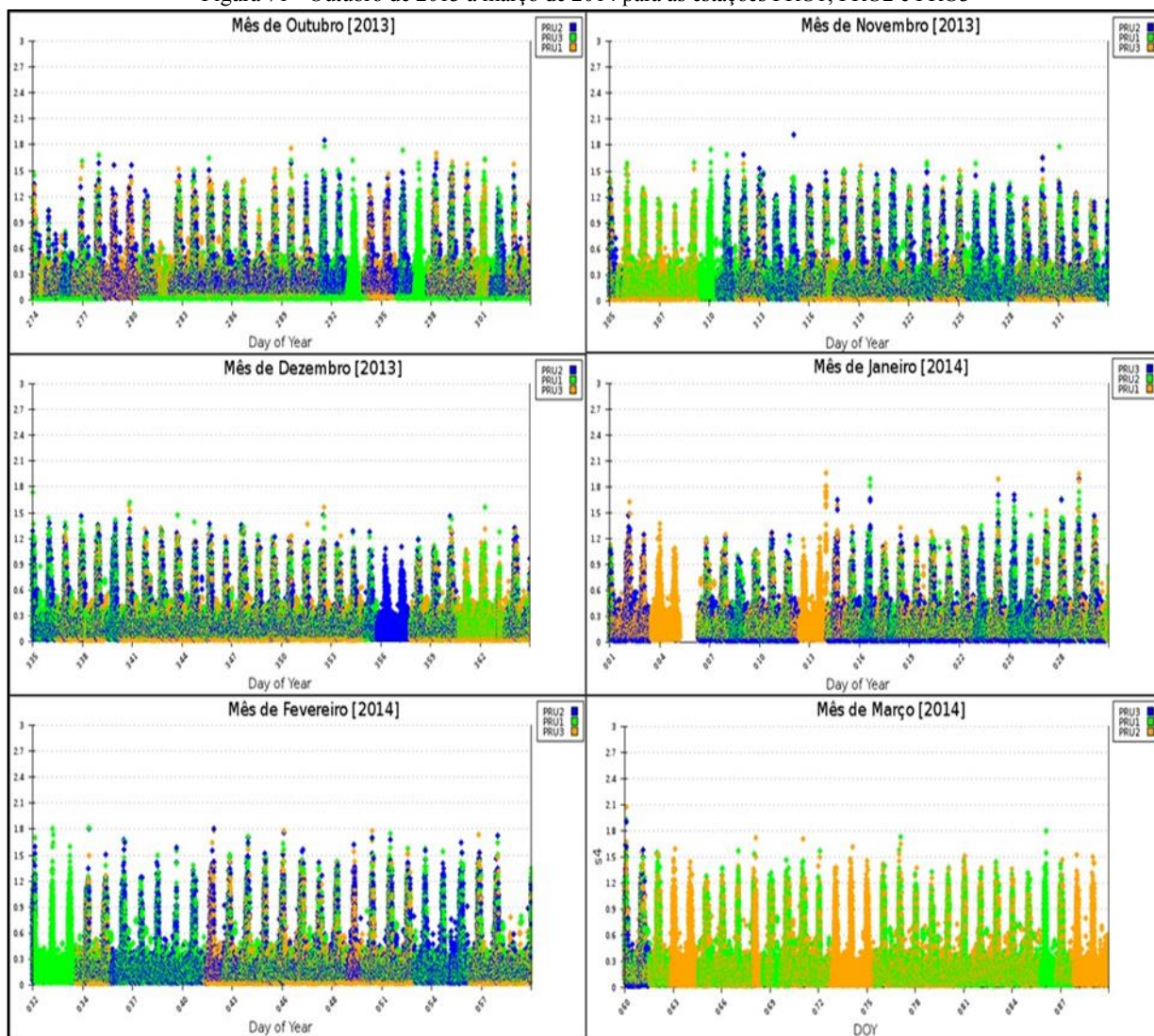
Nesta seção serão apresentados os resultados e análises sobre o experimento desenvolvido no terraço do prédio do laboratório LGE1, conforme metodologia apresentada

na seção 4.2.3. A seção 5.2.1 aborda a visão geral dos eventos de cintilação no período de realização do experimento e a seção 5.2.2 apresenta os resultados e análises relativas ao desempenho do posicionamento *RTK* em rede.

5.2.1 Indicativo de cintilação ionosférica

Foram realizadas consultas à *ISMR Query Tool* de modo a selecionar os dados de interesse para o período do experimento, de acordo com o seguinte padrão de configuração: estações PRU1, PRU2 e PRU3, período de 24 horas, índice S_4 e ângulo de elevação igual a 15° . Inicialmente os dados de monitoramento da cintilação armazenados pelas três estações citadas serão considerados com objetivo de uma maior representatividade para que correspondências sejam observadas com os dias de coletas. A Figura 71 apresenta o comportamento da cintilação mês a mês, de outubro de 2013 a março de 2014.

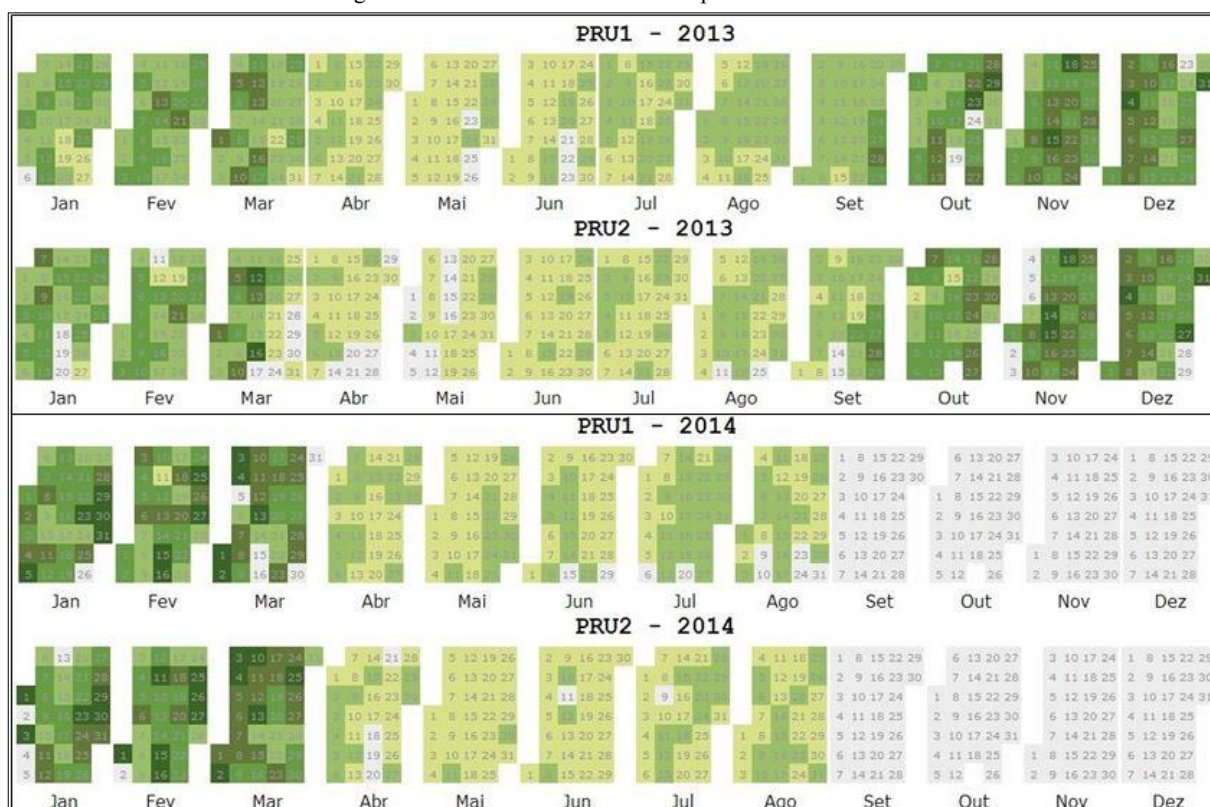
Figura 71 - Outubro de 2013 a março de 2014 para as estações PRU1, PRU2 e PRU3



Um comportamento sistemático é observado nos meses apresentados na Figura 71. Nota-se a ocorrência de picos diários de cintilação com valores superiores a 1 para o índice S_4 , algo esperado para esta época de alta atividade ionosférica. Em todos os meses os índices ultrapassam em mais de 50% o limiar considerado forte ($S_4 > 1$), e em determinadas ocasiões é observado que o índice chega a 1,8.

O aplicativo *Visão de Calendário*, presente na ferramenta *ISMR Query Tool*, permite a visualização da média diária do índice S_4 . Esta abordagem é apresentada na Figura 72 para os dados disponíveis dos anos de 2013 e 2014 das estações PRU1 e PRU2. A visualização para PRU3 não está disponível para este aplicativo da ferramenta *ISMR Query Tool*. Os tons de verde indicam os níveis de cintilação da seguinte maneira: tons mais claros indicam fraca cintilação, tons mais escuros indicam cintilação forte e as células em cinza indicam ausência de dados.

Figura 72 - Média diária do índice S_4 para PRU1 e PRU2



Observa-se na Figura 72 a ocorrência de forte cintilação nos períodos de setembro a março de forma conjunta para as estações e anos apresentados, sendo observado que no mês de outubro a ocorrência de dias com médias superiores a setembro é significativamente maior.

Em contrapartida, períodos de baixa cintilação se iniciam em abril, estendendo-se até agosto, conforme o esperado segundo Matsuoka (2007).

Numa correspondência entre a Figura 49 e Figura 72 constata-se a ocorrência de forte cintilação no período de coleta dos dados, fator que confirma e viabiliza a proposta deste experimento.

5.2.2 Desempenho do GNSS no posicionamento

Para as análises referentes ao desempenho no posicionamento do Experimento 2 serão apresentados os resultados para três dias consecutivos de cada um dos meses de dados coletados.

O critério para a escolha dos dias seguiram as seguintes considerações:

- ✓ Observações para o máximo de tempo possível no dia (24 horas);
- ✓ Máximo tempo de conexão ativa com o centro de controle;
- ✓ Dia com média do índice S_4 moderado/forte (Figura 72).

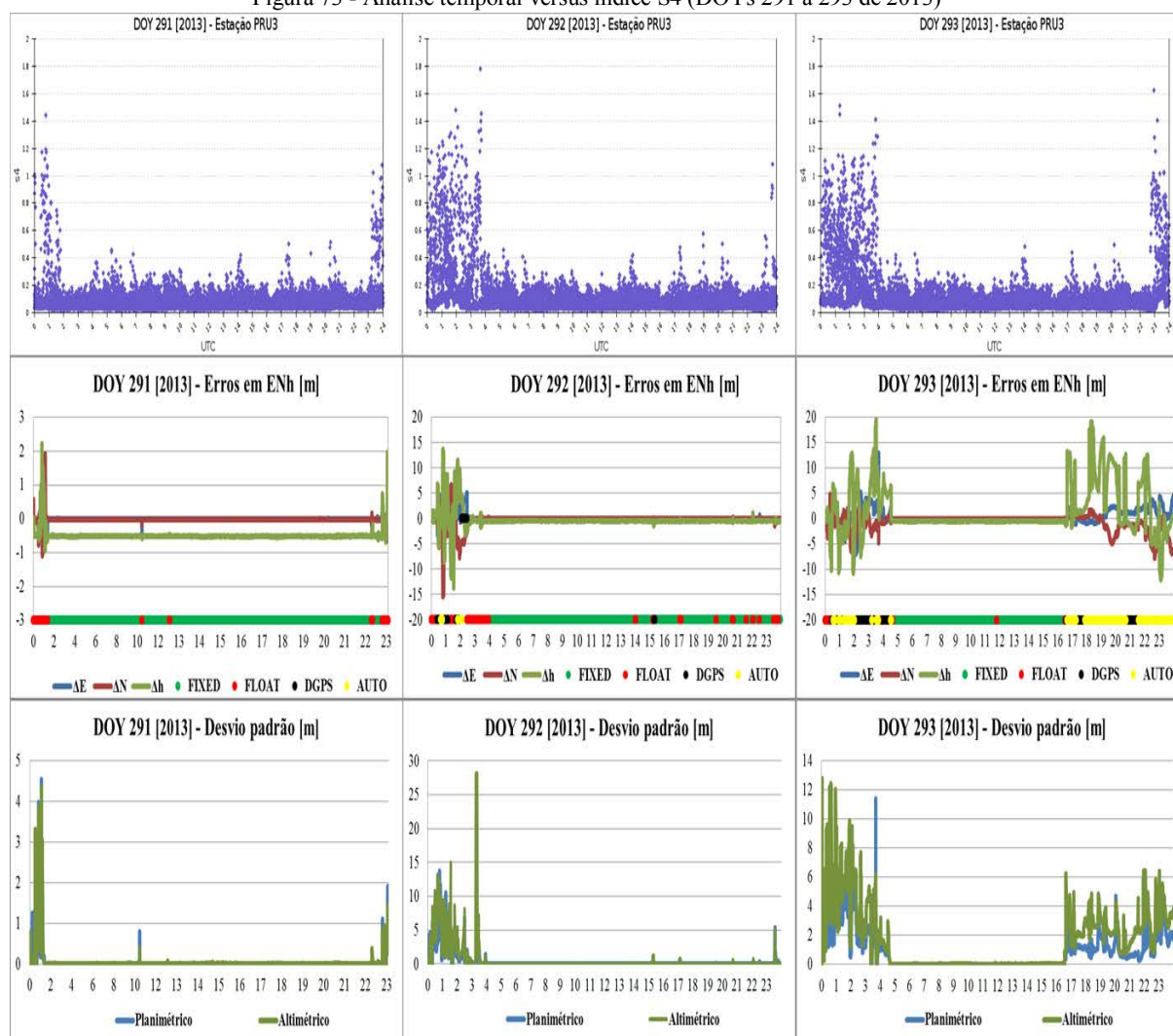
Feita a triagem preliminar, os dias que apresentaram os critérios adotados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Dias escolhidos para análises no Experimento 2

	2013			2014		
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Dia	18 a 20	22 a 24	9 a 11	10 a 12	6 a 8	11 a 13
DOY	291 a 293	326 a 328	343 a 345	10 a 12	37 a 39	70 a 72

O intervalo representado pelas Figuras 73 a 78 trazem os resultados diários do *RTK* em rede para os três dias selecionados de cada mês. As informações estão organizadas na forma de gráficos que apresentam o comportamento do índice S_4 , os erros nas componentes E, N e h, a precisão nas componentes vertical e horizontal. De forma a complementar as análises, o status das soluções *fixed*, *float*, *DGPS* ou autônomo, fornecidos pelo receptor, representadas como pontos ao longo do eixo y, respectivamente, nas cores verde, vermelho, preto e amarelo para a respectiva época de acordo com o status obtido naquele momento.

