

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE
Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas

Marcelo Solfa Pinto



**INFLUÊNCIA DA COMBINAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DOS
SISTEMAS QUE INTEGRAM O GNSS NO
GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS**

PRESIDENTE PRUDENTE
2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE
Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas

Marcelo Solfa Pinto



**INFLUÊNCIA DA COMBINAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DOS
SISTEMAS QUE INTEGRAM O GNSS NO
GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP campus de Presidente Prudente.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Oliveira Camargo
Co-orientador: Prof. Dr. João Francisco Galera Monico

PRESIDENTE PRUDENTE
2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Pinto, Marcelo Solfa.

P729i Influência da combinação e modernização dos sistemas que integram o
GNSS no georreferenciamento de imóveis rurais /Marcelo Solfa Pinto. -
Presidente Prudente : [s.n], ano
91 f.

Orientador: Paulo de Oliveira Camargo

Co-orientador: João Francisco Galera Monico

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências e Tecnologia

Inclui bibliografia

1. Georreferenciamento. 2. GPS/GLONASS. 3. L2C. I. Camargo, Paulo de
Oliveira. II. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e
Tecnologia. III. Título.

BANCA - APROVAÇÃO

DADOS CURRICULARES

Marcelo Solfa Pinto

Nascimento	15.04.1987 – Santa Fé do Sul – SP
Filiação	Eliodorio Rodrigues Pinto Filho Aparecida Donizete Solfa Pinto
2005 – 2009	Graduação em Engenharia Cartográfica pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Campus de Presidente Prudente.
2010 – 2012	Mestrado em Ciências Cartográficas pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Campus de Presidente Prudente.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e minha irmã, Eliodoro, Aparecida e Mell, pelo incentivo, carinho e apoio que deram para desenvolver o trabalho.

À minha noiva Tatiane, pelo carinho e apoio nos momentos difíceis durante o desenvolvimento do trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar sabedoria para o desenvolvimento do trabalho e para passar pelas situações que ocorreram durante o mesmo.

Aos meus pais, Eliodorio e Aparecida, por me incentivarem nos estudos e apoiarem minhas decisões e, acima de tudo, pelo carinho e dedicação que tiveram a mim. Agradeço também a Mell, irmã querida, por me apoiar em todo o tempo e, principalmente, durante os anos que moramos juntos em Presidente Prudente.

À minha noiva Tatiane, que sempre esteve ao meu lado durante o desenvolvimento do trabalho, me apoiando e motivando para a conclusão do mesmo, que compreendeu os momentos em que a dediquei menos atenção e tempo para o desenvolvimento do trabalho.

Aos orientadores Paulo e Galera pela dedicação na orientação do trabalho, pelas conversas e troca de conhecimentos.

Aos professores do Departamento de Cartografia, pelo conhecimento transferido durante os anos de graduação.

Aos professores Mauro e João Chaves, pelas considerações e sugestões realizadas no exame de qualificação.

Ao CNPq, que fomentou o trabalho durante parte do seu desenvolvimento.

A Duke Energy, em especial, ao pessoal da Gerência de Patrimônio (Vinicius, Fabio, Edilson, Guilherme, Rodrigo, Antonio Sergio e Ivan) que viram em mim um profissional ao nível da empresa para desenvolver as atividades de Cartografia e que se tornaram grandes amigos, com quem aprendi muito.

Aos amigos do PPGCC pelas horas de conversas, auxílios, diversões, churrascos, cafés e demais momentos. Não vou citar nomes para não cometer o deslize de esquecer alguém.

EPÍGRAFE

*Mas os homens devem saber que só Deus e os anjos
podem ser espectadores do teatro da vida humana.*

Francis Bacon

RESUMO

A questão agrária sempre foi e ainda é um tema bastante discutido no Brasil, principalmente no que diz respeito à posse da terra. A Lei nº 10.267, de 28 de Agosto de 2001, foi um grande avanço para a questão agrária, pois a altera o Sistema Público de Registro de Terras e cria o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais (CNIR). A partir de então, todos os imóveis rurais devem ser georreferenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Esta lei tem por objetivo evitar a apropriação irregular de terras e identificar terras devolutas federais e estaduais. Para o georreferenciamento dos imóveis ao SGB são utilizados métodos de posicionamento por satélites e convencionais. Mudanças vêm ocorrendo nos sistemas de posicionamento por satélites em razão do acréscimo de novos sinais no GPS (*Global Positioning System*), a reestruturação do GLONASS (*Global Orbiting Navigation Satellite System*), além dos novos sistemas que vêm sendo desenvolvidos, como o Galileo e o Beidou/Compass. O acréscimo de observáveis advindas de outros sistemas, além do GPS, possibilita uma nova geometria na distribuição dos satélites e aumento significativo do número de observáveis por época. Para avaliar os efeitos da combinação de dados GPS/GLONASS e o sinal modernizado GPS, foram realizados processamentos com diferentes configurações de sistemas e tempo de rastreamento. As estratégias de processamento foram aplicadas para o transporte de coordenadas dos pontos de apoio básico e determinação dos pontos limítrofes de imóveis rurais. Ao final, verificou-se que o uso de efemérides precisas no transporte de pontos de apoio não apresenta influência relevante, pois o transporte com efemérides transmitidas também atende a exigência de precisão da Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais (NTGIR); o posicionamento por ponto preciso (PPP) também apresentou precisão satisfatória para o processamento dos pontos de apoio básico. No caso dos pontos limítrofes, o uso de dados GPS/GLONASS também são recomendados, até mesmo com tempo de rastreamento menores; pois, apresentou os melhores resultados, tanto para determinação de apoio, quanto de pontos limítrofes.

Palavras-chave: Georreferenciamento, imóveis rurais, GPS, GLONASS, L2C.

ABSTRACT

The land question has always been and still is a topic widely discussed in Brazil, especially with regard to land tenure. The establishment of Law No. 10,267 on August 28, 2001 was a major breakthrough for the agrarian question, because amending the Public Registry of Lands and creating the National Registry of Rural Properties was a breakthrough. Since then, all rural properties must be georeferenced to the Brazilian Geodetic System (BGS). This law aims to prevent the illegal appropriation of land and identify federal and state lands. For georeferencing of property to the BGS methods used satellite positioning and conventional survey are used. Changes have been occurring in the satellite positioning systems, due to the addition of new signals in the GPS system, restructuring of the GLONASS system, as well as new systems are being developed, such as Galileo and Beidou/Compass. The addition of observables arising from other systems, in addition to GPS, enables a new geometry in the distribution of satellites and a significant increase in the number of observables per epoch. To evaluate the effects of combination data GPS/GLONASS and modernize GPS signal, processing was performed with different system configurations and time tracking. The processing strategies have been applied for the transport of coordinates of the points of support and determining the neighboring points. Finally, it was found that the use of precise ephemeris in coordinate transport does not have an important influence, because the broadcast ephemeris was also satisfactory when required, according to Standard Technique Georeferencing Rural Properties, the precise point positioning (PPP) also showed satisfactory accuracy for such processing of support point. In the case of adjacent points, the same system is also recommended, even with lower trace time. Also been found that the use of data GPS/GLONASS showed the best results, both for determination of support point as limits.

Keywords: Georeferencing, rural properties, GPS, GLONASS, L2C.

Lista de Figuras

Figura 1 – Estações da RBMC	29
Figura 2 - Estrutura básica dos sinais GPS.....	34
Figura 3 - Rede GPS/GLONASS (esquerda) e rede GPS e GPS/GLONASS (direita).....	50
Figura 4 - Efeito do multicaminho nos sinais Galileo e GPS.....	57
Figura 5 - Área teste e divisões	64
Figura 6 - Estações da RBMC utilizadas.....	66
Figura 7 - Discrepâncias planimétrica entre os pontos do apoio básico (Estratégias 1 e 2).....	72
Figura 8 - Precisão planimétrica dos pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 2).....	72
Figura 9 - Discrepâncias planimétrica entre os pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 3).....	74
Figura 10 - Precisão planimétrica dos pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 3).....	74
Figura 11 - Discrepância planimétrica entre os pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 4)	76
Figura 12 - Discrepância planimétrica entre os pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 5)	77
Figura 13 - Precisão planimétrica dos pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 5).....	78
Figura 14 - Discrepância planimétrica entre os pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 5)	80
Figura 15 - Precisão planimétrica dos pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 5).....	80
Figura 16 - Discrepância planimétrica entre os pontos limítrofes (Estratégias 1 e 2).....	83
Figura 17 - Precisão planimétrica dos pontos limítrofes (Estratégias 1 e 2).....	84
Figura 18 - Discrepância planimétrica entre os pontos limítrofes (Estratégias 1 e 3).....	85
Figura 19 - Precisão planimétrica dos pontos limítrofes (Estratégias 1 e 3).....	86
Figura 20 - Discrepância planimétrica os pontos limítrofes (Estratégias 1 e 4).....	87
Figura 21 - Precisão planimétrica dos pontos limítrofes (Estratégias 1 e 4).....	88
Figura 22 - Discrepância planimétrica entre os pontos limítrofes (Estratégias 1 e 5).....	89
Figura 23 - Precisão planimétrica dos pontos limítrofes (Estratégias 1 e 5).....	90
Figura 24 - Discrepância planimétrica entre os pontos limítrofes (Estratégias 1 e 6).....	91
Figura 25 - Precisão planimétrica dos pontos limítrofes (Estratégias 1 e 6).....	91
Figura 26 - Discrepância entre os dados de referência e os processados sem L2C.....	99
Figura 27 - Precisão planimétrica dos pontos processados sem dados L2C	100
Figura 28 - Precisão planimétrica dos pontos processados com dados L2C.....	100
Figura 29 - Precisão planimétrica dos pontos processados com dados L2C.....	101
Figura 30 - Comparação das discrepâncias utilizando ou não os dados L2C.....	101
Figura 31 - Precisão planimétrica dos dados utilizando ou não dados L2C.....	102

Lista de tabelas

Tabela 1 - Número de propriedades certificadas e profissionais por Estado.	28
Tabela 2 - Frequência dos sinais Galileo.....	40
Tabela 3 – Frequência dos sinais GPS (L), GLONASS (G) e Galileo (E).....	41
Tabela 4- Efeitos da ionosfera das observáveis GNSS.....	54
Tabela 5 - Estratégias de processamento dos pontos de apoio básico.....	67
Tabela 6 - Estratégias de processamento dos pontos limítrofes	68
Tabela 7 - Comprimento as linhas de base.	70
Tabela 8 - Valores de PDOP – Estratégia 1 e 2.....	70
Tabela 9 - Coordenadas e desvios-padrão dos pontos de apoio ajustados – Estratégia 1.	71
Tabela 10 - Coordenadas e desvios-padrão dos pontos de apoio ajustados - Estratégia 2.	71
Tabela 11 - Valores de PDOP – Estratégia 3.....	73
Tabela 12 - Coordenadas e desvios-padrão de resultados GPS – Estratégia 3.....	73
Tabela 13 - Valores de PDOPs – Estratégia 4.	75
Tabela 14 - Coordenadas e desvios-padrão do processamento – Estratégia 4.	75
Tabela 15 - Coordenadas e desvios-padrão dos pontos – Estratégia 5.....	77
Tabela 16 - Coordenadas e desvios-padrão obtidos com PPP – Estratégia 6.....	79
Tabela 17 - Coordenadas GPS/GLONASS dos pontos limítrofes – Estratégia 1.	82
Tabela 18 - Resumo das discrepâncias dos processamentos com relação a estratégia 1.....	93
Tabela 19 - Discrepância entre as coordenadas do estático rápido (15 min.) e as de referência	95
Tabela 20 - Valores das precisões das coord. no método estático rápido com 15 minutos.....	96
Tabela 21 - Discrepância entre as coordenadas do estático rápido (5 min.) e as de referência	97
Tabela 22 – Valores das precisões das coord. no método estático rápido com 5 minutos.....	98

Lista de Abreviaturas e Siglas

APP	Área de Preservação Permanente
ARNS	<i>Aeronautical Radio Navigation Service</i>
BIH	<i>Bureau International de l'Heure</i>
C/A	<i>Coarse/Acquisiton</i>
CCIR	Certificado de Cadastro de Imóvel Rural
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CIR	<i>Cascade Integer Resolution</i>
CNIR	Cadastro Nacional de Imóveis Rurais
CODE	<i>Center of Orbit Determination for Europe</i>
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CTP	<i>Conventional Terrestrial Pole</i>
DCB	<i>Differential Code Biases</i>
DD	Dupla Diferença
DGNSS	<i>Diferencial GNSS</i>
EGNOS	<i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i>
ENCORE	<i>Enhanced Code Galileo Receiver</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
FAPESP	Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo
FDMA	<i>Frequency Divison Multiple Access</i>
GAGAN	<i>GPS Aided Geo Augmented Navigation</i>
GCC	<i>Galileo Control Centers</i>
GLONASS	<i>Global Orbiting Navigation Sattelite System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSS	<i>Galileo Sensor Stations</i>
GST	<i>Galileo System Time</i>
GTRF	<i>Galileo Terrestrial Reference Frame</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IERS	<i>International Earth Rotation and Reference Service</i>
IG	Instituto de Geomática
IGS	<i>International GNSS Service</i>
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ITESP	Instituto de Terras do Estado de São Paulo
ITRF	<i>International Terrestrial Reference Frame</i>
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>
LAMBDA	<i>Least-square Ambiguity Decorrelation Adjustment</i>
MDA	Ministério do Desenvolvimento Agrário
MEO	<i>Medium Earth Orbits</i>
MSAS	<i>Multi-functional Satellite Augmentation System</i>
NAVSTAR	<i>Navigation Satellite with Time and Ranging</i>
NTGIR	Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais
PDOP	<i>Positioning Diluition Of Precision</i>

PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
PPS	Posicionamento por Ponto Simples
PPS	<i>Precise Positioning Service</i>
Prodes	Programa de cálculo do desflorestamento da Amazônia
PZ-90	<i>Parametry Zemli 1990</i>
QIF	<i>Quase Ionospheric Free</i>
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RIBaC	Rede INCRA de Bases Comunitarias
RL	Reserva Legal
RNSS	<i>Radio Navigation Satellite Service</i>
RTCM	<i>Radio Technical Commission for Maritime Services</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SA	<i>Selective Availability</i>
SD	Simple Diferença
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPS	<i>Standard Positioning Service</i>
TAI	Tempo Atomico Internacional
TEC	<i>Total Electron Content</i>
TCAR	<i>Triple Carrier Ambiguity Resolution</i>
TU	Tempo Universal
UERE	<i>User Equivalent Range Error</i>
UTC	Tempo Universal Coordenado
VRS	<i>Virtual Reference Station</i>
WAAS	<i>Wide Area Augmentation System</i>
WGS – 84	<i>World Geodetic System 1984</i>