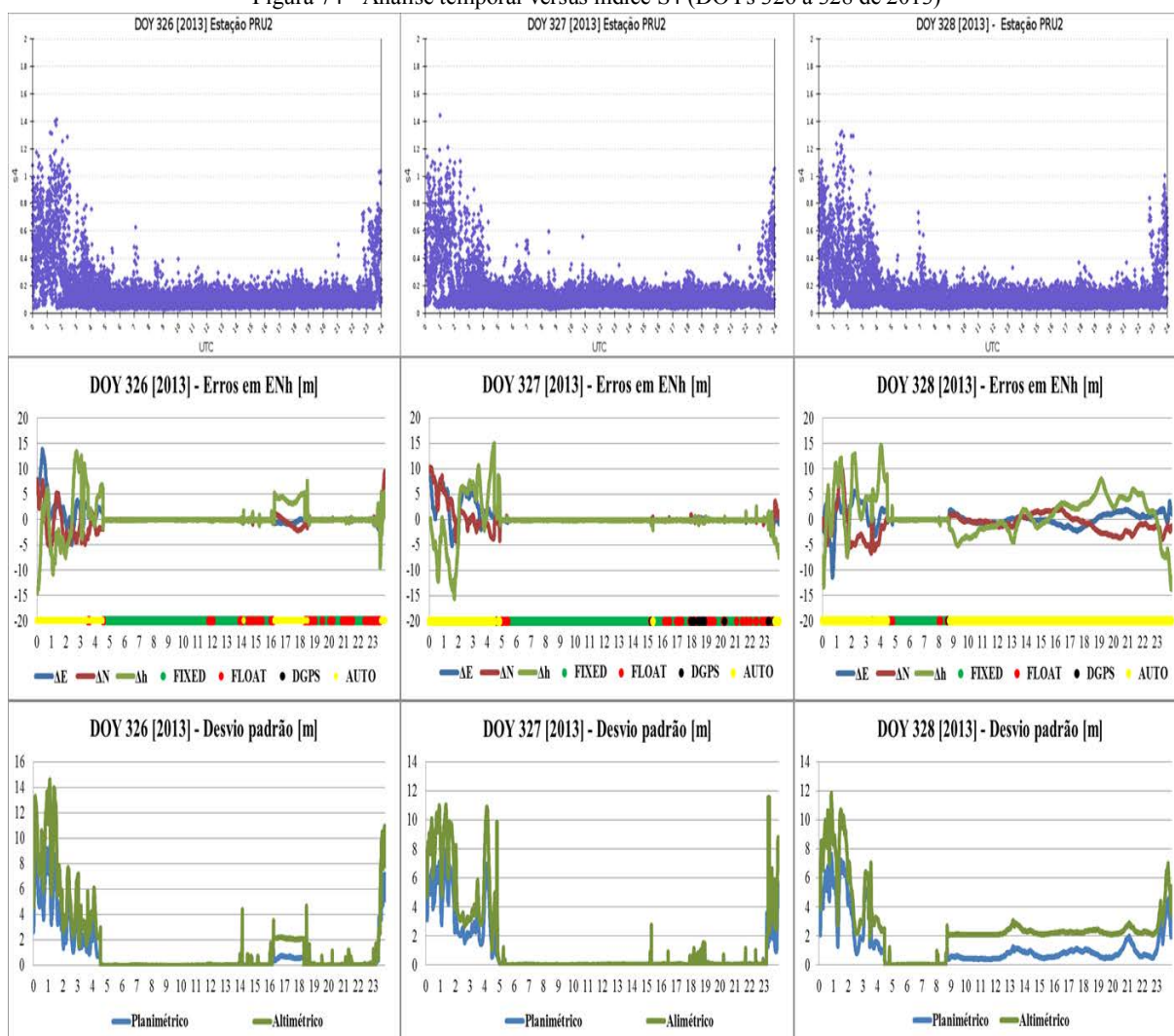
Figura 73 - Análise temporal versus índice S4 (DOYs 291 a 293 de 2013)



Os resultados apresentados na Figura 73 evidenciam que durante a ocorrência de cintilação o posicionamento é degradado claramente, com variações superiores a 3 m conforme observado para DOY 291 antes das 2h UTC e após as 22h UTC. As variações observadas nas componentes E, N e h para o DOY 292 no período das 0h às 4h UTC são de magnitude maior e podem ser correlacionadas à maior intensidade do índice S_4 , além da instabilidade da conexão com o centro de controle neste intervalo de tempo.

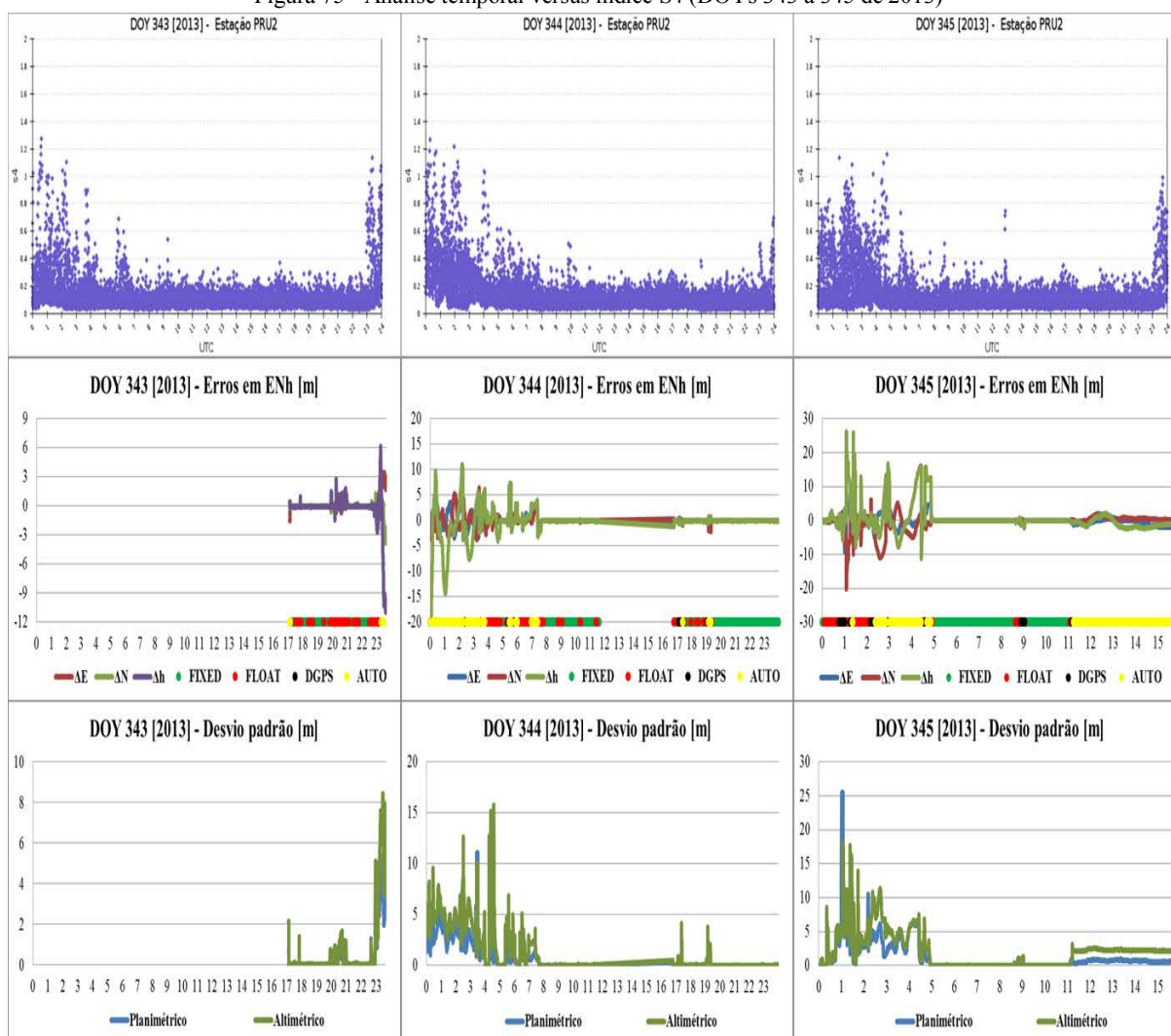
Observa-se que para períodos em que a cintilação é de magnitude baixa ($S_4 < 0,3$) o erro nas componentes é de ordem centimétrica. O DOY 293 apresentou os piores resultados, visto que este apresentou a maior ocorrência de cintilação além da falha no reestabelecimento da conexão com o centro de controle após as 17h UTC, permanecendo assim até o final do período e consequentemente prejudicando o posicionamento.

Figura 74 - Análise temporal versus índice S4 (DOYs 326 a 328 de 2013)



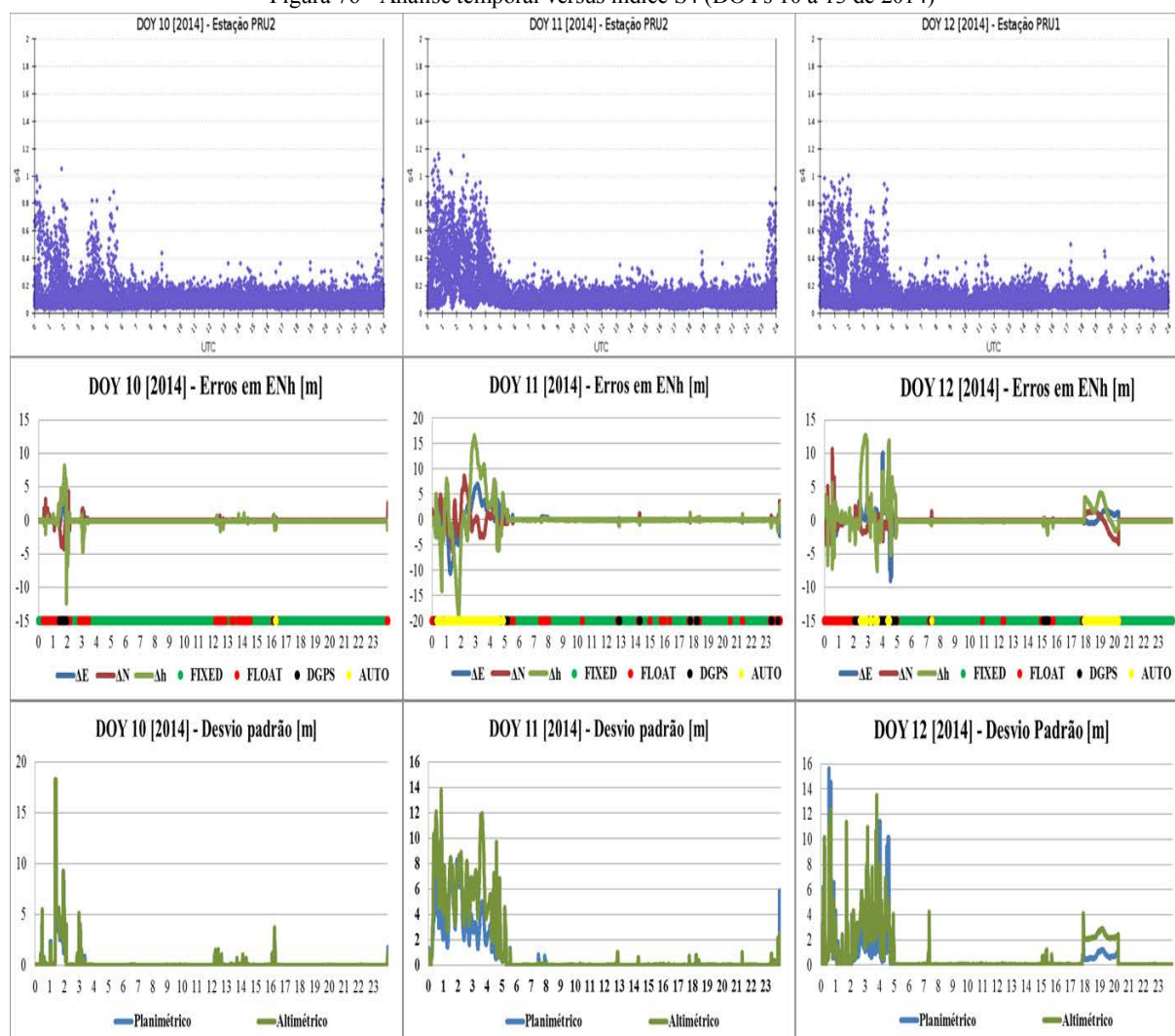
Para os dados do mês de novembro, representados por DOY 326 a 328 na Figura 74, são observadas inconsistências na conexão com o centro de controle, principalmente no DOY 328 após as 9h UTC. Neste mesmo dia a conexão só permaneceu ininterrupta por aproximadamente 4 horas no período da manhã. Das 72 horas de coletas, apenas 41 delas o receptor permaneceu conectado ao centro de controle. Os resultados apresentados para este período contribuem para o entendimento da importância de uma rede de telefonia celular com qualidade e consistência na transmissão de dados para o sucesso da metodologia na transmissão de correções usando modem *GSM/GPSR*.

Figura 75 - Análise temporal versus índice S4 (DOYs 343 a 345 de 2013)



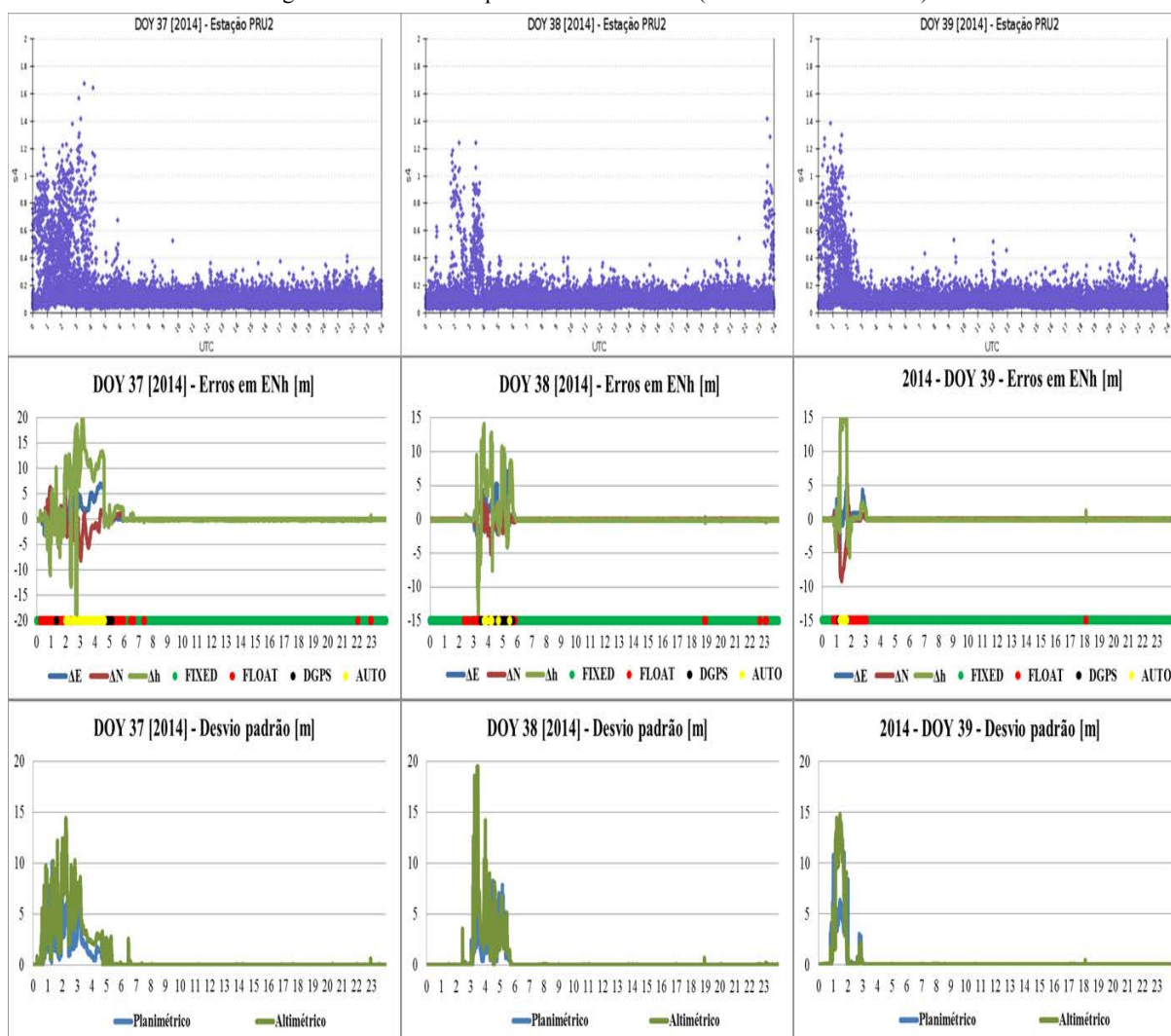
A Figura 75 apresentou os resultados para os únicos três dias de coletas no mês de dezembro de 2013. No início do referido mês, o equipamento sofreu uma avaria no cabo de transmissão de dados, ficando inoperante até a terceira semana de dezembro. Após os reparos o receptor foi religado, porém na mesma época o prédio do LGE1 passou por muitas instabilidades no fornecimento de energia elétrica. Tal fato foi resolvido após o setor responsável realizar a manutenção corretiva no sistema elétrico do prédio.

Figura 76 - Análise temporal versus índice S4 (DOYs 10 a 13 de 2014)



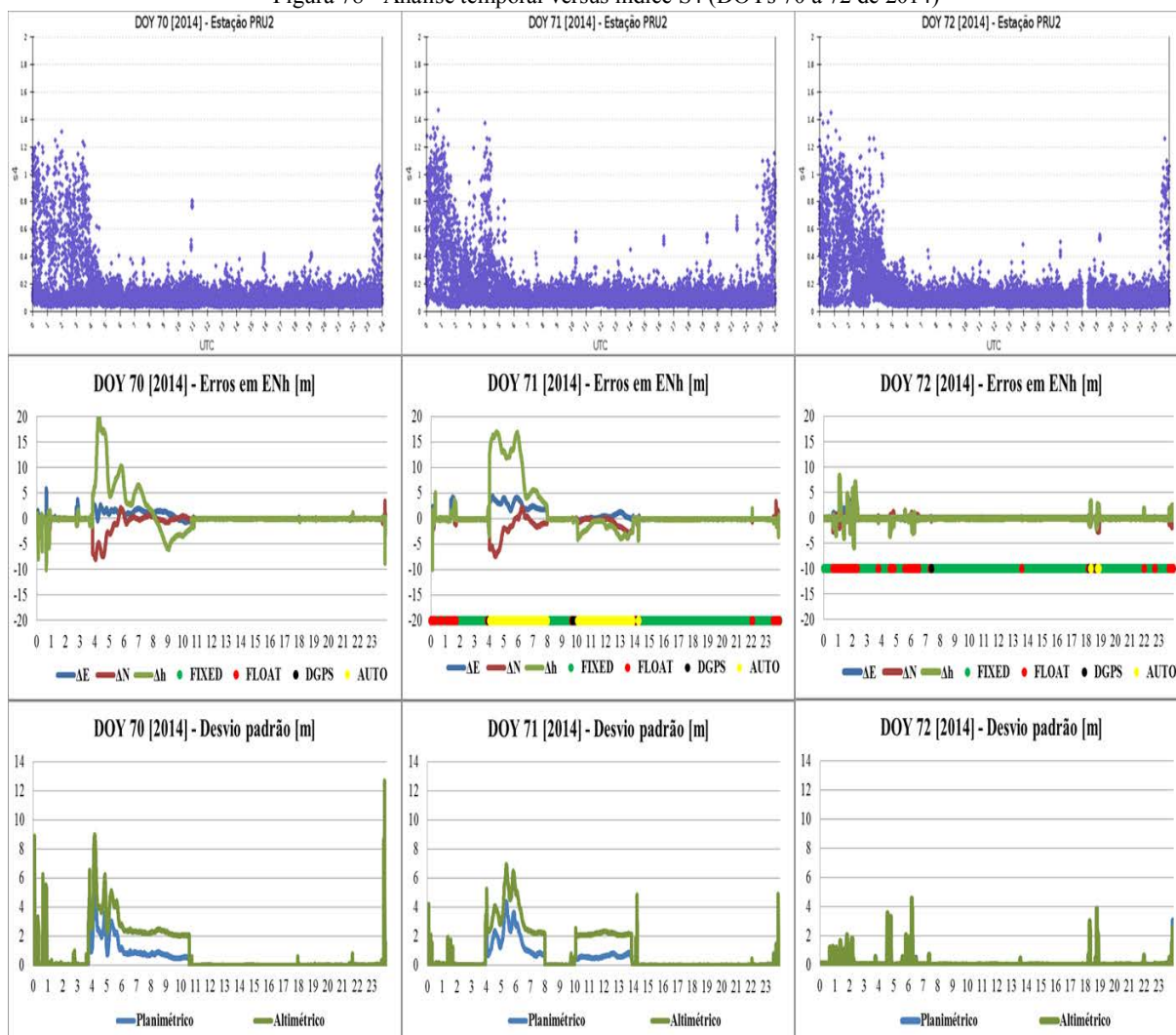
No ano de 2014 as coletas foram retomadas na segunda semana do mês de janeiro. A Figura 76 apresentou os resultados para DOY 10 a 12, onde é possível notar a correlação dos eventos de cintilação com o comportamento do posicionamento representado pelas componentes locais, as quais apresentam erros na ordem das dezenas de metros sob efeito da cintilação. O período da correlação é comum para o DOY 11 e 12 e parcialmente para o DOY 10, o intervalo observado em que este comportamento ocorre inicia-se às 23h UTC e estende-se até quase às 5h UTC.

Figura 77 - Análise temporal versus índice S4 (DOYs 37 a 39 de 2014)



Os resultados apresentados na Figura 77 evidenciam novamente que durante a ocorrência de cintilação o posicionamento é degradado, mesmo em curtos períodos de tempo conforme ocorre em DOY 38. Observando os gráficos referentes ao índice S_4 é possível afirmar que a variação no comportamento da cintilação não é uma constante, mesmo em dias consecutivos de um período propício a este fenômeno ionosférico, a exemplo disso tem-se o período da noite entre DOY 37 e 38.

Figura 78 - Análise temporal versus índice S4 (DOYs 70 a 72 de 2014)



Os resultados observados na Figura 78 correspondem aos dias escolhidos para o último mês das coletas: março. É possível observar a ocorrência de forte cintilação para o período noturno nos três dias analisados e mais uma vez fica evidente a dispersão nas componentes E, N e h sob influência de tal efeito. Nota-se a existência de falha na conexão momentânea com o centro de controle nas manhãs de DOY 70 e 71 o que ocasionou erros superiores a 15 metros.

A conexão foi perdida às 4h UTC e reestabelecida por volta das 8h UTC no DOY 71, permanecendo deste modo por mais duas horas antes da nova interrupção às 10h UTC. Nota-se de modo claro a imediata mudança na precisão das componentes quando a conexão é retomada de modo a apresentarem solução fixa quase instantaneamente.

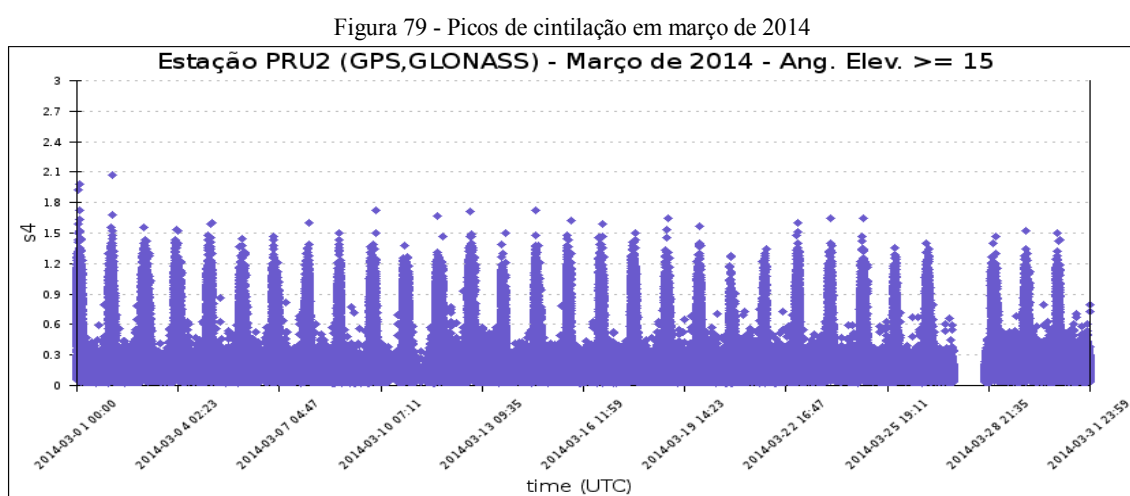
De forma geral o Experimento 2 contribuiu para a constatação que os erros nas componentes locais (E, N e h) durante o levantamento empregando receptor *GNSS* de simples frequência aliado à metodologia do *RTK* em rede é consideravelmente maior no período concomitante aos eventos de cintilação. Outra característica observada é a homogeneidade dos resultados para períodos como a manhã e tarde, em que os efeitos da ionosfera são considerados fracos.