Sumário

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos.....	19
1.2 Justificativa.....	20
1.3 Conteúdo do trabalho	20
2 ESTADO DA ARTE EM GERENCIAMENTO DE TERRAS NO BRASIL	22
2.1 Legislação e Decretos.....	23
2.2 Implicação da Lei nº 10.267/01.....	26
2.3 Georreferenciamento	26
2.3.1 Situação Atual	27
2.3.2 Ações do Governo	30
2.4 Considerações.....	32
3 SISTEMAS GNSS E IMPACTO DA MODERNIZAÇÃO	33
3.1 GPS.....	33
3.2 GLONASS.....	36
3.3 Galileo	39
3.4 Observáveis GNSS	42
3.4.1 Pseudodistância	43
3.4.2 Fase da onda portadora.....	44
3.5 Sistemas de Referência.....	45
3.6 Combinação entre Sistemas e Observáveis GNSS	46
3.6.1 Impacto da modernização e integração GNSS no posicionamento relativo.....	47
3.6.2 Comparação do posicionamento GPS e GPS+GLONASS em uma rede GNSS.....	49
3.6.3 Combinações para minimizar os efeitos da ionosfera	51
3.6.4 Desenvolvimento de receptor Galileo para georreferenciamento de imóveis rurais	55
3.6.5 Processamento de dados GPS e GLONASS no Brasil.....	58
3.7 Métodos de Posicionamento Aplicados no Georreferenciamento de Imóveis Rurais.....	59
3.7.1 Posicionamento por Ponto.....	59
3.7.2 Posicionamento relativo	60
3.7.3 Posicionamento diferencial	61
4 METODOLOGIA	63
4.1 Área teste.....	63
4.2 Dados, Equipamentos e Softwares	64
4.3 Estratégias de Processamento.....	66
4.3.1 Transporte de coordenadas	66
4.3.2 Determinação dos pontos limítrofes.....	67
5 RESULTADOS.....	69
5.1 Transporte de coordenadas dos Pontos de Apoio Básico	69
5.1.1 Processamento de dados GPS/GLONASS com efemérides precisas – Estratégia 1	69
5.1.2 Processamento de dados GPS/GLONASS com efemérides transmitidas – Estratégia 2	71
5.1.3 Processamento de dados GPS com efemérides precisas – Estratégia 3.....	73
5.1.4 Processamento de dados GLONASS com efemérides precisas – Estratégia 4.....	74
5.1.5 Processamento das pseudodistâncias GPS/GLONASS – Estratégia 5	76
5.1.6 Processamento de dados GPS utilizando o PPP – Estratégia 6	79
5.2 Determinação dos Pontos Limites	81
5.2.1 Processamento de dados GPS/GLONASS com efemérides precisas – Estratégia 1	81
5.2.2 Processamento de dados GPS/GLONASS com efemérides transmitidas – Estratégia 2	82
5.2.3 Processamento de dados GPS com efemérides transmitidas – Estratégia 3.....	84
5.2.3 Processamento de dados GLONASS com efemérides transmitidas – Estratégia 4.....	86

5.2.5 Processamento das pseudodistâncias GPS/GLONASS com efemérides transmitidas – Estratégia 5	88
5.2.6 Processamento de dados por meio do PPP – Estratégia 6	90
5.2.7 Resumo dos resultados dos pontos limites das áreas.....	92
5.3 Processamento de dados GPS/GLONASS com diferentes tempos de coleta – Estratégias 7	94
5.4 Processamento de dados L2C – Estratégia 8	98
5.4.1 Posicionamento relativo sem dados L2C.....	99
5.4.2 Posicionamento relativo utilizando dados L2C.....	100
6 CONSIDERAÇÕES, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	103
REFERÊNCIAS	106
ANEXO A – Características dos receptores utilizados	111
ANEXO B – Tabelas Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais	112
ANEXO C – Planejamento para coleta de dados L2C.....	113
ANEXO D – Análise dos dados coletados referentes ao ponto M008.....	114

1 INTRODUÇÃO

O GNSS (*Global Navigation Sattelite System* – Sistema Global de Navegação por Satélite) é constituído por diferentes sistemas de posicionamento por satélites, os quais permitem o posicionamento de objetos sobre a superfície terrestre ou próxima dela. Dentre os sistemas que compõem o GNSS pode-se destacar o GPS (*Global Positioning System*), o GLONASS (*Global Orbiting Navigation Sattelite System*), o Galileo e o Beidou/Compass, bem como os sistemas de aumento como WAAS (*Wide Area Augmentation System - USA*), EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), o GAGAN (*GPS Aided Geo Augmented Navigation - Índia*), MSAS (*Multi-functional Satellite Augmentation System - Japão*) e SACCSA (Sistema de Aumentação para o Caribe, Centro e Sulamérica).

O GPS, desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, foi declarado operacional em 27 de abril de 1985, inicialmente destinado para fins militares. Porém, hoje é amplamente utilizado pela comunidade civil para navegação, posicionamento geodésico, mapeamento, agricultura de precisão, entre outras atividades. A partir de 2005 o GPS passou por um processo de modernização, com a adição de três novas observáveis, sendo duas pseudodistâncias advindas do código civil L2C e L5C e uma fase na portadora L5. Com a modernização do sistema e a implementação de novos sinais, espera-se melhorias na qualidade de posicionamento. A portadora L5 se encontra em dois satélites, já o sinal L2C, está disponível para o usuário desde 13 de novembro de 2005, atualmente em oito satélites (USNO, 2012).

O GLONASS também foi desenvolvido para fins militares e declarado operacional no final de 1995. No entanto, a falta de lançamentos de novos satélites para a substituição dos mais antigos provocou uma degradação no sistema. Somente a partir de 2004, iniciou-se o lançamento de novos satélites, criando expectativas bastante positivas. Atualmente, a constelação é composta por 31 satélites, estando em operação 24 deles (GLONASS, 2012). Satélites com alterações na configuração dos sinais estão sendo lançados, apontando para a modernização do sistema.

O Galileo é um sistema europeu de navegação por satélite especificamente desenvolvido para o uso civil. Esse sistema é uma iniciativa conjunta entre a Agência Espacial Européia e a Comissão Européia. Ainda em fase de desenvolvimento, conta atualmente com quatro satélites em órbita, sendo os últimos lançados em 21/10/2011 (ESA, 2012).

O sistema chinês Beidou/Compass, assim como o Galileo, se encontra em fase de desenvolvimento e, segundo Monico (2008), teve seu primeiro satélite lançado no ano 2000.

Atualmente, o sistema conta com cinco satélites geoestacionários da constelação Beidou e treze satélites da constelação Compass (CSP, 2012).

Assim, com o desenvolvimento de novos sistemas e a modernização dos já existentes, os levantamentos utilizando receptores GNSS deverão ter uma quantidade maior de observáveis e satélites, proporcionando benefícios aos usuários. Além disso, também gera o impulso para o desenvolvimento de novos receptores que colem dados de diferentes sistemas ou mesmo de todos.

No Brasil, dentre as várias aplicações em que o GNSS é utilizado, destaca-se o mapeamento de áreas rurais, ou seja, o Georreferenciamento de Imóveis Rurais, regulamentado pela Lei 10.267/01 (BRASIL, 2001), a realização da demarcação de Reserva Legal (RL) e Área de Preservação Permanente (APP), tendo em vista a grande área de vegetação que cobre o território nacional.

Outra aplicação que vem ganhando espaço no Brasil é a agricultura de precisão, na qual receptores GNSS são utilizados como um componente para o controle de máquinas em campo, mapeamento de produtividade, pulverização de fertilizantes e outras atividades.

A Lei 10.267/01 determina que a identificação e a localização dos limites e dos confrontantes das propriedades rurais sejam obtidas a partir de memorial descritivo, o qual deve conter as coordenadas dos vértices definidores da propriedade georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e precisão posicional igual, ou melhor, que 0,50 m (1 sigma), conforme estabelece a Portaria/INCRA/nº954 (INCRA, 2002).

O Decreto 4.449/02 (BRASIL, 2002) atribui ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) a competência de certificar se a poligonal, objeto do memorial descritivo, não se sobrepõe a nenhuma outra que conste de seu cadastro georreferenciado, bem como atenda a precisão estabelecida. Este teve a redação alterada pelo Decreto nº 5.570/05 (BRASIL, 2005), e posteriormente, em 2011, publicou-se o Decreto nº 7.620/11 (BRASIL, 2011), que traz novos prazos para as propriedades menores de 250 ha.

Anote-se que, de acordo com os números fornecidos pelo INCRA, apenas 37.857 propriedades foram georreferenciadas no país (INCRA, 2012), o que corresponde a 0,6% das 5,5 milhões de propriedades estimadas.

O Código Florestal, Lei 4.771/65 (BRASIL, 1965) determina que seja realizada a averbação junto aos Cartórios de Registro de Imóveis, as áreas de Reserva Legal e de Preservação Permanente (APPs). No caso de Reserva Legal, cada propriedade é obrigada a destinar uma porcentagem de sua área para conservação ambiental. Já em relação às APPs,

estas devem ser conservadas e demarcadas, no caso de existência na propriedade de cursos d'água ou nascentes.

Salienta-se que um novo texto para o Código Florestal foi aprovado parcialmente pelo Congresso Nacional e pela Presidência do Brasil, gerando Medida Provisória que está em vigor. Os artigos vetados retornaram à Câmara para discussões e deve ser votado pelo Congresso até outubro de 2012.

Tendo em vista as aplicações dos sistemas GNSS para mapeamento de áreas rurais e de conservação, pretendeu-se nesta pesquisa, avaliar o desempenho da combinação entre sistemas de posicionamento por satélites em situações reais encontradas no mapeamento destas áreas.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram realizados levantamentos de campo utilizando receptores GNSS que rastreiem dados GPS e GLONASS, e softwares para o processamento e análise dos dados. Os experimentos foram realizados em uma área teste, localizada no Assentamento São Jorge, administrado pelo ITESP (Instituto de Terras do Estado de São Paulo), no município de Presidente Bernardes – SP. Esta área teste foi estabelecida em parceria entre a FCT/UNESP e o ITESP, (LEITE *et al.*, 2005), possuindo área total de 1.115 hectares, subdividida em três áreas, simulando três propriedades a serem levantadas.

1.1 Objetivos

Analisar os impactos da combinação e a modernização dos sistemas GNSS no georreferenciamento de imóveis rurais, avaliando o desempenho dos mesmos em situações reais.

No contexto dos objetivos gerais, tem-se por objetivos específicos:

- Apresentar o estado da arte do gerenciamento de terras no Brasil;
- Estudar as características dos sistemas de posicionamento por satélites GPS, GLONASS e Galileo;
- Avaliar o desempenho dos métodos de posicionamento relativo estático, relativo estático rápido e o posicionamento por ponto preciso (PPP) a luz da Norma Técnica (INCRA, 2010); e
- Avaliar o impacto da combinação dos sistemas GPS e GLONASS no posicionamento visando o georreferenciamento de imóveis rurais.

1.2 Justificativa

O interesse é cada vez maior por parte dos profissionais que atuam na área de posicionamento e levantamento, em utilizar receptores que rastreiem sinais de diferentes sistemas, ou seja, receptores multiconstelação. Tal interesse tem provocado à produção desses receptores em maior escala.

A atual reestruturação do GLONASS com o lançamento de novos satélites e a modernização do GPS com a transmissão de novos sinais disponibiliza um número maior de observáveis para os usuários, quando comparado apenas com dados GPS nos levantamentos.

Para o processamento dos dados, novos softwares e versões estão sendo lançados, nos quais estão implementados modelos de integração de dados GNSS. Assim, existe uma necessidade de se testar os softwares comerciais para se verificar o desempenho de processamento do algoritmo de integração dos dados e o processamento com a introdução de novos sinais.

Outro fator relevante do projeto é a análise de coordenadas e precisões finais, que é baseada em dados que foram coletados em situações reais, com presença de vegetação, construções e tempo menor de coleta, o que simula o cenário encontrado por profissionais durante suas atividades de levantamento. Ao contrário de outros trabalhos, como o de Bruyninx (2006), em que os dados foram coletados nas estações de referência, situadas em pilares de concreto, com antenas capazes de atenuar o multicaminho dos sinais, ou seja, com controle das interferências que os sinais podem sofrer.

Por fim, destaca-se que a pesquisa pode contribuir com a decisão de se utilizar ou não, diferentes sistemas e novos sinais, até o momento da consolidação da modernização, além de fornecer subsídios para o aprimoramento da Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais (NTGIR), em suas próximas versões.

1.3 Conteúdo do trabalho

O trabalho está dividido em seis capítulos, sendo o primeiro destinado à introdução do tema a ser tratado na pesquisa. O segundo capítulo trata do estado da arte em gerenciamento de terras no Brasil. O capítulo 3 apresenta os sistemas globais que contém o GNSS, as observáveis, sistemas de referência e resultados apresentados na combinação de sinais e sistemas. A área teste, equipamentos e estratégias de processamento são descritos no capítulo 4. No quinto capítulo são apresentados os resultados dos processamentos dos dados, ou seja,

são os resultados obtidos no transporte de coordenadas para o apoio básico e para a determinação dos pontos limítrofes. Por fim, no sexto capítulo apresentam-se as conclusões e recomendações.

2 ESTADO DA ARTE EM GERENCIAMENTO DE TERRAS NO BRASIL

O sistema de registro de imóveis brasileiro, baseado no modelo germânico, determina que só tem direito à propriedade quem registra o imóvel. Neste sistema, cada imóvel constitui um cadastro e traz consigo toda sua história, o que proporciona maior segurança às transações imobiliárias.

No Brasil, o registro de imóveis rurais era separado do cadastro técnico. Porém, com a Lei 10.267/01, de 28 de agosto de 2001 (BRASIL, 2001), buscou-se a união entre o registro e o cadastro; formando uma única base de dados do imóvel.

A lei não só combate a grilagem de terras e a formação ilegal de latifúndios, mas também cria o cadastro técnico rural, que é um grande avanço na cartografia cadastral brasileira, pois gera um banco de dados territoriais georreferenciados, constituindo uma ferramenta de grande importância para a gestão territorial, planejamento e desenvolvimento do país.

Quanto ao registro de imóveis urbanos, ainda não existe uma lei que determine as diretrizes e aponte uma junção entre o cadastro e o registro, nem normas de levantamento e precisão mínima exigida. Porém, trabalhos estão sendo desenvolvidos neste sentido pelo Ministério da Cidade, visto que o ambiente urbano é mais complexo que o rural.