5.3 Experimento 3 – Terraço da Central de Laboratórios do Departamento de Cartografia (CLDC)

Nesta seção serão apresentados os resultados e análises sobre o experimento desenvolvido no terraço do prédio da CLDC conforme metodologia apresentada na seção 4.2.4. Na seção 5.3.1 é apresentada uma visão geral dos eventos de cintilação, no período de realização do experimento. Na sequência, a seção 5.3.2 apresenta os resultados e análises.

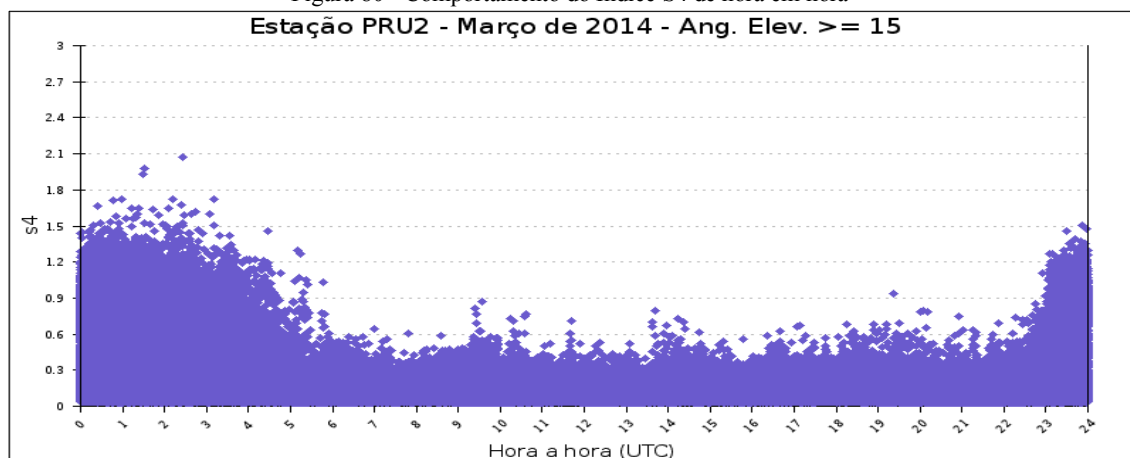
5.3.1 Indicativo de cintilação ionosférica

Apresenta-se na Figura 79 o comportamento diário do índice S_4 obtido para a estação PRU2 no mês de março de 2014. Observa-se a ocorrência sistemática de picos diários de forte cintilação, sendo que a lacuna visualizada ao final do mês representa ausência de dados para o período.



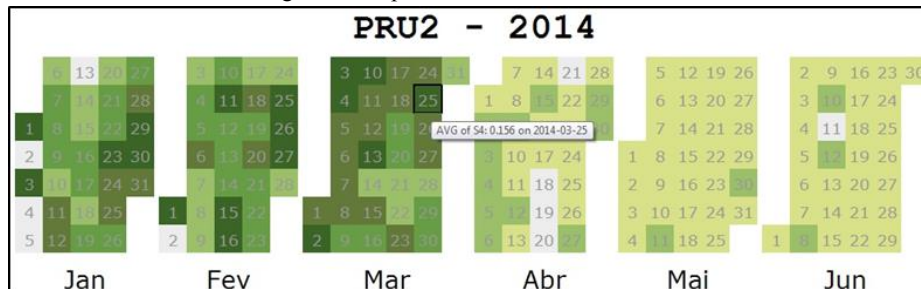
Apresenta-se na Figura 80 o comportamento horário da ocorrência de cintilação no mês de março, onde se observa que o índice S_4 aumenta após as 22h UTC, mantendo este comportamento até às 4h UTC, quando se inicia a diminuição na intensidade do índice.

Figura 80 - Comportamento do Índice S4 de hora em hora
Estação PRU2 - Março de 2014 - Ang. Elev. ≥ 15



O aplicativo *Visão de Calendário*, presente na ferramenta *ISMIR Query Tool*, permite a visualização da média diária do índice S₄. Esta abordagem é apresentada na Figura 81. Ao selecionar um dia qualquer com o cursor do mouse o valor médio do índice S₄ para o dia em questão é apresentado.

Figura 81 - Aplicativo Visão de Calendário



Observa-se na Figura 81 o primeiro semestre do ano de 2014, com a ocorrência de forte cintilação nos períodos de janeiro a março e fraca cintilação a partir de abril. Considerando os dias de coletas realizadas neste experimento, apresenta-se na Tabela 5, o valor médio do índice S₄ consultado para cada um dos respectivos dias do mês de março.

Tabela 5 - S₄ médio

Data (março)	DOY	S ₄ médio	Data (março)	DOY	S ₄ médio
5	64	0,132	14	73	0,107
6	65	0,140	15	74	0,136
7	66	0,135	17	76	0,141
10	69	0,151	18	77	0,132
11	70	0,145	24	83	0,142
12	71	0,147	25	84	0,156
13	72	0,157	26	85	0,131

Os valores mais altos são para os dias 13 (DOY 72), 25 (DOY 84) e 10 (DOY 69), de modo a confirmar as informações apresentadas na Figura 81. Ressalta-se que o S_4 médio é em relação às 24 horas do dia, ou seja, períodos da manhã, tarde e noite.

5.3.2 Desempenho do GNSS no posicionamento

As análises referentes à qualidade do posicionamento apresentadas nesta seção consideraram o dia com a maior média do índice S_4 (Tabela 5). Numa pré-análise dos dados, constatou-se que os dados dos dois primeiros dias com os maiores valores médios do índice S_4 , DOY 72 e DOY 84 apresentaram dados inconsistentes devido à perda de conexão com a rede de telefonia celular o que impediu a conexão com o centro de controle e consequentemente inviabilizou o posicionamento *RTK* em rede.

As Figuras 82 e 83 apresentam as estatísticas referentes à quantidade de épocas (em %) com relação à solução obtida no posicionamento, onde podem ser observados que o posicionamento autônomo (*standalone*) foi predominante em mais de 80 % da quantidade de épocas coletadas para cada um dos dias, o que inviabilizaria as análises propostas neste experimento.

Figura 82 - Estatísticas das épocas para o DOY 72

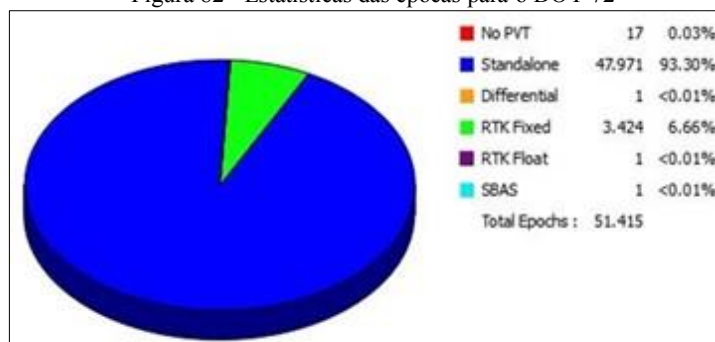
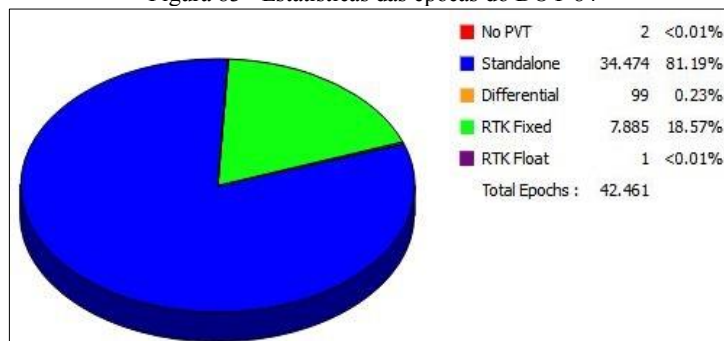
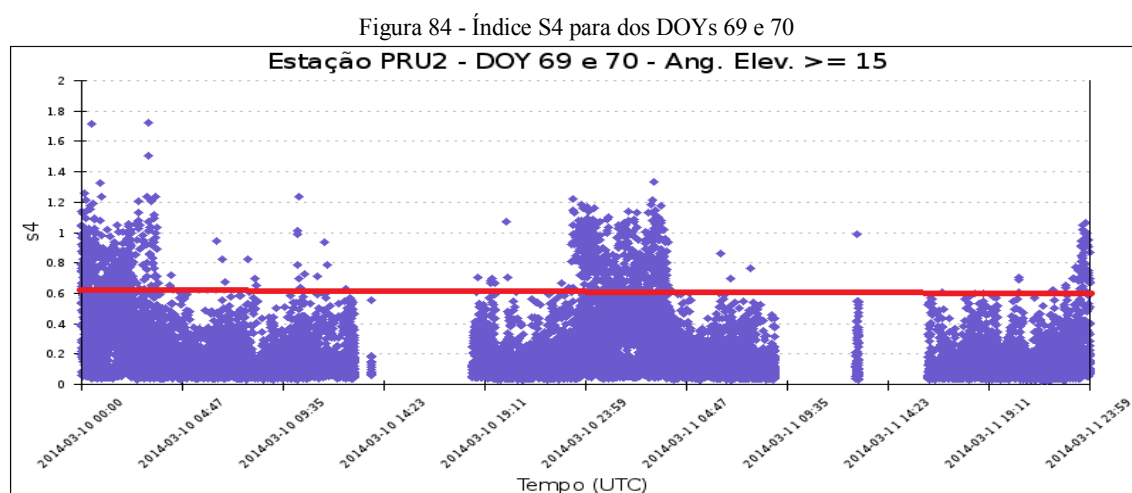


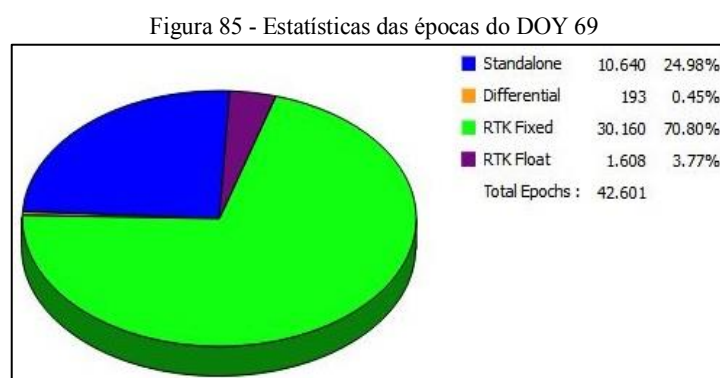
Figura 83 - Estatísticas das épocas do DOY 84



O terceiro dia a apresentar a maior média diária do índice S_4 foi DOY 69 e neste caso os dados coletados são passíveis das análises propostas. A Figura 84 apresenta o comportamento do índice S_4 para a estação PRU2, utilizada neste experimento, para a noite de DOY 69 para DOY 70. Observou-se a ocorrência de cintilação moderada/forte de acordo com o limiar apresentado em vermelho na Figura 84 além dos índices facilmente terem ultrapassado o limiar de 1,0, classificados como cintilação forte.



Tendo determinado os dados para as análises, a Figura 85 representa as estatísticas referentes à quantidade de épocas (em %) com relação à solução obtida no posicionamento para o período de coleta de DOY 69, o qual teve início às 21h00min UTC e término às 08h50min UTC do dia seguinte. A princípio observa-se na referida figura que, em 70,8% do tempo de coleta, as ambiguidades foram resolvidas e, em 3,77 % não, além de que em 24,98% do tempo o posicionamento foi autônomo.



As Figuras 86, 87 e 88 apresentam, nesta ordem, as discrepâncias das componentes E, N e Up em relação às coordenadas de referência do pilar utilizado na coleta

dos dados. A linha vertical (em vermelho) representa as 00h00min UTC do DOY 70 e a barra horizontal (*PVT Mode*) abaixo do gráfico representa as soluções *fixed* (em verde), *float* (em roxo), *standalone* (em azul) e *differential* (em laranja).