Com relação ao meio ambiente, o Código Florestal Brasileiro (Lei 4.771/65 de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965)), estabelece as regras de uso, preservação e conservação das florestas e outras formas de vegetação em propriedades rurais por meio de duas figuras jurídicas distintas criadas pelo Direito Ambiental: Área de Preservação Permanente e a Reserva Legal. Elas estabelecem limites para a exploração plena da propriedade rural, em sua atividade extrativa ou agropastoril. São figuras jurídicas que incidem na propriedade rural como encargos particular e individual, embora revertam em benefício social e coletivo gratuito.

Salienta-se que um novo texto para o Código Florestal foi elaborado, aprovado pela Câmara e Senado, porém com alguns vetos da presidência, o que fez com que o texto retorne a câmara para novas tratativas, embora o texto apresente eficácia por meio de uma medida provisória, ou seja, alguns artigos já estão em vigor.

As Áreas de Preservação Permanente (BRASIL, 1965) constituem áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, além de proteger o solo e assegurar o bem-estar da população.

A Reserva Legal configura-se em uma porcentagem variável do domínio de cada propriedade rural, na qual deve ser conservada a vegetação nativa e só é permitida a exploração econômica de forma sustentável. Tal porcentagem é calculada em função da região que está localizada a propriedade rural. Na Amazônia Legal, 80% da propriedade deve ser destinada à reserva legal. Recentemente, o INCRA editou a Norma Técnica para Georreferenciamento em Ações de Regularização Fundiária Aplicada à Amazônia Legal (INCRA, 2009).

As Áreas de Proteção Permanente e de Reserva Legal são isentas de tributação e do pagamento de imposto Territorial Rural (BRASIL, 1996), desde que seja realizada a sua averbação. Para isso, é necessário que seja registrada em cartório as áreas de cada unidade ambiental da propriedade rural, que devem ser georreferenciadas.

2.1 Legislação e Decretos

A Lei 10.267/01 (BRASIL, 2001) determina que a identificação, a localização, os limites e os confrontantes das propriedades sejam obtidos a partir de memorial descritivo, o qual deve conter as coordenadas dos vértices definidores da propriedade georreferenciada ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). A precisão posicional estabelecida para as coordenadas deve ser igual, ou melhor, do que 0,50 m (01 sigma), conforme o decreto normativo nº 4.449/02 (BRASIL, 2002). O decreto atribui ao INCRA a competência de certificar se o polígono objeto do memorial descritivo não se sobrepõe a nenhuma outra propriedade que conste de seu cadastro georreferenciado.

Esta lei determinou a criação do CNIR (Cadastro Nacional de Imóveis Rurais), que terá uma base comum de informações, gerenciada pelo INCRA e pela Secretaria da Receita Federal, produzida e compartilhada por diversas instituições públicas federais e estaduais, produtoras e usuárias de informação sobre o meio rural brasileiro.

As principais características do CNIR são:

- Criação de uma base comum de informações compartilhadas, gerenciada pelo INCRA e Receita Federal;
- Estabelecimento de um código único para os imóveis rurais cadastrados facilitando sua identificação;
- Facilitar a troca de informações entre os serviços de registro e o INCRA;

- Determinar que o INCRA encaminhe aos serviços notariais, que devem fazer constar nas escrituras, dados do Certificado de Cadastro de Imóvel Rural (CCIR);
- Estabelecer que qualquer alteração, inclusive os destacados do patrimônio público, seja averbada nas matrículas imobiliárias;
- Obrigar os detentores dos imóveis a atualizar suas informações cadastrais, sempre que houver alteração em área, titularidade ou aspectos ambientais;
- Determinar que os registros dos imóveis situados em comarcas ou circunscrições limítrofes sejam feitos em todas elas devendo constar nesses registros tais ocorrências; e
- Afirmar a possibilidade do poder público promover retificação da matrícula, por via administrativa, quando for prejudicado, e os processos que envolvem terras da União passam para a alçada da Justiça Federal.

O cadastro nacional tem que ser realizado com base em medições georreferenciadas. Isso possibilita uma correlação entre os dados cadastrais (físicos) e os registrais (jurídicos). Essa integração cadastro/registro de imóveis demanda uma nova definição de métodos e ferramentas à medida que se passa a ter, com a incorporação da base cartográfica, uma definição técnica e qualificada do imóvel.

O decreto nº 4.449, de 30 de outubro de 2002 (BRASIL, 2002), regulamenta a Lei 10.267/01, e atribui ao INCRA e a Secretaria da Receita Federal o estabelecimento dos critérios técnicos para implementação, gerenciamento e alimentação do CNIR, bem como estabelece os prazos para a identificação da área do imóvel rural. O artigo 9º estabelece que a identificação do imóvel rural seja obtida a partir de memorial descritivo elaborado, executado e assinado por profissional habilitado e com a devida ART (Anotação de Responsabilidade Técnica), contendo as coordenadas dos vértices definidores dos limites dos imóveis rurais, georreferenciadas ao SGB, determinadas de acordo com a Norma Técnica elaborada pelo INCRA.

Em 17 de novembro de 2003 publicou-se a 1ª edição da Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais (INCRA, 2003). Recentemente a 2ª edição foi publicada em 22 de fevereiro de 2010 (INCRA, 2010), e revisada em agosto de 2011.

A identificação da área do imóvel rural, ou seja, o georreferenciamento imediato é exigido nos casos de desmembramento, parcelamento, remembramento e em qualquer

situação de transferência de imóvel rural. De acordo com o Decreto nº 5.570/05 (BRASIL, 2005), que dá nova redação aos dispositivos do Decreto nº 4.449/02, são estabelecidos os seguintes prazos para a nova identificação do imóvel rural, com início de contagem dos prazos em 20 de novembro de 2003, data de publicação da primeira edição da NTGIR:

- I– noventa dias, para os imóveis com área de cinco mil hectares, ou superior;
- II – um ano, para imóveis com área de mil a menos de cinco mil hectares;
- III – cinco anos, para os imóveis com área de quinhentos a menos de mil hectares; e
- IV – oito anos, para os imóveis com área inferior a quinhentos hectares.

O Decreto nº 7.620/11 estabelece os seguintes prazos para áreas menores que quinhentos hectares a partir de 21 de novembro de 2011:

- I– dez anos, para os imóveis com área de duzentos e cinquenta a menos de quinhentos hectares;
- II - treze anos, para os imóveis com área de cem a menos de duzentos e cinquenta hectares;
- III - dezesseis anos, para os imóveis com área de vinte e cinco a menos de cem hectares; e
- IV - vinte anos, para os imóveis com área inferior a vinte e cinco hectares.

A regularização ambiental, ou seja, a demarcação das APP e RL nas propriedades rurais, de acordo com o Decreto nº 7.029 de 10 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009), deve ser realizada em três anos em todas as propriedades rurais. Caso contrário, os proprietários que não cumprirem o prazo estabelecido, incluindo a averbação, estarão passíveis de penalidade, advertência e multa.

O Decreto nº 7.029 de 10 de dezembro de 2009 instituiu um programa federal de apoio à regularização ambiental de imóveis rurais, denominado Programa Mais Ambiente, que proporciona diversas vantagens aos proprietários que aderirem ao programa. Para a adesão, é necessária a determinação dos limites da propriedade juntamente com o mapeamento de remanescentes de vegetação nativa, proposta da localização das APP e RL. Para isso, é preciso realizar o georreferenciamento da propriedade rural visando a legalização ambiental.

2.2 Implicação da Lei n° 10.267/01

Com a criação de um único cadastro (CNIR), a lei combate a grilagem de terras e o fornecimento de escrituras falsas. Sem a documentação de certificação da propriedade está cada vez mais difícil obter empréstimos e financiamentos junto a instituições financeiras.

O georreferenciamento proporciona ao proprietário e a sociedade diversos benefícios como:

- Proteção do direito de propriedade;
- Definição clara dos limites da propriedade, pois há a declaração dos confrontantes;
- Segurança em procedimentos como retificação, parcelamento, desmembramento, remembramento;
- Regularização de matrícula e certidão do imóvel, pois seus vértices estão referenciados ao SGB;
- Maior valorização do imóvel, pois a certificação oferece maior confiabilidade no mercado de terras; e
- Agilidade de transações financeiras.

O conhecimento da malha fundiária permite ao Estado o controle das ocupações de terras, a detecção de terras ocupadas irregularmente, o combate ao desmatamento desordenado e a melhoria na distribuição de investimentos de acordo com as características de cada região. Além desses benefícios, pode-se citar a correta aplicação de tributos, a detecção de sobreposição de propriedades particulares e terras públicas e a identificação de terras devolutas, as quais podem ser destinadas à reforma agrária.

Com o georreferenciamento, principalmente da Amazônia Legal, a definição dos limites das propriedades possibilita a detecção de áreas dentro desta área, o que permite verificar se estão sendo respeitadas pelos proprietários as Áreas de Reserva Legal.

2.3 Georreferenciamento

Serão apresentadas a seguir algumas informações do georreferenciamento em relação à quantidade de profissionais e propriedades certificadas por estado. Também são apresentados alguns esforços para a melhoria da infraestrutura geodésica de apoio aos

levantamentos e, por fim, algumas ações governamentais que visam promover o georreferenciamento em massa em algumas áreas do país.

2.3.1 Situação atual

O Brasil possui, aproximadamente, 5,5 milhões de imóveis rurais e somente 0,6% desses imóveis foram georreferenciados e certificados pelo INCRA até setembro de 2012. Trata-se de um número muito pequeno considerando-se a quantidade de propriedades existentes. A tabela 1 apresenta o total de propriedades certificadas por estado, e também a quantidade de profissionais credenciados no INCRA para executar tais atividades.

Tabela 1 - Número de propriedades certificadas e profissionais por Estado.

Estado	Imóveis	Profissionais
Acre	198	17
Alagoas	16	17
Amazonas	70	21
Amapá	5	16
Bahia	2193	275
Ceará	305	51
Distrito Federal	226	119
Espírito Santo	219	97
Goiás	4025	493
Maranhão	972	71
Minas Gerais	3016	783
Mato Grosso do Sul	6911	218
Mato Grosso	4373	441
Pará	679	272
Paraíba	233	20
Pernambuco	68	78
Piauí	673	90
Paraná	455	466
Rio de Janeiro	59	92
Rio Grande do Norte	171	41
Rondônia	597	66
Roraima	18	46
Rio Grande do Sul	1553	436
Santa Catarina	447	303
Sergipe	25	12
São Paulo	8363	1328
Tocantins	1984	171
Total	37857	6040

Fonte: <http://200.252.80.40/credencia/Lista2.asp> <http://200.252.80.40/credencia/Lista1.asp>
Acesso em 10 de setembro de 2012.

Com base nos números apresentados na tabela 1 e na porcentagem de propriedades certificadas, constata-se que o prazo estabelecido pelo Decreto nº 5.570/05 para o georreferenciamento não foi atendido, por isso, um novo decreto foi publicado, prorrogando estes prazos.

Atualmente, esforços vêm sendo realizados para melhorar a estrutura geodésica de apoio, como exemplo, a modernização da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) (figura 1), que disponibiliza dados da RIBaC (Rede INCRA de Bases Comunitárias) e da Rede GNSS SP da FCT/UNESP, que tem a maioria de seus dados disponibilizados pela RBMC.



Figura 1 – Estações da RBMC.

Fonte: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/RBMC_2012.pdf.

Outro exemplo de empenho no Brasil para a realização do georreferenciamento é um sistema desenvolvido pela empresa *Geo++*, em fase de testes, que vem sendo estabelecido pelo INCRA para o processamento *on-line* dos dados GNSS e a geração de VRS (*Virtual Reference Station*) na região do levantamento, que pode ser acessado em www.ribac.incra.gov.br. Também pode ser citado o serviço de PPP *on-line* disponibilizado

pelo IBGE, que pode ser utilizado na determinação de pontos de apoio imediato e de limites para o georreferenciamento (www.ibge.gov.br/geociencias/geodesia/ppp/default.shtml).

2.3.2 Ações do Governo

A Floresta Amazônica extrapola as fronteiras do Brasil e ocupa também alguns países vizinhos. Dentro do território nacional, em 1953, através da Lei 1.806/53 (BRASIL, 1953) o governo criou o conceito de Amazônia Legal, visando facilitar o planejamento econômico da região. De acordo com Brasil (1953), a Amazônia Legal abrange a região compreendida pelos Estados do Pará, Amazonas, Acre, Amapá, partes dos Estados de Mato Grosso Goiás e Maranhão.

O Governo Federal, por meio do Programa Terra Legal, vai titular a propriedade de terras públicas ocupadas por posseiros na Amazônia Legal (MDA, 2010). Nos próximos três anos, a meta é regularizar 296,8 mil posses de até 15 módulos fiscais ocupados por posseiros antes de 1º de dezembro de 2004. Um módulo fiscal tem, em média, 76 hectares.

O Programa Terra Legal, desenvolvido em parceria com estados e municípios, é coordenado pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). Ao entregar o título de propriedade, o Terra Legal Amazônia leva segurança jurídica aos produtores rurais da Amazônia Legal. E reforça as políticas públicas de preservação do meio ambiente na região.

O MDA, em novembro de 2009, publicou o primeiro edital para a contratação do georreferenciamento nas glebas federais a serem regularizadas pelo Programa Terra Legal Amazônia. Neste edital foi contemplado o georreferenciamento imediato de até 2.230 propriedades, distribuídas em oito glebas que, juntas, abrangem 18 municípios do Pará, Mato Grosso e Rondônia.

As primeiras glebas que foram mensuradas e demarcadas coincidiram com o roteiro elaborado pelo Mutirão Arco Verde Terra Legal, e envolveu a demarcação de 582,7 mil hectares nas glebas públicas federais dos municípios de: São Francisco do Guaporé, Costa Marques, Seringueiras, Mirante da Serra, Alvorada d'Oeste, Urupá, São Miguel do Guaporé, Nova União e Jaru, em Rondônia; Marabá, São Félix do Xingu, Novo Repartimento, Itupiranga, Breu Branco, Pacajá e Tucuruí, no Pará; Acorizal e Cuiabá, em Mato Grosso.

Trata-se de mais um esforço do governo para eliminar o caos fundiário na região e melhorar o desempenho do programa Terra Legal, criado no início de 2009 para regularizar quase 300 mil ocupações na região, onde, via de regra, trata-se de terras da União. Já foram aplicados no programa algo em torno de 30 milhões de reais em serviços topográficos, mas

até o início de janeiro de 2010, somente 297 propriedades haviam sido tituladas (MDA, 2010).