Figura 86 - Discrepâncias na componente E

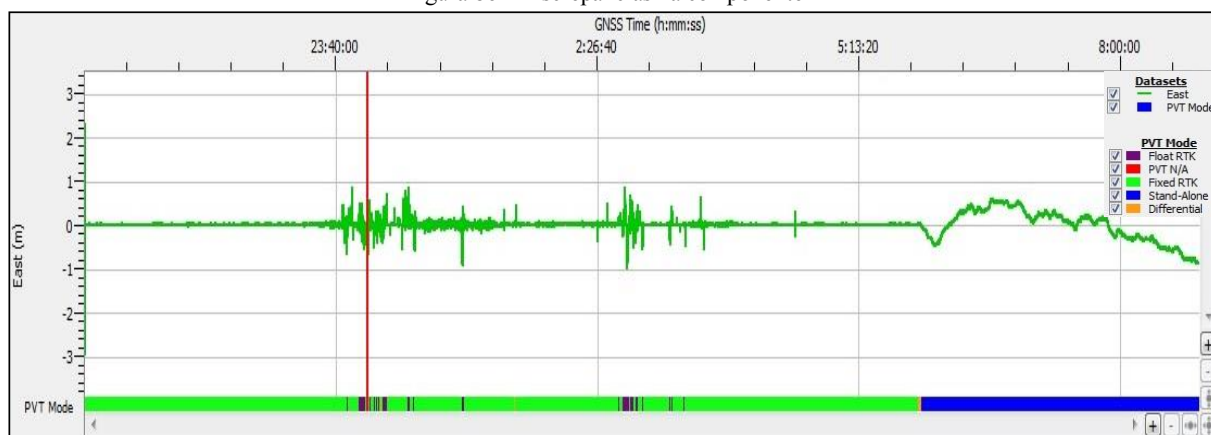


Figura 87 - Discrepâncias na componente N

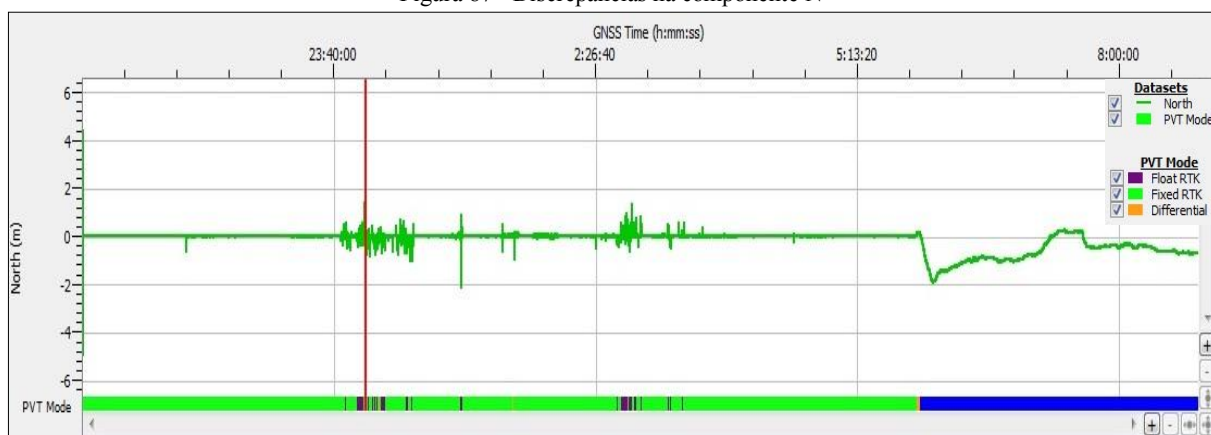
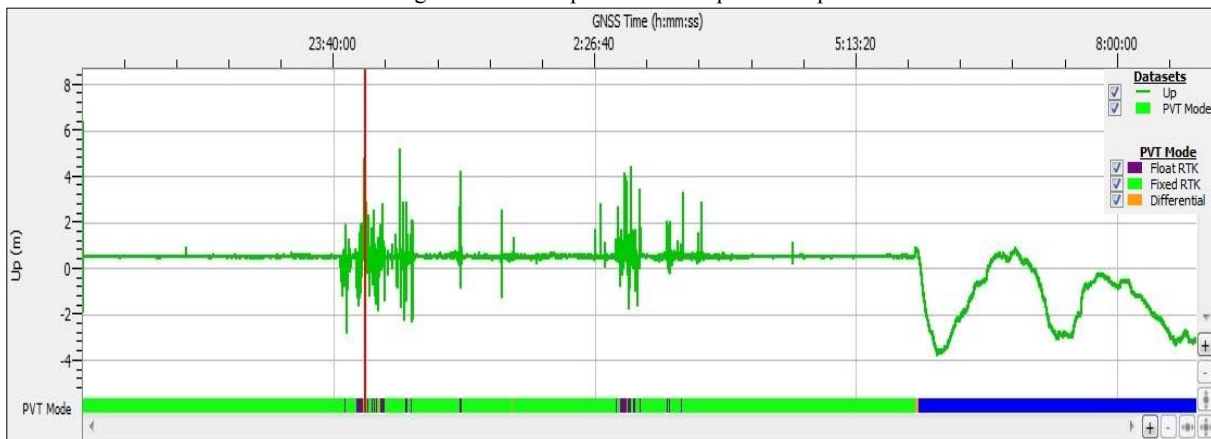


Figura 88 - Discrepâncias na componente Up



Observa-se nas Figuras 86, 87 e 88 que as discrepâncias apresentaram-se na casa dos metros nos momentos em que a solução para o ponto apresentava-se *float*. O valor médio das discrepâncias para cada uma das componentes E, N e Up durante o período de coleta foram de -0,004 m, -0,177 m e -0,008 respectivamente. Em relação aos desvios-padrão das componentes, as Figuras 89, 90 e 91 apresentam os respectivos valores para as componentes, tendo como valor médio 0,503 m, 0,542 m e 1,752 m para E, N e Up.

Figura 89 - Desvio-padrão na componente E

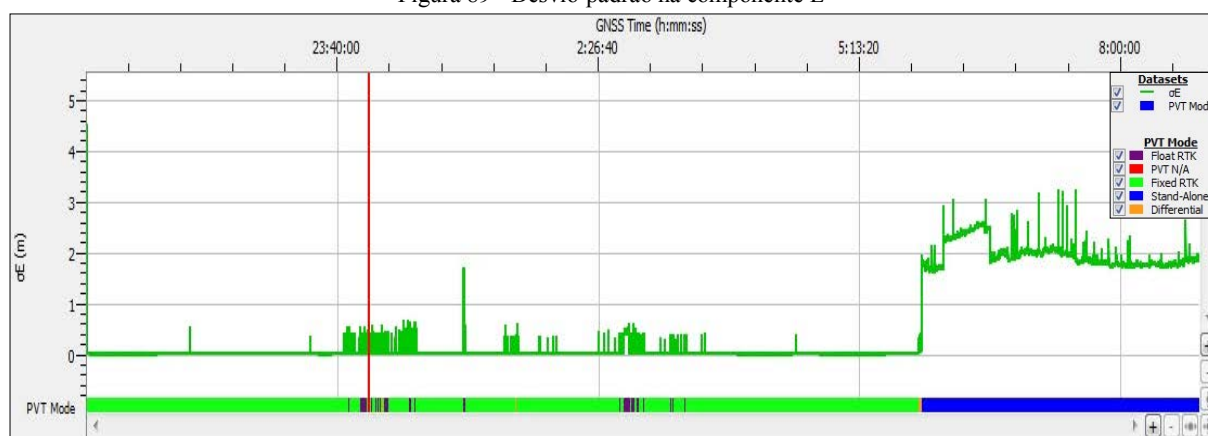


Figura 90 - Desvio-padrão na componente N

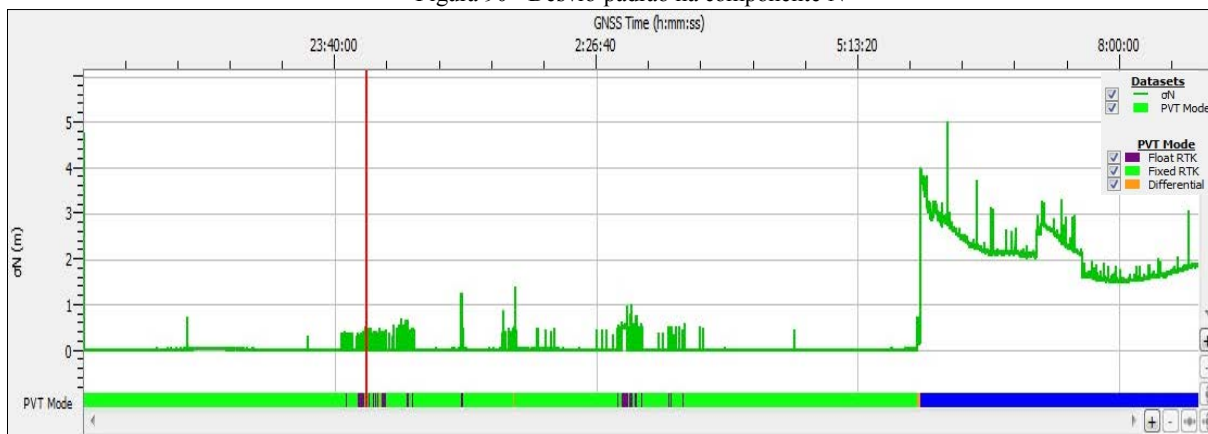
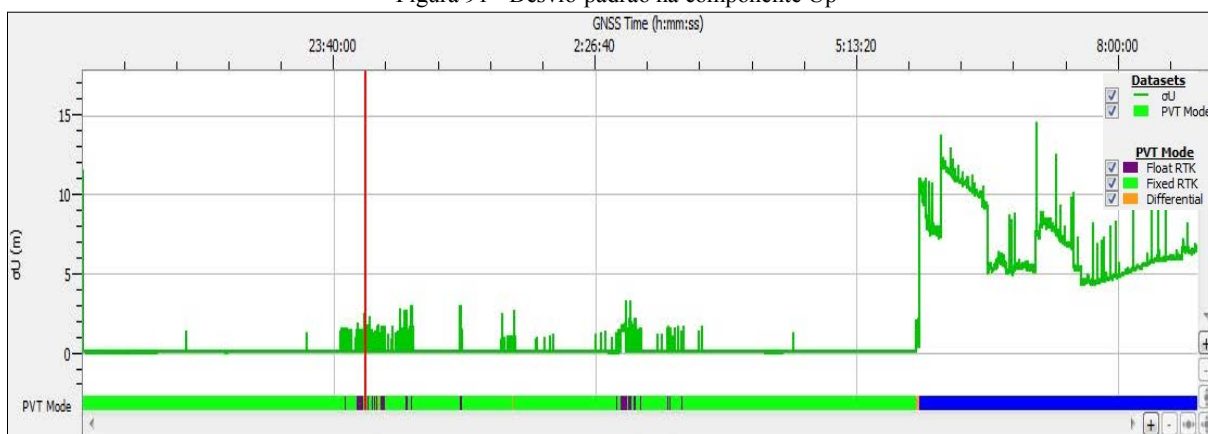
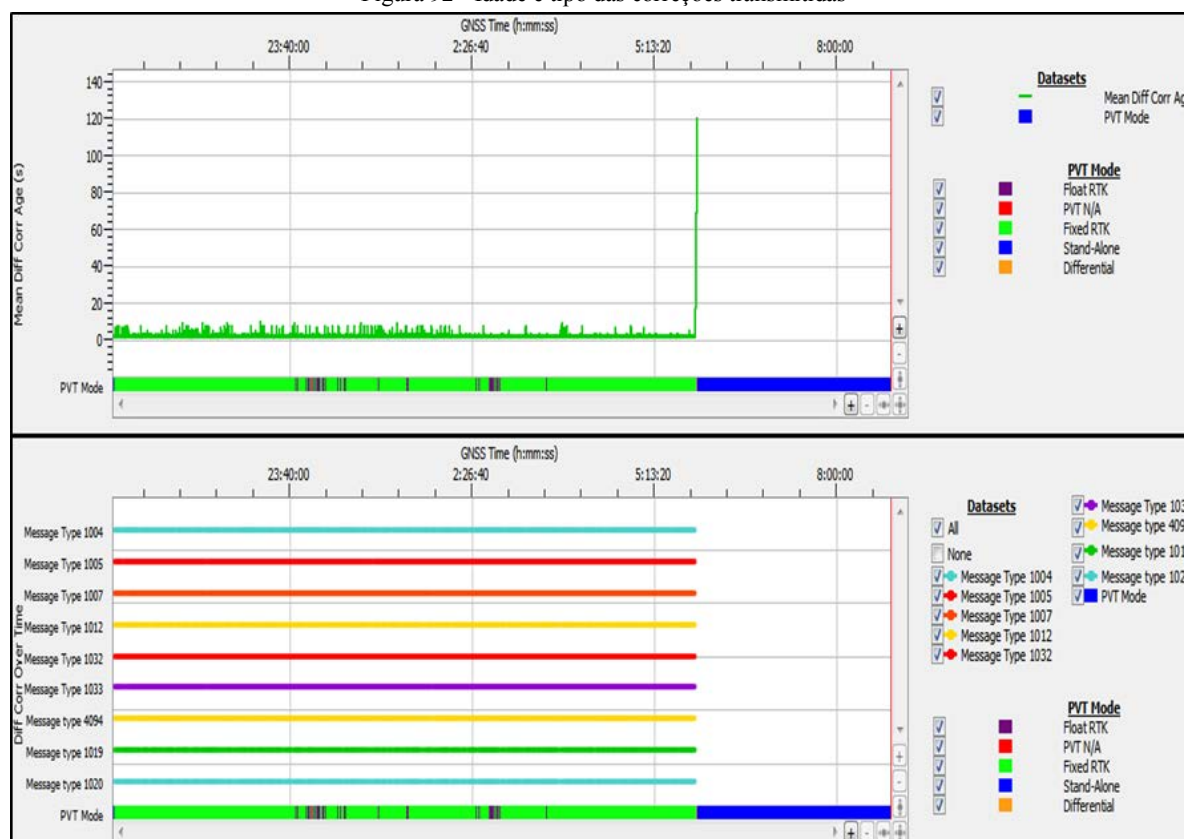


Figura 91 - Desvio-padrão na componente Up



Após as 05h50min UTC a solução do posicionamento apresenta-se autônomo, permanecendo neste modo até o final da coleta. Tal fato é justificado devido à perda de conexão com o centro de controle e consequentemente a não transmissão das correções e mensagens *RTCM* (Figura 92) ocasionando variações abruptas após o respectivo horário. Caso este intervalo de tempo, em que o posicionamento deu-se autônomo, fosse desconsiderado para os cálculos dos desvios-padrão das componentes, ter-se-iam os respectivos valores pra E, N e Up: 0,023 m, 0,024 m e 0,076 m, uma melhoria superior a 80% na precisão das mesmas.

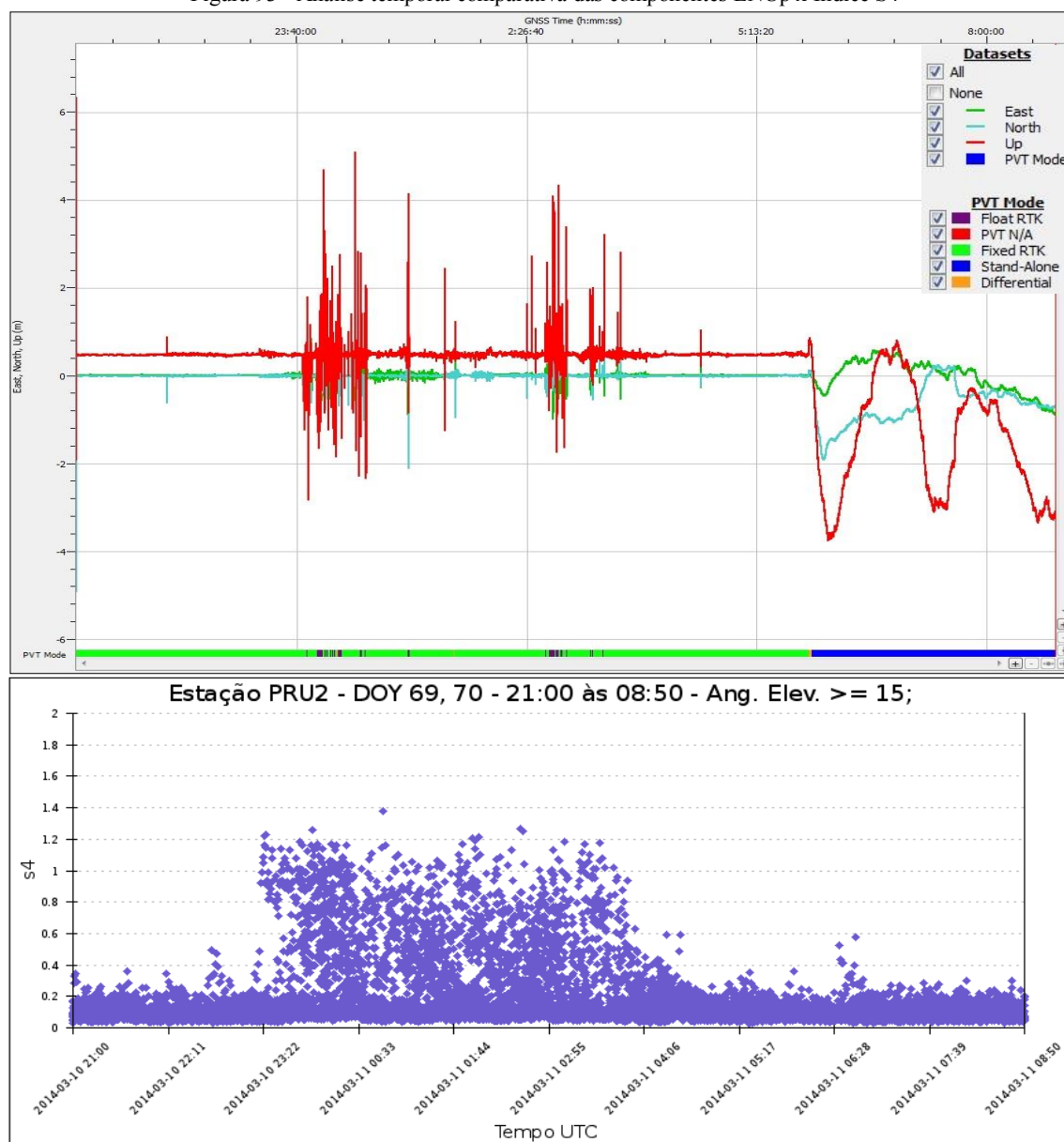
Figura 92 - Idade e tipo das correções transmitidas



Até o momento é possível considerar que para o período em que a atividade ionosférica apresenta um comportamento intenso, isso reflete quase que instantaneamente na qualidade do posicionamento.

A Figura 93 apresenta, nesta ordem, a série temporal referente aos erros nas componentes E, N e Up bem como o comportamento do índice S_4 , ambos gráficos com início e término iguais (21h às 08h50min UTC). A linha verticalizada, que cruza os gráficos, marca o início dos efeitos da cintilação ionosférica, apenas para referência. Nota-se que o efeito no cálculo das coordenadas é imediatamente afetado após o início do evento de cintilação.

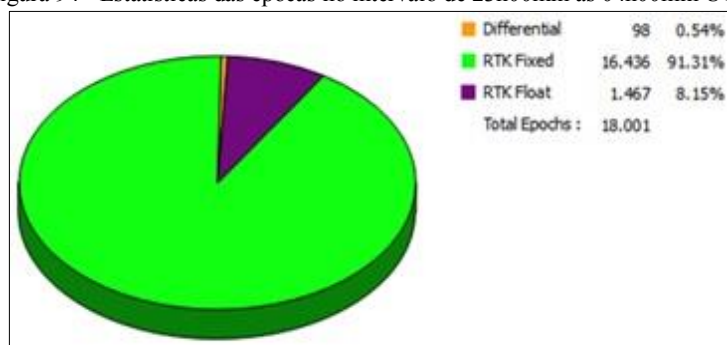
Figura 93 - Análise temporal comparativa das componentes ENU x Índice S4



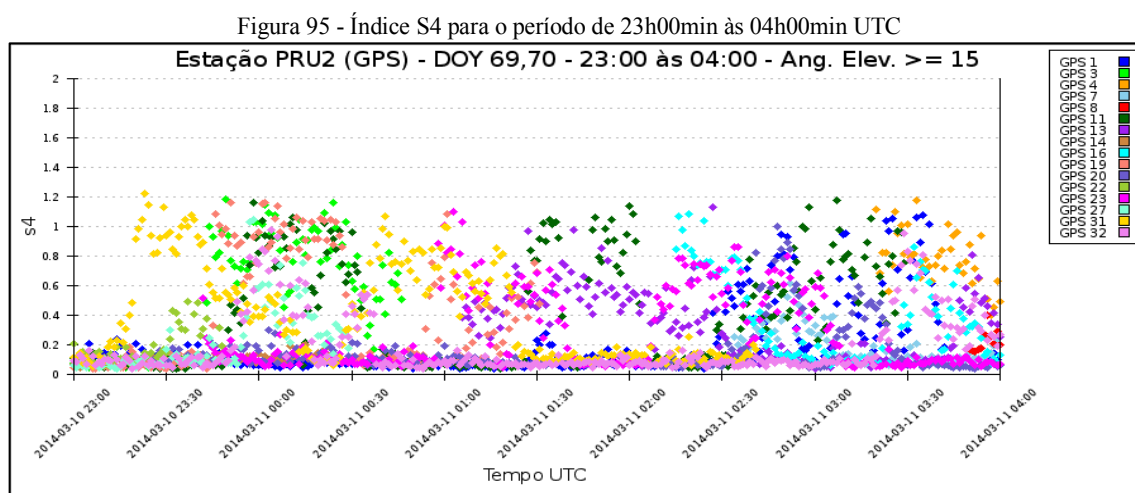
Para uma análise mais pontual, tendo em vista o contexto acerca do desempenho do *RTK* em rede sob efeito de cintilação, foi selecionado um intervalo de tempo dos dados coletados no DOY 69. Tal conjunto de dados coincide com o início e o fim do período que apresenta indicativo de forte cintilação (23h00min às 04h00min UTC) observado na Figura 88.

A Figura 94 apresenta as estatísticas referentes aos dados do respectivo intervalo, com 18001 épocas, das quais 90,58% tiveram as ambiguidades solucionadas (solução *fix*) e 8,91% apresentaram solução *float*.

Figura 94 - Estatísticas das épocas no intervalo de 23h00min às 04h00min UTC

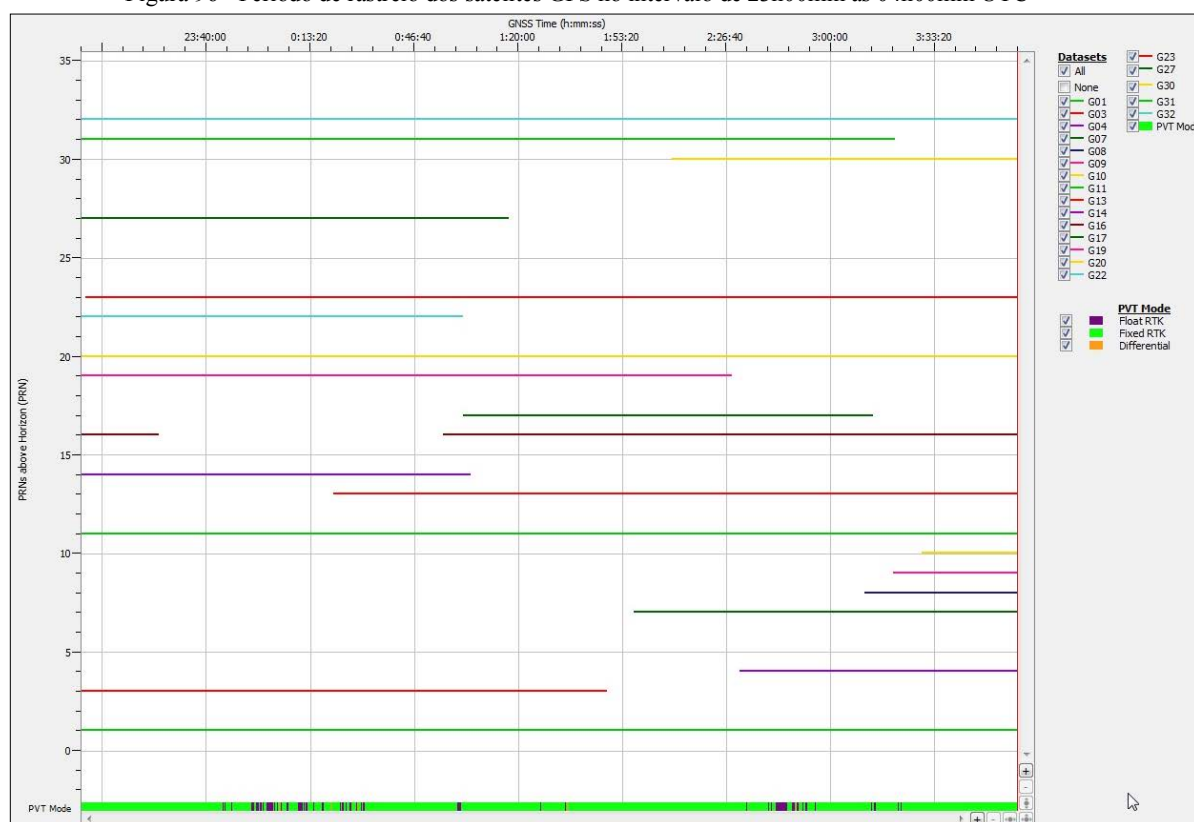


Já na Figura 95, são apresentados o comportamento do índice S_4 para cada um dos satélites *GPS* rastreado para o referido intervalo de dados.