Em fevereiro de 2010, o MDA publicou um megaedital, no valor estimado de 100 milhões de reais, para a contratação de empresas de serviços de georreferenciamento. A medida visa agilizar a regularização de 80 mil imóveis de até 1,5 mil hectares na Amazônia.

Os municípios foram divididos em dezenove grupos, levando-se em consideração a proximidade física e geográfica para agilizar a medição. O menor lote, de 1,3 mil quilômetros quadrados, agrupa os municípios de Boca do Acre e Lábrea, no estado do Amazonas. Já o maior lote prevê a medição de 23,4 mil quilômetros em sete municípios no nordeste paraense: Aurora do Pará, Capitão Poço, Irituia, Mãe do Rio, Santa Luzia do Pará, São Domingos do Capim e Viseu. Com essa divisão, empresas de vários portes concorreram aos serviços de georreferenciamento.

Planejou-se para oito meses o trabalho de georreferenciar praticamente 50% do total de terras públicas federais a serem destinadas na Amazônia Legal, o que corresponde a mais de 30 milhões de hectares a serem georreferenciados pelo Terra Legal Amazônia.

O edital abrangeu 22% dos municípios da Amazônia Legal e 24% da área total da região. São nesses municípios que se concentram 40% do desmatamento acumulado até 2008, conforme o relatório do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) elaborado com base no Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (Prodes). Com isso, o monitoramento do desmatamento na Amazônia Legal aumentará depois do georreferenciamento e da titulação das áreas.

Também nesta direção o INCRA iniciou, em 2006, o georreferenciamento de imóveis rurais no município de São João da Boa Vista/SP, visando o cumprimento da Lei 10267/2001. Este município foi o primeiro do Brasil a ter todas as propriedades rurais de até quatro módulos fiscais (88 hectares), num total de aproximadamente mil imóveis, georreferenciadas e certificadas. Cada um dos proprietários recebeu, sem custos, uma planta e um memorial descritivo da propriedade, além do CCIR atualizado.

Em 2012, o INCRA iniciou uma parceria com o Exército Brasileiro para auxílio nos trabalhos de certificação de imóveis, e está prevista a avaliação de 20 mil processos de certificação (INCRA 2012).

2.4 Considerações

O Brasil possui legislação e um sistema de registro e cadastro que dá suporte ao gerenciamento de terras. Porém, a base de dados ainda é muito deficiente, em função da pouca quantidade de imóveis rurais certificados. Além dos custos, existe também uma demora relacionada ao processo de certificação, que é de responsabilidade do INCRA.

No Brasil, ainda não existe uma lei ou norma que regulamente o georreferenciamento de imóveis urbanos, apenas a NBR 14166 que apresenta alguns parâmetros para redes de referência cadastral, nem que estabeleça a precisão posicional para o mapeamento dos mesmos. A definição da precisão é complexa, pois o cadastro envolve áreas de diversas localizações e finalidades, tais como: comerciais, residenciais e industriais.

Destaca-se a aplicação do georreferenciamento no cadastro de infra-estrutura urbana, principalmente pelas empresas de energia, saneamento básico, telefonia, transporte, que podem alimentar um Sistema de Informações Geográficas (SIG) que serve de apoio ao planejamento e para a tomadas de decisões em ambiente urbano.

3 SISTEMAS GNSS E IMPACTO DA MODERNIZAÇÃO

Ainda que o GNSS seja composto por diversos sistemas, como os sistemas globais e regionais, nesta pesquisa serão considerados somente o GPS, GLONASS e Galileo. Atualmente, entre os três sistemas, o GPS e o GLONASS são utilizados nas atividades de posicionamento, pois no mercado nacional a maioria dos receptores captam os sinais advindos dos satélites de ambas as constelações e, conseqüentemente, são desenvolvidos softwares para o processamento dos dados integrados. Quanto ao Galileo, este se encontra em fase de desenvolvimento.

3.1 GPS

O GPS é um sistema de rádio navegação baseado em satélites e proporciona o posicionamento tridimensional e informação do tempo para usuários devidamente equipados (SEEBER, 2003).

O sistema foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América no início da década de 1960, sob o nome de projeto NAVSTAR (*Navigation Satellite with Time and Ranging*), visando ser o principal sistema de navegação das forças armadas americanas (MONICO, 2008).

Devido à potencialidade deste sistema, uma gama de usuários da comunidade civil emergiu de diversos ramos, como: navegação, agricultura de precisão, posicionamento geodésico, topografia e outros.

O GPS é composto por três segmentos: de controle, usuário e espacial. As principais tarefas do segmento de controle são (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; COLLINS, 1994):

- Rastreamento de satélites para a determinação e predição das órbitas e correção dos relógios dos satélites;
- Sincronização do tempo dos satélites; e
- Envio das mensagens de navegação para os satélites.

O segmento de usuário está relacionado com os receptores GPS. Podem-se dividir os usuários do GPS em duas classes, os militares e os civis.

No primeiro caso, militares, o GPS é empregado para localização e navegação em atividades militares, como deslocamentos e manobras militares. Um exemplo da aplicação do GPS em atividades militares foi o uso de receptores durante a Guerra do Golfo, em 1991. Já para os usuários civis diversas aplicações podem ser encontradas, e vão desde a navegação utilizando receptores em veículos nos centros urbanos, até atividades geodésicas de alta precisão e monitoramento de movimentos da crosta terrestre.

O seguimento espacial é composto pelos satélites e pelos sinais transmitidos pelos mesmos (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; COLLINS, 1994). É constituído de, no mínimo, 24 satélites MEO (*Medium Earth Orbits*), os quais estão distribuídos em seis planos orbitais igualmente espaçados, com quatro satélites em cada plano, em uma altitude aproximada de 20.200 km (MONICO, 2008). Atualmente, estão em órbita 32 satélites, sendo 11 do Bloco IIA; 21 do Bloco IIR e 2 do Bloco IIF (USNO, 2012). Dos 21 satélites do Bloco IIR, 8 transmitem o código L2C na portadora L2 e somente os satélites do Bloco IIF transmitem sinal L5 (L5C e L5).

Todos satélites GPS transmitem os sinais L1 e L2. A frequência L5 é transmitida somente pelos satélites do Bloco IIF, que é baseada na frequência fundamental f_0 de 10,23 MHz. A estrutura dos sinais GPS é apresentada na figura 2.

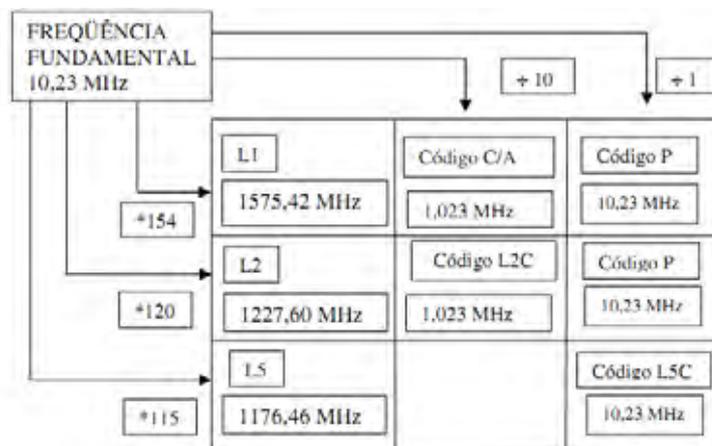


Figura 2 - Estrutura básica dos sinais GPS.
Fonte: Monico, 2008.

Segundo Monico (2008), as ondas portadoras L1, L2 e L5 são geradas a partir da multiplicação de f_0 por 154, 120 e 115, respectivamente. Assim, as frequências e os comprimentos de onda de L1, L2 e L5 são:

$$L1 = 1575,42 \text{ MHz e } \lambda \cong 19 \text{ cm..} \quad (1)$$

$$L2 = 1227,60 \text{ MHz e } \lambda \cong 24 \text{ cm..} \quad (2)$$

$$L5 = 1176,45 \text{ MHz e } \lambda \cong 25,5 \text{ cm..} \quad (3)$$

Segundo Hofmann-Wellenhof; Lichtenegger; Collins (1994) o uso de receptores que rastreiam duas frequências é essencial para a eliminação da principal fonte de erros, a refração ionosférica. Com o acréscimo de uma terceira onda portadora – L5 é possível fazer diferentes combinações para a eliminação dos efeitos da ionosfera e não somente as que são baseadas nas portadoras L1 e L2.

Existem quatro códigos que são modulados sobre as portadoras, C/A (*Coarse/Acquisition*), P, L2C e L5C. O código C/A é disponibilizado para o uso civil e designado para o SPS (*Standard Positioning Service*), possui comprimento de onda de aproximadamente 300 m é modulado somente sobre a portadora L1. O código P (*Precision Code*) é reservado para uso militar dos Estados Unidos e para usuários autorizados quando o AS (*Anti-Spoofing*) está ativado, é destinado para o PPS (*Precise Positioning Service*), possui comprimento de onda de aproximadamente 30 m, o código P é modulado nas portadoras L1 e L2.

O AS é uma técnica de segurança do acesso ao código P, que após ser criptografado passa a ser denominado código Y. Segundo Hofmann-Wellenhof; Lichtenegger; Collins (1994), a criptografia do código P é realizada nas portadoras L1 e L2, e foi permanentemente implementada em 31 de janeiro de 1994.

O código L2C, modulado na portadora L2, está disponível desde 13 de novembro de 2005 nos satélites do Bloco IIRM. Atualmente, os PRN 17, 31, 12, 15, 29, 07, 01 e 05 transmitem o código L2C.

Segundo Leandro (2008), o sinal L2C é dividido em dois códigos de diferentes comprimentos, um de comprimento moderado e outro de comprimento longo. O código CM (Comprimento Moderado) possui comprimento de 10.230 chips, repete a cada 20 milissegundos e é modulado com dados de navegação. O código CL (Comprimento Longo) possui comprimento de 767.250 chips, repete a cada 1,5 segundos e não possui dados modulados sobre o mesmo.

O sinal L5C é transmitido apenas pelos satélites do Bloco IIF e é um sinal exclusivamente civil, pois sua frequência pertence a ARNS (*Aeronautical Radio Navigation Service*). Este sinal será amplamente utilizado por usuários do setor de aviação, que utilizarão

receptores de dupla-frequência, o que resultará em uma melhora nos resultados em posicionamento (PULLEN; ENGE, 2004).

Quanto ao sistema de referência do GPS, utiliza-se o WGS – 84 (*World Geodetic System – 84*), que possui quatro realizações, sendo a última a G1150. O sistema é definido como:

- Origem localizada no centro de massa da Terra;
- O eixo Z na direção do CTP (*Conventional Terrestrial Pole*), como recomendado pelo IERS (*International Earth Rotation and Reference Service*);
- O eixo X na direção do ponto de intersecção do plano equatorial da Terra e o meridiano origem estabelecido pelo BIH (*Bureau International de l'Heure*); e
- O eixo Y completa o sistema tornando-o destrógero.

Quando se faz uso das efemérides transmitidas, a posição obtida pelo usuário está no referencial do GPS; no entanto, se as efemérides utilizadas forem as precisas, a posição estará no referencial ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*).

Em relação ao sistema de tempo GPS, segundo Monico (2008), foi estabelecido à 0h TU (Tempo Universal) de 06 de janeiro de 1980, no entanto não sofre o incremento do salto de segundos do UTC (Tempo Universal Coordenado).

O tempo GPS é contado pela semana GPS e pelos segundos da semana, que tem início a meia-noite de sábado para domingo. O número de semanas GPS (*GPS week number*) de cada ciclo varia de 0 a 1023, correspondendo, aproximadamente, a vinte anos (MONICO, 2008), sendo que o sistema encontra-se no segundo ciclo. O monitoramento do tempo GPS é realizado pelo *U.S. Naval Observatory*.

3.2 GLONASS

A antiga União Soviética está desenvolvendo, desde a década de 1970, um sistema de navegação muito similar ao GPS, denominado GLONASS (*Global Orbiting Navigation Sattelite System*). A denominação em russo é *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema*. Hoje, o GLONASS está sobre o controle da Federação Russa (SLATER et al.,1999 *apud* SEEBER, 2003).

No final de 1995, o sistema foi declarado operacional, contando com 24 satélites em órbita. No entanto, devido à falta de lançamento de novos satélites e a curta vida útil dos que

estavam em órbita, o número decresceu, chegando a sete satélites operacionais no final de 2002.

Assim como o GPS, o GLONASS é dividido em segmentos: de controle, usuário e espacial. O segmento de controle terrestre do GLONASS é responsável por (MONICO, 2008):

- Predizer as órbitas dos satélites;
- Transferir as efemérides, as correções dos relógios e os almanaques em cada um dos satélites;
- Sincronizar os relógios dos satélites com o sistema de tempo do GLONASS;
- Estimar as discrepâncias entre o sistema de tempo do GLONASS e o TUC_{US} (TUC da União Soviética); e
- Controlar os satélites.

O segmento de controle é formado por um centro de controle localizado em Moscou e por estações de monitoramento distribuídas pelo território da extinta União Soviética.

O segmento de usuário está relacionado com usuários do sistema de posicionamento. Podem-se dividir os usuários do GLONASS em duas classes, os militares e os civis.

Outra similaridade entre os sistemas GPS e GLONASS, é que ambos foram desenvolvidos para apoio a atividades militares, entretanto, usuários civis das mais diversas áreas fazem uso dos sistemas para desenvolver atividades de posicionamento e correlatas. Diferentemente do GPS, os sinais GLONASS não sofreram nenhum tipo de degradação para deterioração dos resultados obtidos pelos usuários, como a técnica de segurança SA (*Selective Availability*) aplicada ao GPS, desativada em 2000.

O segmento espacial é composto de, pelo menos 24 satélites e sinais transmitidos pelos mesmos. Estes estão distribuídos em três planos orbitais, com inclinação de 64,8° em relação ao plano do equador, cada plano possui oito satélites (GLONASS, 2008). A altitude média dos satélites é de 19.100 km. A inclinação maior das órbitas GLONASS possibilitam um aumento da acurácia e disponibilidade do sistema em altas latitudes (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; COLLINS, 1994). Atualmente, o sistema conta com 31 satélites em órbita, destes, 24 operacionais. O vigésimo quinto satélite está em fase de testes e difere dos demais por ser o primeiro CDMA (*Code Division Multiple Access*) (GLONASS, 2012).