De forma a complementar as informações apresentadas na Figura 95, bem como as análises referentes ao comportamento de cada satélite durante a ocorrência de cintilação, a Figura 91 apresenta exatamente cada período de tempo em que cada um destes satélites foi rastreado

Figura 96 - Período de rastreamento dos satélites GPS no intervalo de 23h00min às 04h00min UTC



Como já mencionado anteriormente, o período apresenta ocorrência de forte cintilação, sendo que nesta ocasião foram rastreados 16 satélites *GPS*, dos quais 15 satélites apresentaram, em algum momento, índice S_4 maior que 0,3 (cintilação fraca). O único abaixo desse limiar foi o satélite de PRN 14. Analogamente, 13 satélites apresentaram índice S_4 acima de 0,6 (cintilação moderada/forte), os de PRN 8, 14 e 22 ficaram abaixo deste limiar. Destes 13 satélites com limiar superior a 0,6, observa-se que 10 deles apresentaram índice S_4 superior a 1. Os satélites de PRN 7, 23 e 31 ficaram entre o limiar de 0,6 e 1 para o índice S_4 .

Os resultados obtidos para o intervalo de tempo em questão são apresentados na forma dos erros em relação às coordenadas de referência. Dessa forma, nas Figuras 97, 98 e 99 observa-se, numa análise visual, que a dispersão das três componentes é altamente correlacionada, alcançando picos de amplitude da dispersão de até 18 m na componente E.

Figura 97 - Erros na componente E para o período de 23h00min as 04h00min UTC

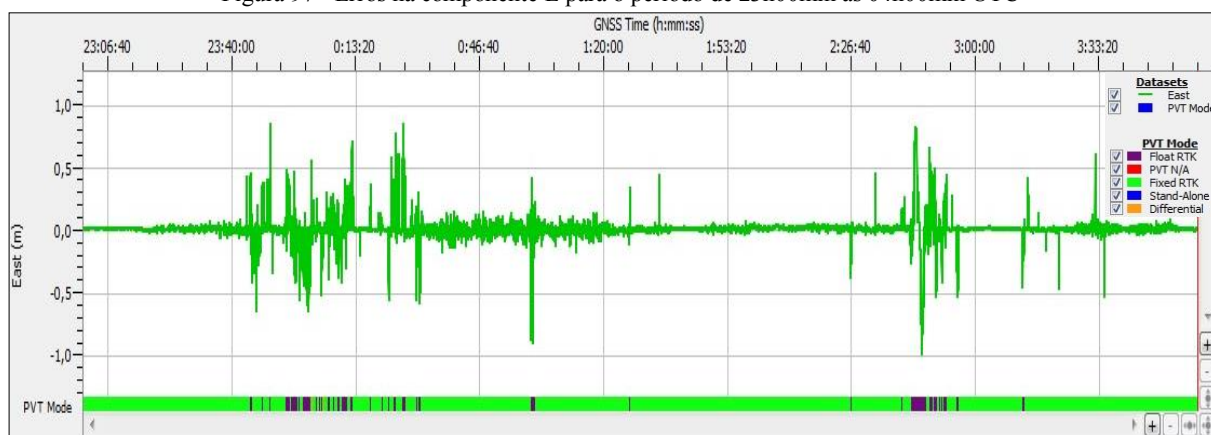
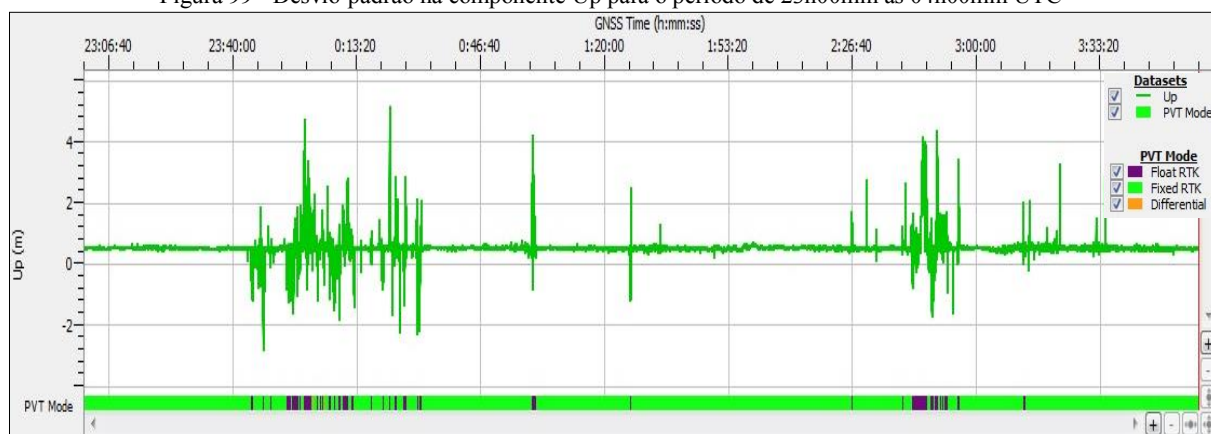


Figura 98 - Erros na componente N para o período de 23h00min as 04h00min UTC



Figura 99 - Desvio-padrão na componente Up para o período de 23h00min as 04h00min UTC



Observa-se nas Figuras 97, 98 e 99 que as discrepâncias apresentaram-se na casa dos metros para as componentes E e N. Tem-se o valor médio das discrepâncias para cada

uma das componentes E, N e Up durante o período de coleta nos valores de 0,003 m, -0,010 m e 0,492 m respectivamente.

Em relação aos desvios-padrão das componentes E, N e Up, as Figuras 100, 101 e 102 apresentam os respectivos valores, nota-se que as variações na componente vertical para este período se apresentaram mais abruptas.

Figura 100 - Desvio-padrão na componente E para o período de 23h00min as 04h00min UTC

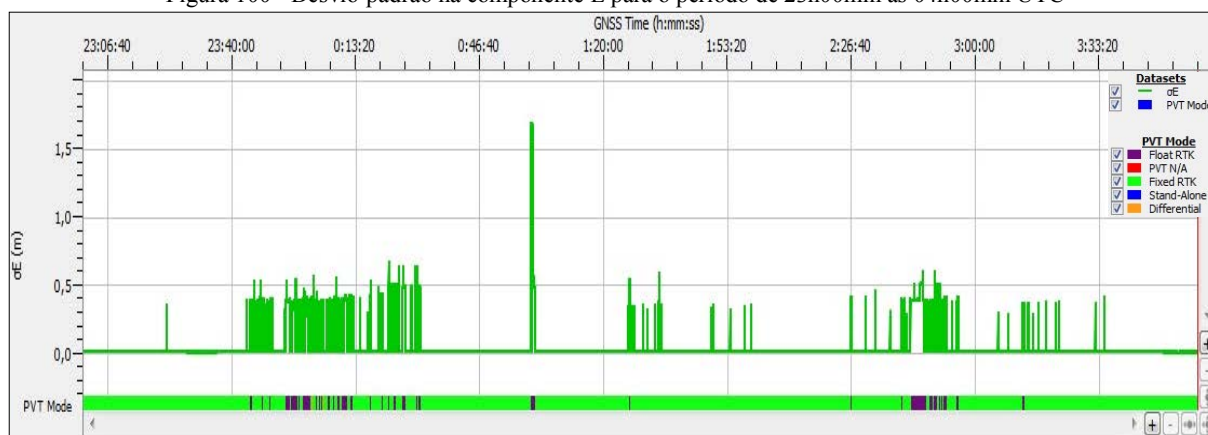


Figura 101 - Desvio-padrão na componente N para o período de 23h00min as 04h00min UTC

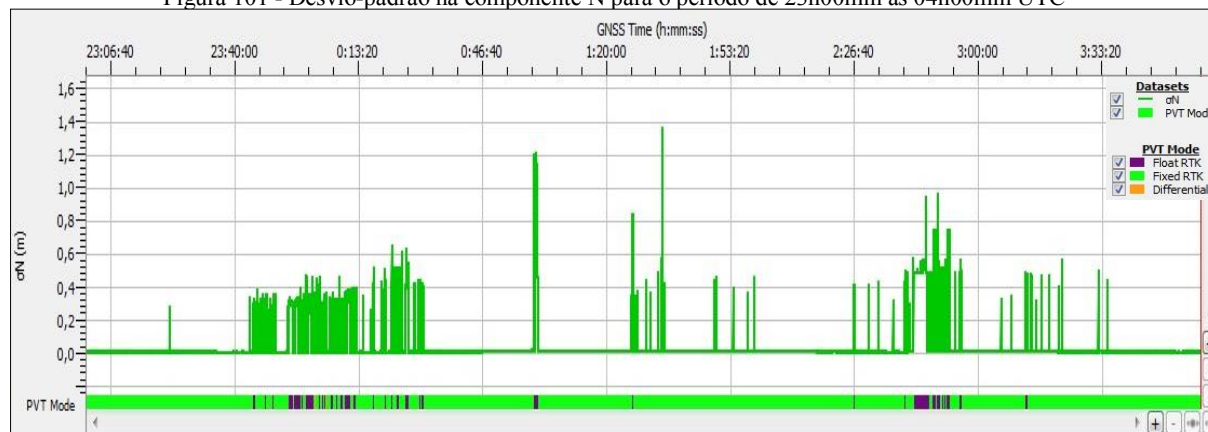
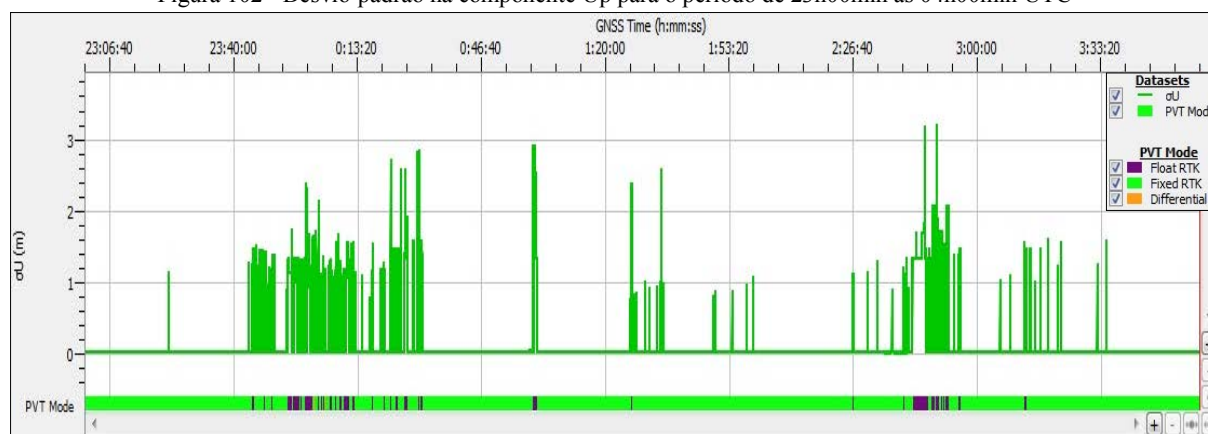


Figura 102 - Desvio-padrão na componente Up para o período de 23h00min as 04h00min UTC



Tem-se por desvio-padrão médio para E, N e Up: 0,039 m, 0,039 m e 0,126 m, confirmando a componente vertical com a maior variação, conforme apresentado nas figuras anteriores.

Considerações no que tange a solução das ambiguidades no período das 23h às 04h UTC são de grande relevância neste experimento. Observou-se que as soluções consideradas *float* constam em apenas 10% do tempo (30 minutos) de rastreamento neste intervalo ao passo que as ambiguidades foram consideradas fixas em 90,58%. Essa grande variação é provavelmente devido à solução errônea do vetor das ambiguidades das DDs (Duplas Diferenças).

As variações observadas podem ser derivadas desta solução equivocada das ambiguidades durante a ocorrência de cintilação. Este comportamento prejudica a solução para as próximas épocas, o que gera um resultado não confiável para o usuário, uma vez que a solução é dada como fixa, porém as coordenadas apresentam comportamento instável.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As atividades desenvolvidas no decorrer desta pesquisa contribuíram para que os objetivos propostos inicialmente fossem atingidos. 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*.

Assim, para desenvolver essa pesquisa foi realizada uma extensa revisão bibliográfica para o entendimento acerca das características da ionosfera e suas influências sobre os sinais *GNSS*. Destaque para a cintilação ionosférica tema de grande relevância para a comunidade científica. A abordagem e revisão do conhecimento sobre o *RTK* e sua evolução baseada no posicionamento em redes de estações de referência. Novos conceitos foram integrados em relação às correções *RTK*, fluxo de dados, sistemas de comunicação e de gerenciamento de redes *GNSS*.

Três experimentos foram realizados, descritos em detalhes e analisados com base em dois pilares fundamentais para a concretização dessa pesquisa: a Rede *GNSS*, infraestrutura essencial para o posicionamento *RTK* em rede; e a Rede *CIGALA/CALIBRA*, fonte de dados acerca do comportamento da cintilação na região dos experimentos. Vale acrescentar que o sistema *Trimble Pivot* além da ferramenta *ISMR Query Tool*, foram peças fundamentais dessa pesquisa.

De modo a estender as análises quanto ao desempenho do posicionamento, no Experimento 1 foram adotadas diferentes configurações no sistema *Trimble Pivot*. Os recursos disponíveis mostraram-se versáteis ao gerenciamento da Rede *GNSS/SP*, apresentando diferentes cenários possíveis aos usuários da técnica *RTK* em rede.