Uma diferença substancial entre o GPS e GLONASS é a estrutura do sinal. O GPS usa a técnica CDMA, na qual todos os satélites transmitem as mesmas portadoras que são moduladas por códigos específicos de cada satélite. Em contraste, GLONASS utiliza FDMA (*Frequency Divison Multiple Access*), na qual, para cada satélite, duas portadoras com frequências diferentes são geradas (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; COLLINS, 1994). Uma nova série de satélites, denominada GLONASS-M utilizará a técnica CDMA, o que permitirá maior interoperabilidade entre o GLONASS e os demais sistemas, ou seja, GPS, Galileo e Compass; que utilizam CDMA.

O GLONASS transmite dois sinais na banda L, sendo estes modulados por dois códigos binários e mensagens de navegação. Diferentemente do GPS, todos os satélites GLONASS transmitem em frequências diferentes. As frequências L1 são (SEEBER, 2003):

$$f_{L1} = f_0 + k \Delta f_{L1} \quad k = 0, 1, 2, \dots, 24, \quad (4)$$

onde $f_0 = 1,602$ MHz, $\Delta f_{L1} = 0,5625$ MHz e k é o número da frequência do satélite. A relação entre L1 e L2 é dada por:

$$\frac{f_{L1}}{f_{L2}} = \frac{9}{7}. \quad (5)$$

A mensagem de navegação do GLONASS também difere do GPS. A cada meia hora os satélites transmitem sua posição, velocidade e aceleração. As posições dos satélites devem ser interpoladas pelo usuário a partir dos dados transmitidos (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; COLLINS, 1994).

Ao utilizar efemérides transmitidas, o usuário tem suas coordenadas no referencial PZ-90 (*Parametry Zemli* 1990), que é o referencial geodésico do GLONASS. No caso de utilizar efemérides precisas, o posicionamento se dará no mesmo referencial destas, que atualmente é o ITRF 2008. O PZ-90 é definido por (GLONASS, 2008):

- Origem localizada no centro de massa da Terra;
- O eixo Z é na direção do CTP (*Conventional Terrestrial Pole*), como recomendado pelo IERS (*International Earth Rotation and Reference Service*);
- O eixo X na direção do ponto de intersecção do plano equatorial da Terra e o meridiano origem estabelecido pelo BIH (*Bureau International de l'Heure*); e
- O eixo Y completa o sistema tornando-o destrógero.

Quando se realiza o posicionamento utilizando apenas dados GLONASS e efemérides transmitidas, o resultado é dado no referencial PZ-90, mas, quando há a integração entre GPS e GLONASS, é necessário que a posição seja determinada em um único sistema, ou seja, é preciso realizar a transformação de WGS-84 para PZ-90 ou vice-versa.

Segundo Seeber (2003), os sinais de navegação GPS e GLONASS estão referenciados a sistemas de tempo diferentes. O tempo GPS está relacionado com o UTC mantido pelo *U.S. Naval Observatory*, e o tempo GLONASS é baseado no UTC na União Soviética (UTC_{US}). Diferentemente do GPS, o sistema de tempo GLONASS considera o salto de segundo (*leap second*) e tem uma diferença constante de três horas devido à diferença de fuso entre Moscou e *Greenwich*. O sistema de tempo GLONASS é controlado pelo *GLONASS Central Synchronizer*, baseado em *masers* de hidrogênio.

A relação entre UTC e o tempo GLONASS é dada por (SEEBER, 2003):

$$t_{\text{UTC}} = t_{\text{GLONASS}} + \tau_c - 3^{\text{h}}. \quad (6)$$

A discrepância τ_c vem do conjunto de diferentes relógios utilizados no segmento de controle do sistema e pode variar vários milissegundos. τ_c é comunicado aos usuários GLONASS nas mensagens de navegação (SEEBER, 2003).

3.3 Galileo

Em desenvolvimento pela ESA (*European Space Agency*), juntamente com a Comissão Europeia e a indústria do mesmo continente, o Galileo é o sistema europeu de navegação por satélites de controle civil, ao contrário do GPS e GLONASS que foram criados para fins militares.

A constelação prevista para o sistema possui 30 satélites, sendo 27 operacionais e três de reserva, distribuídos em três planos orbitais MEO, com inclinação de 56° e altitude de 23.600 km. Com esta configuração de constelação, o Galileo apresentará boa cobertura em altas latitudes.

Atualmente, o sistema conta com quatro satélites em órbita. Os dois primeiros satélites foram lançados em 28 de dezembro de 2005 e 27 de abril de 2008 e os operacionais em 21 de outubro de 2011.

A missão do primeiro satélite, GIOVE A, é: assegurar a utilização das frequências atribuídas pela ITU (*International Telecommunications Union*) para o Galileo, demonstrar as

tecnologias essenciais para navegação, caracterizar o ambiente planejado para as órbitas Galileo e testar receptores na Terra (ESA, 2006). Posteriormente, lançou-se o satélite GIOVE B, visando novos testes com os satélites e sinais do sistema.

Segundo Akos et al. (2006) ambos os satélites, GIOVE A e GIOVE B, transmitem todos os sinais Galileo, no entanto, o GIOVE A transmite cada sinal por vez nas três portadoras e o GIOVE B faz a transmissão simultaneamente. Além disso, ambos transmitem os serviços Galileo para testes e validação. Já os dois últimos, são operacionais e transmitem todos os sinais do sistema.

Os sinais de navegação do Galileo são transmitidos em quatro frequências E1, E6, E5a, E5b. As frequências selecionadas para o sistema europeu estão alocadas no espectro para RNSS (*Radio Navigation Satellite Service*), e os sinais E1, E5a e E5b estão alocados no espectro para ARNS (*Signal in Space: Interface Control Document, 2010*). A tabela 2 apresenta as portadoras do Galileo e respectivas frequências.

Tabela 2 - Frequência dos sinais Galileo.

Sinal	Frequência (MHz)
E1	1575,420
E6	1278,750
E5	1191,795
E5a	1176,450
E5b	1207,140

Fonte: *Signal in Space: ICD, 2010*.

Observa-se que as portadoras L1 e L5 do GPS encontram-se na mesma frequência que as portadoras E1 e E5a do Galileo, o que pode vir a ser uma fonte de interferência. No entanto, isso deverá ser reduzido a partir da utilização de técnicas de modulação. Por outro lado, a sobreposição de sinais facilitará o desenvolvimento de antenas que rastreiem o mesmo sinal, garantindo a máxima interoperabilidade entre os sistemas (SEEBER, 2003). A tabela 3 apresenta um comparativo das frequências GPS, GLONASS e Galileo.

Tabela 3 – Frequência dos sinais GPS (L), GLONASS (G) e Galileo (E).

Portadoras	Abrangência da banda (MHz)	Múltiplo de 10,23 (MHz)	Frequência central (MHz)
E5a, L5	1164-1188	115	1176,45
E5b	1188-1215	117,5	1207,14
L2	1210-1240	120	1227,60
G2	1242,937-1247,75		Por satélite
E6	1260-1300	125	1278,750
L1, E1	1559-1610	154	1575,42
G1	1598,625-1604,25		Por satélite

Fonte: Monico, 2008.

O segmento de controle consiste de dois Centros de Controle Galileo (*Galileo Control Centers - GCC*). Um é responsável pelo controle dos satélites e geração dos dados de navegação de tempo e o outro pelo controle de integridade do sistema. Aproximadamente 30 estações monitoras, as GSS (*Galileo Sensor Stations*), enviarão dados para os GCCs.

Em relação ao sistema de tempo, o Galileo utiliza o GST (*Galileo System Time*), o qual é mantido pelo TAI (*International Atomic Time*). Segundo Hahn e Powers (2008), o limite do GST, expresso com um offset de tempo relativo para o TAI deve ser de 50 ns para 95% do tempo sobre qualquer intervalo de tempo anual. As funções do GST são (HAHN e POWERS, 2008):

- Manutenção do tempo para navegação, cuja função principal é a determinação de órbitas dos satélites e a sincronização do tempo; e
- Manutenção do tempo para fins de metrologia, que embora não seja função principal é necessária para que o GST esteja vinculado ao TAI e proporcione a disseminação do UTC para os usuários.

Diferentemente do GPS que oferece o SPS e PPS, o Galileo oferecerá cinco diferentes tipos de serviços, sendo alguns de livre acesso. Os serviços fornecidos pelo Galileo são (MONICO, 2008):

- Serviço de Acesso Aberto (*Open Access Service – OAS*), que será o serviço básico de posicionamento, navegação e tempo a ser oferecido ao público, sem custos diretos, ao menos até que o SPS do GPS também o seja;
- Serviço de Acesso Comercial (*Commercial Access Service – CAS*), para usuários que exigem um serviço garantido e com contrato de responsabilidade. Para tanto, deverá prover serviço local ampliado e integração com redes de

comunicação. Será cobrada uma taxa dos usuários que vierem a utilizar esse serviço;

- Serviço com Segurança de Vida (*Safety of Life Service – SAS*), para aplicações críticas em segurança, como aviação civil, navegação marítima e etc., exigindo para tanto integridade e disponibilidade;
- Serviço Público Regulamentado (*Public Regulated Service – PRS*), dedicado para aplicações de segurança nacional, como polícia, bombeiros, alfândega etc.; e
- Serviço de Busca e Resgate (*Search and Rescue Service – SAR*).

Eisfeller (2002) apud Seeber (2003) apresenta algumas vantagens do uso integrado dos sistemas GPS e Galileo para fins geodésicos:

- Aumento do número de satélites observados;
- Diminuição do valor de PDOP ($<1,6$);
- Maior número de ambiguidades fixas; e
- Aumento da acurácia no posicionamento de 2 vezes na horizontal e 3 na vertical.

O aumento do número de satélites e o uso de sistemas com diferentes distribuições espaciais favorecem o uso do posicionamento por satélites em áreas de ambientes não propícias.

3.4 Observáveis GNSS

Segundo Hofmann-Wellenhof; Lichtenegger; Collins (1994), as observáveis GNSS são distâncias deduzidas de medidas de tempo ou diferenças de fase baseadas na comparação entre o sinal recebido do satélite e a réplica gerada no receptor.

O GNSS usa o conceito *one-way*, no qual dois relógios são utilizados, um no receptor e outro no satélite; assim, as distâncias possuem erros causados pelos relógios, o que as denomina de pseudodistâncias. Além dos erros causados pelo não sincronismo dos relógios, pode-se destacar também erros derivados da propagação do sinal, como as refrações ionosféricas e troposféricas, fazendo com que a distância satélite-receptor medida não seja a distância real.

Seeber (2003) identifica quatro tipos de observáveis GNSS que são obtidas com base nas medidas dos sinais:

- Pseudodistância a partir do código;
- Diferença de pseudodistâncias a partir da contagem integrada Doppler;
- Fase da onda portadora ou diferença de fase da onda portadora; e
- Diferença no tempo de viagem do sinal a partir de medidas interferométricas.

Dentre as quatro observáveis, duas são de interesse no posicionamento: pseudodistância e fase da onda portadora.

Pode-se também citar a pseudodistância filtrada pela fase, que é uma observável derivada da combinação da pseudodistância e da fase, bem como a observável *iono-free*, que é resultante da combinação das fases das ondas L1 e L2.

3.4.1 Pseudodistância

A medida da pseudodistância é obtida a partir da correlação entre o código gerado pelo satélite no instante de transmissão e sua réplica gerada no receptor no instante de recepção. O termo pseudodistância é usado em virtude do não sincronismo entre os relógios responsáveis pela geração do código no satélite e sua réplica no receptor (LEICK, 2004).

A pseudodistância pode ser determinada via correlação com o código P sobre as portadoras L1 e L2 e com o código C/A, sobre a portadora L1. Com os novos sinais, a pseudodistância pode ser obtida também a partir dos códigos L2C e L5C, modulados nas portadoras L2 e L5, respectivamente, no caso do GPS.

Para o GLONASS, obtêm-se as observações dos códigos P moduladas em L1 e L2 e de C/A, modulado em L1. Para o Galileo também se obtém as observações a partir dos códigos modulados nas portadoras. Assim, a pseudodistância é dada por (MONICO, 2008):

$$PD_R^S = c\tau_r^s + c[dt_r - dt^s] + \varepsilon_{PD_R^S}, \quad (7)$$

onde:

τ_r^s é o tempo de propagação do sinal, contado desde sua geração no satélite até sua correlação no receptor;

c é a velocidade da luz no vácuo;

$c[dt_r - dt_s]$ refere-se ao erro de não sincronismo entre o relógio do satélite e do receptor; e $\mathcal{E}_{PD_R^S}$ é o erro da medida da pseudodistância, que inclui fatores atmosféricos e de reflexão do sinal.

A equação da pseudodistância para uma época pode ser reescrita como:

$$PD_S^R = \rho_R^S + c[dt_r - dt_s] + I_R^S + T_R^S + dm_R^S + \mathcal{E}_R^S, \quad (8)$$

onde:

ρ_R^S - distância geométrica entre o receptor e o satélite;

I_R^S - refração ionosférica;

T_R^S - refração troposférica;

dm_R^S - efeito do multicaminho do sinal; e

$\mathcal{E}_{PD_R^S}$ - erro da medida da pseudodistância;

As coordenadas do receptor e do satélite estão implícitas na distância geométrica entre o receptor e o satélite, dada por:

$$\rho_R^S = \sqrt{(X^S - X_R)^2 + (Y^S - Y_R)^2 + (Z^S - Z_R)^2}, \quad (9)$$

onde:

X^S, Y^S, Z^S - coordenadas cartesianas dos satélites; e

X_R, Y_R, Z_R - coordenadas cartesianas da antena do receptor.

3.4.2 Fase da onda portadora

A fase da onda portadora ϕ_R^S é igual à diferença entre a fase do sinal do satélite recebido do receptor (ϕ^S), e a fase do sinal gerado no receptor (ϕ_R), ambas no instante de recepção t_r . A fase observada em ciclos, é dada por (KING et al., 1998., *apud* MONICO, 2008):

$$\phi_R^S = \phi^S(tr) - \phi_R(tr) + N_R^S + \varepsilon_R^S, \quad (10)$$

onde:

tr - instante de recepção do sinal na estação r;

$\phi^S(t)$ - fase da portadora gerada no satélite S e recebida na estação R no instante de recepção;

$\phi_R(t)$ - fase gerada no receptor no instante de recepção;

N_R^S - ambiguidade da fase; e

ε_R^S - erro da fase na onda portadora.

Os receptores medem a parte fracionária da portadora e efetuam a contagem do número de ciclos que entram no receptor, resultando em uma medida contínua. O termo N_R^S representa o número de ciclos inteiros, do instante da primeira observação, entre as antenas do satélite e do receptor (MONICO, 2008).

3.5 Sistemas de Referência

Ao determinar coordenadas de pontos sobre a superfície terrestre empregando diferentes sistemas de posicionamento, trabalha-se com distintos sistemas de referência, já que as efemérides transmitidas dos satélites são determinadas no referencial de cada um dos sistemas.

Ao utilizar dados GPS/GLONASS e, posteriormente, com a adição do Galileo, trabalhar-se-á, respectivamente, com os sistemas WGS-84 (*World Geodetic System 1984*) (Seção 3.1), PZ-90 (*Parametry Zemli 1990*, ou, *Parameters of the Earth 1990*) e GTRF (*Galileo Terrestrial Reference Frame*).

Alguns trabalhos como Misra et al. (1998), Rossbach et al. (1996), Mitrikas et al. (1998) e Bazlov et al. (1999) apresentam parâmetros de transformação entre os sistemas, que proporcionaram acurácia da ordem de metros, ou, em determinadas regiões, garantiam acurácia da ordem de centímetros, não garantindo a mesma confiabilidade caso os parâmetros fossem utilizados fora da área em que foram determinados.

Boucher e Altamimi (2001) recomendam a seguinte transformação entre WGS-84 (G1150) e PZ-90:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS-84}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{PZ-90}} + \begin{bmatrix} 0,007\text{m} \\ 0,0\text{m} \\ -0,77\text{m} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -3 & -353 & -4 \\ 353 & -3 & 19 \\ 4 & -19 & -3 \end{bmatrix}_{\text{mas}} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{PZ-90}} . \quad (11)$$

Na 2ª edição da NTGIR (INCRA, 2010), as coordenadas dos pontos de apoio e limítrofes das propriedades devem ser determinadas no sistema SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

As últimas realizações dos sistemas WGS-84 e PZ-90 são G1150 e PZ-90.02, respectivamente. Elas são compatíveis com o ITRF 2000 na ordem de centímetros, e como o SIRGAS é um adensamento do ITRF 2000, para fins de georreferenciamento, pode-se considerar os sistemas homogêneos.

Para o caso do Galileo, foram divulgados os parâmetros para transformação, apresentados no quadro 1 entre o GTRF e o ITRF 2005 (GGSP, 2011):

Quadro 1 – Parâmetros de transformação entre GTRF e ITRF 2005.

T_1 (mm)	T_2 (mm)	T_3 (cm)	D (ppb)	R_1 (0,001")	R_2 (0,001")	R_3 (0,001")
0,3	-0,3	- 0,2	0,02	-0,003	-0,007	-0,006

Verifica-se a pequena magnitude dos parâmetros de transformação entre o GTRF e o SIRGAS 2000, podendo considerar que para fins práticos, os mesmos podem ser considerados homogêneos.

3.6 Combinação entre Sistemas e Observáveis GNSS

Nesta seção, serão apresentados alguns trabalhos relacionados com a integração entres os sistemas GPS, GLONASS e Galileo, bem como a combinação de sinais para a eliminação de efeitos da ionosfera.

Os trabalhos relacionados à integração GPS/GLONASS são de Bruyninx (2006) e Lago (2001). Para a combinação de observáveis GPS e Galileo, apresenta-se o trabalho de Richert (2005). Odijk (2002) traz os efeitos da ionosfera na combinação de observáveis L1, L2 e L5 do GPS. Já Colomina et al. (2012) traz o desenvolvimento de um receptor Galileo e seus primeiros resultados.

Os trabalhos apresentados são referentes à modelagem matemática envolvida na combinação dos sistemas de posicionamento e de observáveis e, apresentam resultados de experimentos realizados.

3.6.1 Impacto da modernização e integração GNSS no posicionamento relativo

Em Richert (2005) são apresentadas as expectativas em relação à modernização do GNSS no posicionamento relativo utilizando GPS/Galileo e observações de fase. Também são apresentados os modelos matemáticos, funcionais e estocásticos envolvidos na integração dos sistemas.

Para a realização dos experimentos foi utilizado o simulador *Satellite Navigation TOOLBOX 3.0 For Matlab*, desenvolvido pela GPSsoft. Neste simulador é possível prever órbitas GPS e Galileo. O sistema considera que existem seis planos orbitais para o GPS, com quatro satélites por plano, e 3 planos para o Galileo, com dez satélites por plano. No simulador, as observáveis são transmitidas pelos dois sistemas e em quatro frequências. Os sinais dos satélites são gerados com a distância geométrica degradada pelo atraso ionosférico, atraso troposférico, multicaminho, ruídos e ambiguidades da fase.

Para os experimentos, Richert (2005) simulou quatro cenários para as análises:

- 1º cenário: GPS dupla-frequência – L1 e L2;
- 2º cenário: GPS – L5 e L2C;
- 3º cenário: GPS/Galileo – L1/E1 e L5/E5a;
- 4º cenário: GPS/Galileo – L1, L2 L5 e E1, E5a.

Utilizando estas configurações, o autor analisou os resultados relacionados à estimação da ionosfera e a solução das ambiguidades, e conseqüentemente, a influência da combinação no resultado final do posicionamento.

Para o autor, os modelos matemáticos básicos utilizados no posicionamento com GPS podem ser utilizados para o processamento de dados multissistemas ou de multifrequências. No entanto, algumas implicações devem ser consideradas na combinação GPS/Galileo. No caso de duplas-diferenças (DD) de sistemas heterogêneos são elas:

- A frequência da onda portadora empregada;
- Referencial geodésico dos sistemas; e
- O sistema de tempo.

A primeira implicação está relacionada com a resolução das ambiguidades. Segundo Richert (2005), para a resolução fixa da ambiguidade é desejável que a DD retenha a natureza inteira da mesma. Essa condição exige que a frequência básica seja a mesma entre as medidas realizadas pelos dois sistemas. Considerando a DD entre as estações A e B e as medidas L1 do satélite i e L2 do satélite j tem-se:

$$\Delta\phi_{AB}^i - \Delta\phi_{AB}^j \frac{\lambda_{L2}}{\lambda_{L1}} = \frac{1}{\lambda_{L1}} (\Delta\rho_{AB}^{ij} - \Delta dI_{AB}^{ij} + \Delta dTr_{AB}^{ij} + \Delta d\rho_{AB}^{ij}) + \nabla\Delta N_{AB}^{ij} + \frac{\lambda_{L1} - \lambda_{L2}}{\lambda_{L1}} \Delta N_{AB}^{ij} + \varepsilon_{\nabla\Delta}, \quad (12)$$

onde:

$\Delta\rho_{AB}^{ij}$ - dupla diferença da distância geométrica;

ΔdI_{AB}^{ij} - dupla diferença da refração ionosférica;

ΔdTr_{AB}^{ij} - dupla diferença da refração troposférica;

$\Delta d\rho_{AB}^{ij}$ - dupla diferença do multicaminho;

$\nabla\Delta N_{AB}^{ij}$ - dupla diferença da ambiguidade;

Observa-se na equação (12), o termo $(\lambda_{L1} - \lambda_{L2})/\lambda_{L1}$ faz com que se perca a natureza inteira da ambiguidade, o que, para Richert (2005), é uma desvantagem na combinação de sinais de diferentes frequências.

Em relação ao referencial geodésico, o autor afirma que se deve utilizar o mesmo, ou que os parâmetros de transformação sejam conhecidos, isso porque as coordenadas dos satélites são geralmente consideradas conhecidas no ajustamento das DD. No caso da integração GPS/Galileo, Hein et al. (2002) *apud* Richert (2005) afirmam que a diferença entre os sistemas de coordenadas não afetará o posicionamento utilizando DD e as medidas de ambos os sistemas.

Quanto aos sistemas de tempo, Richert (2005) afirma que o *off-set* (*GPS-Galileo Time Off-Set - GGTO*) entre o relógio do receptor e os sistemas de tempo do GPS e Galileo são desconhecidos e não são eliminados nas DD entre um satélite GPS e um Galileo, o que proporciona resíduos nas DD. Considerando a DD entre as estações A e B, e os satélites i GPS e m Galileo e os sinais L1 e E1:

$$\nabla\Delta\phi_{AB}^{im} = \nabla\Delta\rho_{AB}^{im} - \nabla\Delta dI_{AB}^{im} + \nabla\Delta dT_{AB}^{im} + \nabla\Delta d\rho_{AB}^{im} + \lambda_{L1}/E_1 \nabla\Delta N_{AB}^{im} + c \frac{[(dT_A^{GPS} - dT_B^{GPS}) - (dT_A^{Gal} - dT_B^{Gal})]}{GGTO} \varepsilon_{\nabla\Delta} \quad (13)$$

Para remover o GGTO, Richert (2005) sugere três soluções:

- Remover o GGTO utilizando os valores transmitidos nas mensagens de navegação do Galileo;
- Estimar como um parâmetro adicional; ou
- Eliminar utilizando um satélite base para cada sistema e realizando as DD somente entre medidas do mesmo sistema.

Em relação à solução das ambiguidades, Marti-Neira et al. (2003) e Teunissen et al. (2002) *apud* Richert (2005) compararam os métodos CIR (*Cascade Integer Resolution*), TCAR (*Triple Carrier Ambiguity Resolution*) e LAMBDA (*Least-square Ambiguity Decorrelation Adjustment*), e concluíram que o método LAMBDA é o mais eficiente.

Combinações lineares entre GPS e Galileo foram apresentadas por Richert (2005) visando mitigar diferentes fontes de erro como os atrasos ionosféricos e troposféricos, multicaminhos e ruídos. O autor conclui que quando se minimiza uma fonte de erro a partir de combinações lineares, outras fontes são ampliadas, sendo que a escolha do coeficiente da combinação é dependente do comprimento da linha de base, visto que o efeito a minimizar pode ser selecionado. As combinações entre sistemas de posicionamento apresentaram resultados satisfatórios na estimação das ambiguidades. No entanto, a melhor combinação não pode ser fixada para linhas de base longas com pequeno período de rastreamento (RICHERT, 2005).

3.6.2 Comparação do posicionamento GPS e GPS+GLONASS em uma rede GNSS

Bruyninx (2006) apresentou resultados de experimentos realizados utilizando dados GPS e GPS+GLONASS da *EUREF Permanent Network* (EPN), que inicialmente possuía somente receptores GPS, e na época passava por uma modernização para receptores multiconstelação.

A EPN contava em 2006 com 190 estações GPS, mas, devido ao crescimento do número de receptores GPS/GLONASS, a revitalização do GLONASS e a disponibilização de

órbitas GLONASS IGS (*International GNSS Service*) e GLONASS/GPS CODE (*Center for Orbit Determination for Europe*), o número de estações que rastreiam ambos os sistemas vêm aumentando na EPN (BRUYNINX, 2006).

Para os experimentos, Bruyninx (2006) utilizou o software Bernese GNSS com a finalidade de investigar a adição de observações GLONASS, utilizando órbitas precisas do IGS e CODE. As coordenadas GPS e GPS/GLONASS foram comparadas e as alterações na repetibilidade foram investigadas. Para esta análise, duas redes foram empregadas. A primeira composta por 25 estações GPS/GLONASS, com dados entre 1 de outubro de 2005 até 20 de fevereiro de 2006, e uma segunda rede com 20 estações GPS e oito estações GPS/GLONASS, com dados de 5 de fevereiro até 1 de abril de 2006. A figura 3 apresenta as redes utilizadas no trabalho.

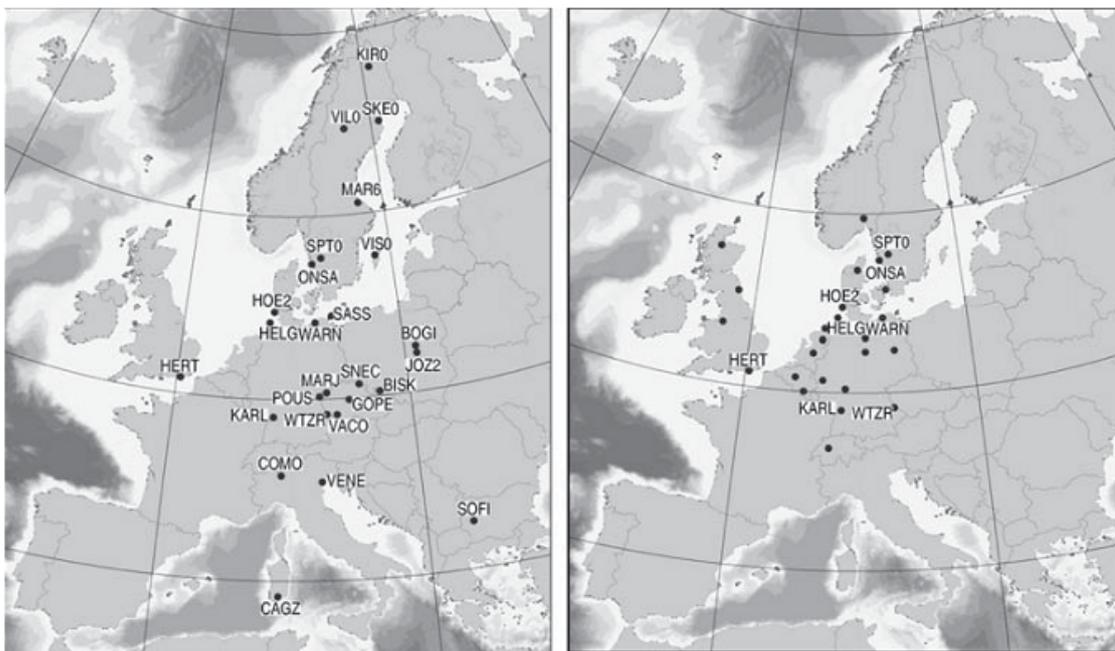


Figura 3 - Rede GPS/GLONASS (esquerda) e rede GPS e GPS/GLONASS (direita).
Fonte: BRUYNINX (2006).

A estratégia utilizada para o processamento consistiu em, primeiramente, obter as órbitas precisas para o GPS e GLONASS. Os próximos passos foram:

- Calcular o erro do relógio do receptor utilizando a observável *iono-free* do código;
- Formar as linhas de base entre as estações utilizando os dados de fase;
- Realizar as DD de fase para a solução das ambiguidades GPS utilizando o método QIF (*Quase Ionospheric Free*); e

- Após fixar as ambiguidades GPS, as coordenadas das estações foram estimadas juntamente com a troposfera.

No processamento das observações GPS e GPS/GLONASS, as DD das ambiguidades GLONASS foram estimadas, mas não fixadas para um valor inteiro (BRUYNINX, 2006). Nos resultados, o autor observou que há diferenças insignificantes na repetibilidade das coordenadas obtidas utilizando efemérides de diferentes centros – IGS e CODE. Também notou que em algumas estações, a adição de dados GLONASS não provocou alterações significantes na repetibilidade das coordenadas, sendo que em algumas estações, o uso de dados GPS garantia uma melhor repetibilidade e em outras, esse fato pode ser notado com o acréscimo de dados GLONASS.