Os experimentos contribuíram para a constatação que os erros nas coordenadas das componentes locais (E, N e h), durante levantamentos empregando receptores *GPS/GNSS* de simples ou dupla frequência aliados à metodologia do *RTK* em rede, são consideravelmente maiores em períodos concomitantes aos eventos de cintilação. Outra característica observada é a alta acurácia dos resultados para períodos como a manhã e tarde, em que os efeitos da ionosfera são considerados fracos.

Apesar da magnitude do ciclo solar 24 ter sido uma das menores da história, observou-se que os níveis de atividade solar foram suficientes para degradarem as atividades de posicionamento desenvolvidas nessa pesquisa. O comportamento da ionosfera indicaram dois períodos em que seus efeitos abrangem os meses de setembro a março, coincidindo com

o equinócio de primavera e o equinócio de outono no hemisfério sul. Verificou-se que há a ocorrência de um período de baixa atividade ionosférica, nos meses de abril a agosto. Em relação ao período do dia, os efeitos ionosféricos observados, em particular da cintilação, tem maior dispersão após o pôr do sol, com aumento das atividades às 21h e término às 4h UTC.

Os resultados foram analisados em termos de erro médio, desvio-padrão e erro médio quadrático das discrepâncias para as coordenadas das componentes do sistema local este, norte e vertical, além da resultante (3D). Observou-se que as maiores discrepâncias se concentram no período das 21h às 4h UTC. Após este período as coordenadas apresentaram comportamento estável, condizente com trabalhos realizados por Wanninger (2000); Mendonça *et al* (2012); Mendonça (2013); Vani (2014) e Souza *et al.* (2014).

Dos resultados apresentados nessa pesquisa, pode-se concluir que a metodologia aplicada para a realização dos experimentos se mostraram eficientes. Os resultados demonstram que para a obtenção de alta acurácia com o posicionamento RTK em rede no Brasil, é necessária uma rede de estações de referência mais densa. Isso garantiria, por exemplo, uma melhor configuração para a modelagem para as correções disponibilizadas aos usuários.

A Rede GNSS/SP apresenta uma configuração esparsa das suas estações de referência, com linha de base média de 164,46 km entre as 20 estações gerenciadas pelo sistema *Trimble Pivot*. Esse espaçamento não atende as recomendações de 80 km em média, de acordo com as especificações do fabricante. Porém, considerando a realidade brasileira, justifica-se o uso dessa promissora infraestrutura.

Diante do exposto, considerando os resultados alcançados, análises realizadas e as conclusões apresentadas, cabe acrescentar algumas sugestões e recomendações a fim de se colaborar com o desenvolvimento de trabalhos futuros, visando melhorar os resultados obtidos:

- ✓ Empregar o RTK em rede em regiões da Rede GNSS/SP que apresentem estações de referência menos esparsas;
- ✓ Verificar o quão interfere o espaçamento entre as estações para a acurácia dos resultados;
- ✓ Realizar testes com outros algoritmos RTK, como o FKP e o RTCMNet, disponíveis no sistema *Trimble Pivot*;

- ✓ Experimentos com diferentes constelações GNSS e suas combinações, conforme a evolução de equipamentos e métodos para períodos de cintilação ionosférica;
- ✓ Sabe-se que no Brasil há claramente regiões de atividade ionosférica distintas, havendo então a necessidade de investigações adicionais acerca do desempenho do posicionamento *GNSS* nessas diferentes regiões;
- ✓ Investigar a acurácia para o modo pós-processado.

Esta pesquisa 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 que comumente ocorrem 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.

REFERENCIAS

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

AGUIAR, C.R. *Grade ionosférica para aplicações em posicionamento e navegação com GNSS*. 2005. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

ALTUS, Positioning Systems. *APS-3 User Manual Receiver*. Bélgica, 2014.

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

_____. *Desenvolvimento e Implantação do RTK Em Rede para Posicionamento Geodésico no Estado de São Paulo*. 2011. 141p. Relatório de Pesquisa (Pós-doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

ALVES, D. B. M.; DALBELO, L. F. A.; MONICO, J. F. G. Análise da qualidade de uma estação de referência virtual através do Posicionamento por Ponto Preciso. In V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Presidente Prudente. *Anais...*, 2007.

ALVES, D. B. M.; MONICO, J. F. G. *GPS/VRS positioning using atmospheric modeling*. *GPS Solutions*, v.15, n. 3, p. 253-261, 2011.

ALVES, P.; AHN, Y.; LACHAPELLE, G. The effects of network geometry on network *RTK* using simulated *GPS* data. In: ION *GPS* 2003, Oregon Convention Center, Portland. *Proceedings...*, 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, pp.25-34, 2009.

ASHTECH MAGELLAN. PM100 - Receiver operating manual, 2011.

BARBOSA, E. M. *Integridade, Disponibilidade e Acurácia no posicionamento RTK e RTK em Rede: Investigação no Contexto da Rede GNSS Ativa de São Paulo*. 2010. 141p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

BATISTA, I. S. *Notas de aula do curso Introdução à ionosfera e a propagação de ondas*. Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2003.

CAMARGO, P.O. *Modelo regional da Ionosfera para uso em posicionamento com receptores de uma frequência*. 1999. 191p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CHEN, R.; LI, X.; WEBER, G. Test results of an *Internet RTK* system based on the *NTRIP* protocol. In: *ION GPS 2003*, Oregon Convention Center, Portland. *Proceedings...*, 2003.

CHUJO, A. M. *Tecnologias de navegação aérea por GNSS e DGNSS para operação CNS/ATM: Aplicações no Brasil*. Tese (Doutorado em Telecomunicações). ITA: São José dos Campos, SP, 2007. 156p.

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, 2002.

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

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

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

EL GISAWY, M. L. *Development of an ionosphere monitoring technique using GPS measurements for high latitude GPS users*. 2003. 161 p. Thesis. University of Calgary. Calgary.

FEDRIZZI, M. *Estudo do efeito das tempestades magnéticas sobre a ionosfera utilizando dados do GPS*. 2003. 223p. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

FONSECA JUNIOR, E.S. *O sistema GPS como ferramenta para avaliação da refração ionosférica no Brasil*. 2002. 176p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

FOTOPOULOS, G. *Parameterization of DGPS carrier phase errors over a regional network of reference stations*. 2000. 202f. University of Calgary, Calgary.

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.

GARCIA, D.A. *Sistema GNSS (Global Navigation Satellite System)*. Proyecto Fin de Carrera Escuela Politécnica Superior. Universidad Autónoma de Madrid, 2008. 106p.

HIROMUNE N.; NOBUMI H.; HAKJIN K.; SHINJI N.; YOSHINOBU S.; TETSURO I.; AKIO Y. *RTK-GPS Positioning in Japan by Virtual Reference Station (VRS) System with GPS-Based Control Station*. In *Proceedings...*, 2001.

ISHIKAWA, M. I. *Georreferenciamento em imóveis rurais: métodos de levantamento na aplicação da lei 10.267/2001*. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

ITU - INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION. *Ionospheric propagation data and prediction methods required for the design of satellite services and systems*. Manual de Recomendações, 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.

LEICK, A. *GPS satellite surveying*. 3rd. ed.: New York: John Wiley & Sons, 2004. 435p.

LEITE, C. C. P.; SOUZA, C. R. R.; ANJOLETE JR, N. *Metodologias para levantamentos de propriedades rurais para atender a Lei 10.267/01*. 2005. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Cartográfica). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MAINI, A. K; AGRAWAL, V. *Satellite technology: principles and applications*. Hoboken, N.J.: John Wiley, 2007.

MAREL, H. van der. Virtual GPS Reference Stations in the Netherlands. In: ION GPS 1998, Nashville, Tennessee. *Proceedings...*, 1998.

MARQUES, H. A. *PPP em tempo real com estimativa das correções dos relógios dos satélites no contexto de rede GNSS*. 2012. 244 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

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*. 2005. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Cartográfica). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MARZOOQI Y. AL, FASHIR H., BABIKER T. Establishment of Dubai Virtual Reference System (DVRS) National GPS-RTK Network. *FIG Working Week*, April 16-21, Cairo. *Proceedings...*, 2005.

MATSUOKA. *Influência de diferentes condições da ionosfera no posicionamento por ponto com GPS: Avaliação na região brasileira*. 2007. 263 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MCNAMARA, L. F. *The ionosphere: Communications, surveillance, and direction finding*. Florida: Krieger Publishing Company, 1991. 237p.

MENDONÇA, M. A. M. *Investigação e Técnicas de Mitigação dos Efeitos da Cintilação Ionosférica no Posicionamento por GNSS*. 2013. 146f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MENDONÇA, M. A. M.; MONICO, J. F. G.; MOTOKI, G. M. Efeitos da cintilação ionosférica na agricultura de precisão: Um estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, Presidente Prudente, SP. *Anais...*, 2012.

MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações*. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2008. 476p.

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.

NASA. *SOLAR AND HELIOSPHERE OBSERVATORY / NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION*. Disponível em: < <http://sohowww.nascom.nasa.gov/> > Acesso em 10 jun. 2014.

NTRIP. *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP)*, version 1.0. 2014. Disponível em: <<http://epsagnss.usal.es/documentos/NTRIPdocumentation.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2014.

OMAR, S.; RIZOS, C. Design of Reliable Communication System for Continuous GPS Reference Station Networks. In: ION GPS 2003, Oregon Convention Center, Portland. *Proceedings...*, 2003.

PIETIKAINEN, M. From Control Points to VRS – The Development of Using GPS in National Land Survey of Finland. *FIG Working Week, May 22-27, Athens*. In *Proceedings...* 2004.

PINTO, M. S. *Influência da combinação e modernização dos sistemas que integram o GNSS no georreferenciamento de imóveis rurais*. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

RAMOS, A. M. *Aplicação, Investigação e Análise da Metodologia de Reduções Batimétricas Através do Método GPS Diferencial Preciso*. 2007. 221p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná.

RETSCHER, G. Accuracy Performance of Virtual Reference Station (VRS) Networks. *Journal of Global Positioning System*, v.1, n.1, p.40-47, 2002.

RIZOS, C. Network RTK research and implementation - A geodetic perspective. *Journal of Global Positioning System*, v.1, n.2, p.144-150, 2002.

RODRIGUES, F.S.R. *Estudo das irregularidades ionosféricas equatoriais utilizando sinais GPS*. 2003. 151p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

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

SILVA, H. A. Avaliação de modelos estocásticos no posicionamento GNSS. 2009. 108f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

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.

SOUZA, J.S.; ALVES, D.B.M.; VANI, B.C. Estudo Do Comportamento Da Cintilação Ionosférica Em Diferentes Regiões Brasileiras E Seu Impacto No Posicionamento GNSS. RBC. *Revista Brasileira de Cartografia*. 2014.

TIWARI, R.; SKONE, S.; TIWARI, S.; STRANGEWAYS, H. J. 3WBMod Assisted PLL GPS Software Receiver for Mitigating Scintillation Affect in High Latitude Region. IEEE, *Proceedings...* 2011.

TORAN, F. J.; VENTURA, T. R.; ZARRAOA, J. N.; CRUZ, A. The EGNOS Data Access System (EDAS): Real Time Access to the EGNOS Products for Multi-Modal Service Provision. *Proceedings...* Workshop on EGNOS Performances and Applications. Polan. 2005.

TRIMBLE. Trimble® *Pivot™* Platform GNSS Infrastructure Software. User Guide. 2013.

VAN DIERENDONK, A. J. Measuring ionospheric scintillation effects from GPS signals. ION 59th Annual Meeting. Albuquerque, New Mexico. *Proceedings...*, 2001.

VANI, B. C. Análise da cintilação ionosférica no Brasil empregando GNSS e técnicas de mineração e visualização de dados. 2014. 127f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

VOLLATH, U.; BUECHERL, A.; LANDAU, H.; PAGELS, C.; WAGNER, B. Multi-base RTK positioning using virtual reference station. ION GPS. *Proceedings...*, 2000.

WALTER, T. *et al.* Effects of ionospheric scintillations on *GNSS*: A white paper. SBAS Ionospheric Working Group, 2010.

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, pp1419-1427. 2009.*

_____. Virtual reference stations for centimeter-level kinematic positioning. ION *GPS*, Portland, Oregon. *Proceedings...*, 2002.

_____. Ionospheric disturbance indices for *RTK* and network *RTK* positioning. ION *GPS*, Long Beach, California, p. 2849- 2854, *Proceedings...* 2004.

WEBSTER, I. *A regional model for prediction of ionospheric delay for single frequency users of the Global Positioning System.* 1993. Msc Thesis. Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, New Brunswick, Canada.

WERNIK, A. W., ALFONSI, L., MATERASSI, M., Scintillation modeling using in situ data, *Radio Sci.*, 42, RS1002, doi: 10.1029/2006RS003512, 2007.

WU, F.; KUBO, N.; YASUDA, A. Estimation of Atmospheric Delays Using Multiple Reference Stations for *RTK-GPS* Positioning. In: ION *GPS* 2003, Oregon Convention Center, Portland. *Proceedings...*, 2003.

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, Malaysia. *Proceedings...*, 2003.

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.