Na rede em que todas as estações rastreiam os sinais GPS/GLONASS, Bruyninx (2006) notou que a discrepância entre as coordenadas GPS e as GPS/GLONASS é da ordem de 1 a 2 mm na componente horizontal e de 2 a 6 mm na vertical. Na rede mista, ou seja, com estações GPS e outras GPS/GLONASS, a discrepância foi da ordem de 1mm.

3.6.3 Combinações para minimizar os efeitos da ionosfera

A observável *iono-free*, resultado da combinação linear das portadoras L1 e L2, permite a eliminação dos efeitos de primeira ordem da ionosfera. No caso do GPS, com o acréscimo da portadora L5, é possível realizar combinações para a eliminação dos efeitos de primeira e segunda ordem. Para o Galileo, cujo sistema possui mais que duas portadoras, há possibilidade de combinação para eliminar ambos os efeitos.

Odjik (2002) realizou experimentos utilizando dados simulados para o dia 14 de julho de 2000, sendo a localização média dos pontos $\varphi = 36,9^\circ$ e $\lambda = 73,5^\circ$, nos quais os efeitos de primeira, segunda e terceira ordem da ionosfera foram simulados para duas linhas de base, uma com 200 km e outra de 400 km de comprimento, além de apresentar as equações dos efeitos e combinações para minimizá-los.

Os efeitos de primeira e segunda ordem da ionosfera são apresentados através das equações (ODJIK, 2002):

$$i_{g,j}^{(1)} = \frac{1}{2f_j^2} \int f_p^2 d\rho = \frac{A}{2f_j^2} \int N_e d\rho. \quad (14)$$

$$i_{g,j}^{(2)} = \frac{1}{f_j^3} \int f_p^2 f_g |\cos\theta| d\rho = \frac{eA}{f_j^3 2\pi m_e} \int ||B|| |\cos\theta| N_e d\rho, \quad (15)$$

sendo:

f_j - frequência do sinal;

A - aproximadamente $80,6 \text{ m}^3/\text{s}^2$;

$m_e = 9,10939 \times 10^{-31}$;

$e = 1,60218 \times 10^{-19}$;

$\int N_e d\rho$ - TEC (*Total Electron Content*) ao longo da trajetória satélite-receptor;

$\|B\| |\cos\theta|$ - constante ao longo do sinal;

B - vetor de indução geomagnética;

θ - ângulo entre a componente Y e Y_L , se considerar uma onda viajando em um sistema X, Y e Z.

Reescrevendo as equações (14) e (15), e substituindo $\int N_e d\rho$ por TEC tem-se as seguintes equações:

$$i_{g,j}^{(1)} = \frac{A}{2f_j^2} \text{TEC}. \quad (16)$$

$$i_{g,j}^{(2)} = \frac{eA}{f_j^3 2\pi m_e} \|B\| |\cos\theta| \text{TEC}. \quad (17)$$

Ao se utilizar as medidas de fase obtidas a partir do rastreamento das três frequências as seguintes combinações podem ser feitas:

$$\varphi_{IF} = m_1 \varphi_{L1} + m_2 \varphi_{L2} + m_3 \varphi_{L5}. \quad (18)$$

$$PD_{IF} = m_1 PD_{L1} + m_2 PD_{L2} + m_3 PD_{L5}. \quad (19)$$

Para eliminar os efeitos de primeira e segunda ordem da ionosfera, as combinações lineares dos efeitos são igualadas a zero. Assim, obtêm-se para a pseudodistância:

$$m_1 \frac{A}{2f_j^2} \text{TEC} + m_2 \frac{A}{2f_j^2} \text{TEC} + m_3 \frac{A}{2f_j^2} \text{TEC} = 0. \quad (20)$$

$$m_1 \frac{eA}{f_j^3 2\pi m_e} \|B\| |\cos\theta| \text{TEC} + m_2 \frac{eA}{f_j^3 2\pi m_e} \|B\| |\cos\theta| \text{TEC} + m_3 \frac{eA}{f_j^3 2\pi m_e} \|B\| |\cos\theta| \text{TEC} = 0. \quad (21)$$

Dividindo $\frac{A}{2f_j^2} TEC$ por $\frac{eA}{f_j^3 2\pi m_e} \|B\| |\cos\theta| TEC$ resulta em:

$$\frac{m_1}{f_{L1}^2} + \frac{m_2}{f_{L2}^2} + \frac{m_3}{f_{L5}^2} = 0. \quad (22)$$

$$\frac{m_1}{f_{L1}^3} + \frac{m_2}{f_{L2}^3} + \frac{m_3}{f_{L5}^3} = 0. \quad (23)$$

Fixando o comprimento de onda da *iono-free* igual à frequência de L1, a menos afetada pela ionosfera tem-se:

$$m_1 f_{L1} + m_2 f_{L2} + m_3 f_{L5} = f_{L1}. \quad (24)$$

Assim, tem-se três equações (22 a 24) e três incógnitas, o que permite a determinação dos coeficientes m_1 , m_2 e m_3 para a equação (19):

$$m_1 = -\frac{m_2 f_{L1}^2}{f_{L2}^2} - \frac{m_3 f_{L1}^2}{f_{L5}^2}. \quad (25)$$

$$m_2 = \frac{f_{L1} f_{L2}^3 (f_{L1} - f_{L5})}{-f_{L1}^3 f_{L2} (f_1 - f_5) - f_{L1}^3 f_{L5} (f_{L2} - f_{L1}) + f_{L2}^4 (f_{L1} - f_{L5}) + f_{L5}^4 (f_{L2} - f_{L1})}. \quad (26)$$

$$m_3 = m_2 \frac{f_{L5}^3}{f_{L2}^3} \left(\frac{f_{L2} - f_{L1}}{f_{L1} - f_{L5}} \right). \quad (27)$$

Pode-se resolver o mesmo sistema para a fase da onda portadora, no entanto, as equações (22) e (23) são reescritas da seguinte forma:

$$\frac{m_1}{f_{L1}} + \frac{m_2}{f_{L2}} + \frac{m_3}{f_{L5}} = 0. \quad (28)$$

$$\frac{m_1}{f_{L1}^2} + \frac{m_2}{f_{L2}^2} + \frac{m_3}{f_{L5}^2} = 0. \quad (29)$$

Logo, os coeficientes para a equação 18, da fase da onda portadora são:

$$m_1 = -\frac{m_2 f_{L1}}{f_{L2}} - \frac{m_3 f_1}{f_5}. \quad (30)$$

$$m_2 = m_3 \frac{f_{L2}^2 (f_{L5} - f_{L1})}{f_{L5}^2 (f_{L1} - f_{L2})}. \quad (31)$$

$$m_3 = \frac{f_{L1} f_{L5}^2 (f_{L1} - f_{L2})}{f_{L5}^3 (f_{L1} - f_{L2}) + f_{L2}^3 (f_{L5} - f_{L1}) - f_{L1}^2 f_{L5} (f_{L1} - f_{L2}) f_{L1}^2 f_{L2} (f_{L5} - f_{L1})}. \quad (32)$$

Ao utilizar os coeficientes para a combinação linear das observáveis, a resultante será livre dos efeitos de primeira e segunda ordem da ionosfera.

Os efeitos absolutos na Simples Diferença (SD) e na DD para as fases L1, L2 e L5 do GPS, são apresentados na tabela 4 (Odijk, 2002).

Tabela 4- Efeitos da ionosfera das observáveis GNSS.

		ABSOLUTO								
		1° Ordem (m)			2° Ordem (mm)			3° Ordem (mm)		
		L1	L2	L5	L1	L2	L5	L1	L2	L5
Linha 1 200 km	ϕ_1^1	-36,71	-60,46	-65,83	-3	-7	-8	-1	-2	-2
	ϕ_2^1	-47,01	-77,43	-84,31	0	-1	-1	-1	-2	-2
	ϕ_1^2	-40,39	-66,53	-72,44	-18	-38	-43	-1	-2	-2
	ϕ_2^2	-30,69	-50,55	-55,05	-15	-32	-36	0	-1	-2
Linha 2 400 km	ϕ_3^3	-38,56	-63,51	-69,15	-5	-10	-11	3	8	9
	ϕ_4^3	-43,70	-71,98	-78,37	-4	-8	-9	4	10	11
	ϕ_3^4	-40,39	-66,53	-72,44	-13	-28	-31	3	9	11
	ϕ_4^4	-35,40	-58,31	-63,48	-13	-27	-30	3	7	8
		SIMPLES DIFERENÇA								
		1° Ordem (m)			2° Ordem (mm)			3° Ordem (mm)		
		L1	L2	L5	L1	L2	L5	L1	L2	L5
Linha 1 200 km	ϕ_{12}^1	-10,30	-16,97	-18,47	3	6	7	0	0	0
	ϕ_{12}^2	9,70	15,97	17,39	3	6	7	1	1	0
Linha 2 400 km	ϕ_{34}^3	-5,14	-8,47	-9,22	1	2	2	0	0	0
	ϕ_{34}^4	4,99	8,22	8,95	0	1	1	0	0	0
		DUPLA DIFERENÇA								
		1° Ordem (m)			2° Ordem (mm)			3° Ordem (mm)		
		L1	L2	L5	L1	L2	L5	L1	L2	L5
Linha 1 200 km	ϕ_{12}^{12}	20,00	32,94	35,87	0	0	0	1	1	0
Linha 2 400 km	ϕ_{34}^{34}	10,13	16,69	18,17	-1	-1	-1	0	0	0

Fonte: Adaptado de Odijk (2002).

Odijk (2002) observou por meio dos resultados apresentados na tabela 4, que os maiores erros encontram-se nos efeitos de primeira ordem, como já era esperado. Os valores dos efeitos de segunda ordem são pequenos e os de terceira ordem não são expressivos para a SD e DD. Assim, com a utilização de três frequências é possível eliminar os erros de primeira e segunda ordem a partir de combinações das mesmas.

3.6.4 Desenvolvimento de receptor Galileo para georreferenciamento de imóveis rurais

O projeto ENCORE (ENhanced CODE Galileo REceiver) *for land manager in Brazil*, liderado pela empresa portuguesa DEIMOS Engenharia, propôs desenvolver uma solução utilizando as novas possibilidades de observação dos sinais Galileo, em particular, os sinais E5 AltBOC (*Alternative Binary Offset Carrier*) e L1 MBOC (*Multiplexed Binary Offset Carrier*) (SILVA et al., 2011).

O projeto objetiva o desenvolvimento de um receptor Galileo robusto e de baixo custo, que atenda as necessidades do mercado nacional nas questões de georreferenciamento de imóveis rurais, cadastro rural e aplicações ambientais como mapeamento de áreas de preservação ambiental.

Juntamente com a DEIMOS Engenharia, também participam do projeto o *Institute of Geomatics* (Espanha), DEIMOS Space (Espanha), *The University of Nottingham* (Inglaterra), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP (Brasil), Orbisat da Amazônia Indústria e Aerolevantamento (Brasil), Santiago e Cintra Importação e Exportação Ltda. (Brasil) e Editora MundoGeo Ltda (Brasil) (DEIMOS ENGENHARIA, 2009).

O projeto está enquadrado no *International Activities topic GALILEO*. 2008.4.3.1: *Application development in an international context* [AD-1], do 7º Quadro de Programas da Comissão Europeia, gerenciado pela *European GNSS Supervisory Authority* (GSA), que aprovou o projeto e financiou o desenvolvimento do receptor, software e validação.

O papel da FCT/UNESP dentro do projeto foi a análise do receptor e das aplicações desenvolvidas no processo de gerenciamento de terras no Brasil, visando atender as necessidades do georreferenciamento de propriedades rurais e mapeamento de áreas de preservação ambiental. Além disso, a FCT deve auxiliar o *Institute of Geomatics* no desenvolvimento do algoritmo de posicionamento com o Galileo (DEIMOS ENGENHARIA, 2009).

O objetivo do projeto ENCORE é o desenvolvimento de dois receptores baseados nas observações dos códigos do sistema Galileo, sendo um de simples frequência, baseado no código E5 AltBOC, e um segundo receptor, de dupla frequência, que fará uso dos códigos E5 AltBOC e L1 MBOC, além do software para processamento dos dados.

A solução a ser desenvolvida almeja atingir precisão de 0,50 m (1σ) ou melhor, realizando o PPP ou posicionamento diferencial. No caso do PPP, serão utilizadas efemérides e correções dos relógios ultra-rápidas, bem como as correções de troposfera. Para correção

dos efeitos da ionosfera, o receptor de simples frequência utilizará o modelo de ionosfera para o Galileo, e o de dupla frequência realizará combinação *iono-free* do código (DEIMOS ENGENHARIA, 2009).

Colomina et al. (2012) apresentam um protótipo do receptor de sinais dos satélites Galileo e alguns resultados utilizando dados simulados para o referido sistema, com a finalidade de atendimento as exigências da NTGIR.

O projeto apresenta a existência de uma lacuna entre os tipos de receptores e finalidades. Os autores destacam que para fins que exigem precisão da ordem de centímetros ou melhor, são utilizados receptores e métodos de processamento que usam a observável fase da portadora. Já para finalidades, como cadastro, Sistemas de Informações Geográficas e outras aplicações, que exigem precisão da ordem de metro ou submétrica, são utilizados dados da pseudodistância. Destaca-se que as vantagens do processamento de dados de pseudodistância são a simplicidade e robustez do processamento.

Afirmam que com o uso dos sinais do sistema Galileo e os novos sinais GPS, tal lacuna entre os receptores irá diminuir, pois, baseado em dados simulados e em cenário de “céu aberto”, a precisão da pseudodistância extraída do sinal E5 AltBOC é de 0,02 m (1σ), e para áreas com cobertura de árvores, o valor aumenta para 0,08 m (1σ). No projeto também são apresentadas as precisões das pseudodistâncias obtidas a partir do código E1 CBOC, sendo de 0,25 m e 2,00 m. Colomina et al. (2012) estima assim, que a precisão do posicionamento utilizando as duas observáveis será da ordem de 0,04 m a 0,17 m para aplicações estáticas, e 0,04 m a 0,20 m para aplicações cinemáticas.

Colomina et al. (2012) afirmam que o desenvolvimento de novos sistemas GNSS, como o Galileo, e a modernização de outros, como o GPS e o GLONASS, irá fornecer sinais adicionais, com modulações mais complexas, permitindo melhorias de desempenho em termos de disponibilidade, robustez e precisão. Neste caso, correlacionam o efeito do multicaminho à Função de Auto-Correlação do sinal, que são diferentes para os sinais Galileo e GPS. Os primeiros recebem as modulações MBOC e AltBOC, neste caso, para E1 e E5, respectivamente, o que faz com que os sinais sejam mais robustos em relação ao efeito do multicaminhamento. A figura 4 apresenta uma análise dos efeitos do multicaminho sob diferentes sinais.

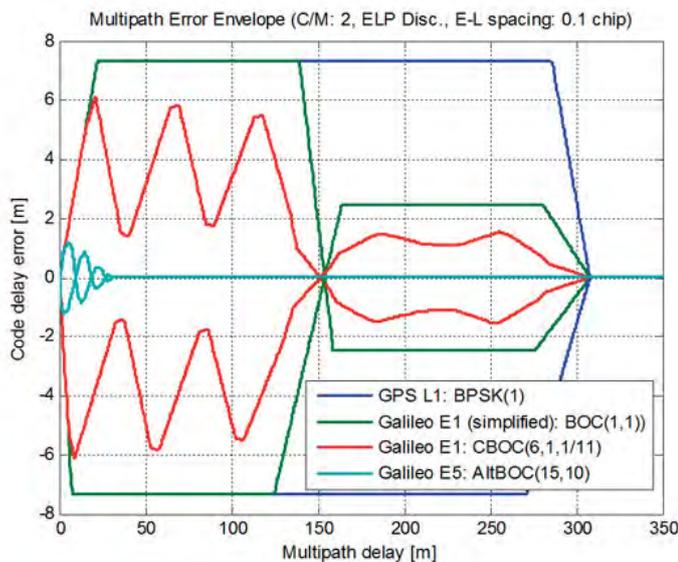


Figura 4 - Efeito do multicaminho nos sinais Galileo e GPS.

Fonte: Colomina et al. (2012).

Verifica-se na figura 4, que os efeitos do multicaminho no sinal Galileo E5 são menores que 2 m, valor inferior quando comparado com os demais sinais Galileo e o sinal L1 do GPS. Os autores afirmam que o sinal Galileo E5 é o mais avançado e promissor do sistema, e que receptores capazes de rastrear tal sinal irão se beneficiar do desempenho em termos de medidas precisas e a mitigação dos efeitos de multicaminho. No entanto, verifica-se que as técnicas de demodulação do sinal E5 possuem implementações mais difíceis que as técnicas utilizadas para demodular sinais GPS.

Para a validação do receptor desenvolvido, foram realizados testes utilizando dados simulados, já que o número suficiente de satélites Galileo para realizar o posicionamento não está disponível.

Os resultados apresentados foram extraídos de dados simulados para a estação BRAZ, pertencente à RBMC. Apresentaram-se os resultados dos processamentos para situações de cenários de “céu aberto” e com obstrução de sinais. Verifica-se através dos resultados que, para a componente planimétrica, a precisão foi inferior a 0,10 m, caso não observado para a componente altimétrica, que foi da ordem de 0,50 m.

Em áreas com cobertura vegetal, Colomina et al. (2012), verificaram que a precisão planimétrica é da ordem de 0,30 m, e, para a componente altimétrica este valor aumenta para 1,00 m.

Colomina et al. (2012) concluíram no final do trabalho, que os resultados obtidos com os dados simulados apresentaram precisão necessária para atender as exigências na NTGIR.

3.6.5 Processamento de dados GPS e GLONASS no Brasil

Das pesquisas realizadas no Brasil, podem-se apresentar os experimentos realizados por Lago et al. (2002), no qual os autores realizam processamentos de dados GPS e GLONASS separadamente e combinados. Eles apresentam uma comparação entre os sistemas de posicionamento, incluindo características gerais, estrutura dos sinais de cada sistema, as técnicas de segurança aplicadas aos sistemas, sistemas de tempo e de referência.

Segundo Lago et al. (2002), os dados foram coletados em uma área teste, localizada no Centro Politécnico, pertencente ao Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE) da UFPR, que é constituída por cinco marcos geodésicos. O rastreamento dos satélites foram efetuados em dois momentos diferentes, um para realização do posicionamento absoluto, ocorrido durante 29 dias consecutivos, e num segundo momento, outro rastreamento de satélites foi efetuado aplicando o posicionamento relativo, realizado em junho de 2000.

Após as campanhas de coletas de dados, os mesmos foram processados. Para avaliação do posicionamento absoluto, foram utilizados os dados coletados sobre o ponto RM03. No experimento observou-se que para o GLONASS, as discrepâncias foram da ordem de 1,837 m, -9,284 mm e 1,727 m para X, Y e Z, respectivamente com relação às coordenadas cartesianas verdadeiras. Já para os dados GPS, os valores observados foram 2,314 m, 1,616 mm e 6,683 m para os mesmos eixos. Por fim, para o processamento utilizando dados GPS/GLONASS, as discrepâncias foram 1,205 m, -8,629 mm e 3,380 m.

Posteriormente, foram realizadas avaliações dos números de satélites disponíveis para os dados que produziram os resultados apresentados acima.

Para o posicionamento relativo, Lago et al. (2002) realizaram experimentos com duas linhas de base distintas. Para a linha RM-03_RM-01, o erro planimétrico é igual a 26,6 mm para os dados GLONASS, 23,6 mm para os dados GPS e 24,1 mm para o processamento em conjunto dos dados GPS/GLONASS. Já para a linha de base RM03_RM-02, o erro planimétrico obtido foi de 280,3 mm para os dados GLONASS, de 21,4 mm para GPS e 21,0 mm para os dados GPS/GLONASS.

Ao final, é apresentada uma avaliação do status do sistema GLONASS em 30 de agosto de 2000 e 09 de janeiro de 2001. Conclui-se que a combinação de dados GPS/GLONASS só é vantajoso quando se dispõe de uma configuração adequada de satélites GLONASS, com geometria e quantidade de satélites favoráveis.

3.7 Métodos de Posicionamento Aplicados no Georreferenciamento de Imóveis Rurais

O posicionamento GNSS pode ser dividido em três vertentes: em posicionamento absoluto, relativo e diferencial.

O primeiro trata da determinação das coordenadas de um ponto em relação ao geocentro, no referencial do sistema de coordenadas dos satélites.

O posicionamento relativo tem como objetivo a determinação das coordenadas de um ponto em relação a uma estação de referência, deste modo, busca a determinação do vetor entre dois pontos, que é chamado de linha de base (HOFMANNWELLENHOF; LICHTENEGGER; COLLINS, 2001).

No posicionamento diferencial são enviadas correções diferenciais, das observáveis ou da posição, de uma estação de coordenadas conhecidas para outro receptor que realiza o posicionamento absoluto utilizando as correções enviadas.

Tanto os métodos relativos como absolutos (PPP) podem ser utilizados na determinação de pontos de apoio básico e/ou dos pontos limítrofes das propriedades rurais. Já os diferenciais são utilizados somente para determinação dos pontos limítrofes.

Os métodos de posicionamento pelo GNSS permitidas pela NTGIR são (INCRA, 2010):

- Posicionamento relativo estático;
- Posicionamento relativo estático rápido;
- Posicionamento relativo semicinemático (*stop-and-go*);
- Posicionamento relativo cinemático;
- Posicionamento por Ponto Preciso (PPP);
- Posicionamento por RINEX Virtual (VRS – *Virtual Reference Station*);
- Posicionamento cinemático em tempo real (*Real Time Kinematic* – RTK);
- Posicionamento diferencial em tempo real (DGNSS); e
- Posicionamento diferencial pós-processado.

3.7.1 Posicionamento por ponto

O posicionamento por ponto pode ser dividido em dois métodos:

- Posicionamento por Ponto Simples (PPS); e
- Posicionamento por Ponto Preciso (PPP);

O que caracteriza o PPS é o uso da pseudodistância como observável básica e efemérides transmitidas. Este método é utilizado em navegação, lazer e outros fins que não exijam alta precisão, já que a mesma é da ordem de 10 m.

No PPP, a principal característica é o uso da combinação *iono-free* da pseudodistância e da fase como observáveis (Monico, 2008), eliminando os efeitos de primeira ordem da ionosfera. Também são utilizadas efemérides precisas e correção dos relógios dos satélites produzidos pelo IGS, além de realizar a correção de diversos erros envolvidos no posicionamento por satélite, como refração troposférica, fase *wind-up* e salto de ciclos.

Para fins de georreferenciamento, o PPP pode ser utilizado na determinação de pontos de apoio básico e pontos limítrofes, para isso, deve-se utilizar o serviço de PPP *on-line* disponibilizado pelo IBGE.

3.7.2 Posicionamento relativo

O posicionamento relativo tem como objetivo determinar as coordenadas de um ponto em relação a um ponto de coordenadas conhecidas, após a determinação do vetor, ou linha de base formada entre dois pontos (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; WASLE, 2008). Para realizar o posicionamento relativo é necessário o uso de dois receptores, um ocupando o ponto de coordenada conhecida e outro ocupando os pontos de interesse.

No Brasil, o usuário com um receptor, pode realizar o posicionamento utilizando dados de estações pertencentes a redes ativas, como por exemplo, a RBMC, RIBaC, Rede GNSS SP e outras. Nestas redes os receptores ocupam pontos de coordenadas conhecidas e os dados coletados são disponibilizados via Internet e podem ser utilizados pelos usuários que desejam realizar o posicionamento.

Este método foi desenvolvido visando a eliminação ou minimização de erros sistemáticos por meio da diferenciação de observações. Erros devidos à troposfera, ionosfera, efemérides e erros de relógios podem ser eliminados ou reduzidos. Tais diferenciações podem ser realizadas entre receptores, entre satélites ou entre épocas. A SD corresponde à diferença entre receptores, ou entre satélites; a DD é realizada entre receptores e entre satélites; e a TD (Tripla Diferença) refere-se à diferenciação entre receptores, satélites e épocas.

O que difere um posicionamento relativo estático do estático rápido é o tempo de ocupação dos pontos. Enquanto no primeiro o rastreamento varia de dezenas de minutos (no

mínimo 20 minutos) até várias horas, no segundo método, o tempo de rastreamento é de no máximo 20 minutos sobre os pontos de interesse.

A principal combinação utilizada no posicionamento relativo é a DD. Como no posicionamento relativo estático o período de ocupação das estações é relativamente longo, apenas as DDs da fase da onda portadora são em geral incluídas como observáveis (MONICO, 2008). As DDs da pseudodistância também podem ser utilizadas, no entanto, devido à alta precisão das observações da fase, o uso das pseudodistâncias não melhora significativamente os resultados.

O método estático rápido é utilizado em situações em que se pretende obter maior produtividade, já que o tempo de ocupação dos pontos que se pretende determinar as coordenadas é curto. Neste caso, podem-se utilizar receptores de simples ou dupla frequência. Durante o transporte do receptor de um ponto a outro, não há necessidade de se manter o mesmo ligado, o que permite que o tratamento dos dados seja igual ao do posicionamento relativo estático.

No modo estático rápido, para que os resultados apresentem razoável nível de precisão, o vetor de ambiguidades envolvido em cada linha de base deve ser solucionado, isto é, fixado. Outro fator que está correlacionado com a precisão do posicionamento é o comprimento da linha de base, que para este método deve ser de no máximo 10 km (MONICO, 2008).

O modelo matemático para ambos os métodos é o mesmo quando se trata de linhas de base curtas. No caso de linhas com maiores distâncias (> 20 km), alguns erros devem ser eliminados ou minimizados fazendo uso de modelos (troposfera) ou combinações de observações, como a combinação *iono-free*, que elimina os efeitos de primeira ordem da ionosfera.

3.7.3 Posicionamento diferencial

O posicionamento diferencial, ou DGNSS, foi desenvolvido inicialmente visando minimizar os efeitos da SA (*Selective Availability*) imposta ao GPS. Esta técnica visa melhorar o posicionamento do usuário a partir de correções diferenciais enviadas por uma ou mais estações base.

De acordo com Hofmann-Wellenhof; Lichtenegger; Wasle (2008), o DGNSS é uma técnica de posicionamento em tempo real, na qual dois ou mais receptores são utilizados,

sendo que, um receptor é instalado sobre um ponto de coordenadas conhecidas e um receptor móvel ocupa os pontos que se deseja determinar as coordenadas.

O DGNSS pode ser realizado também no modo pós-processado, no qual as observações são coletadas em campo e, posteriormente, as correções são determinadas a partir de uma estação de referência e aplicadas no processamento dos pontos de interesse.

Diferentes procedimentos podem ser utilizados para a determinação das correções (SEEBER, 2003):

- Correção na posição: a posição da estação de referência derivada do GNSS é comparada com sua posição considerada verdadeira. As correções da posição em coordenadas cartesianas $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ou geodésicas $\Delta\varphi, \Delta\lambda, \Delta h$, são transmitidas e utilizadas para corrigir a posição do receptor móvel. Porém, essa técnica tem diferenciais, tal como o fato de requerer que a estação base e o receptor móvel estejam coletando os mesmos satélites para garantir que as diferenças em posição expressem os erros envolvidos (SEEBER, 2003);
- Correção na pseudodistância: as pseudodistâncias observadas de todos os satélites visíveis são comparadas com as calculadas a partir das coordenadas conhecidas da estação base e dos satélites. As diferenças e suas variações são transmitidas para o receptor móvel para corrigir as pseudodistâncias observadas;

Em ambos os caso de procedimentos para determinação das correções, o aumento da distância do receptor móvel da estação de referência provoca o decréscimo da acurácia.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo é descrita a área teste onde os levantamentos foram realizados, os dados e equipamentos utilizados para a coleta dos mesmos, bem como o software e as estratégias de processamento dos dados.

4.1 Área teste

Os levantamentos foram realizados no Assentamento São Jorge, à margem da Rodovia Olímpio Ferreira Silva (SP 272), km 20, no município de Presidente Bernardes/SP. Trata-se de uma área implantada pela FCT/UNESP, em parceria com o ITESP (Instituto de Terras do Estado de São Paulo). A área total foi dividida em três áreas, sendo que cada uma simula uma propriedade rural. A divisão ocorreu visando proporcionar situações que ocorrem quando se faz levantamentos de imóveis vizinhos.

Leite et al. (2004) , Ishikawa (2007) e Duarte et al. (2009) desenvolveram pesquisas na área em questão para testes. Estas escolhas foram realizadas visto que no local existe uma estrutura com marcos de concreto materializando os pontos limítrofes (M) de cada área e respectivos pontos de apoio básico (A). A figura 5 apresenta a área teste e suas divisões.

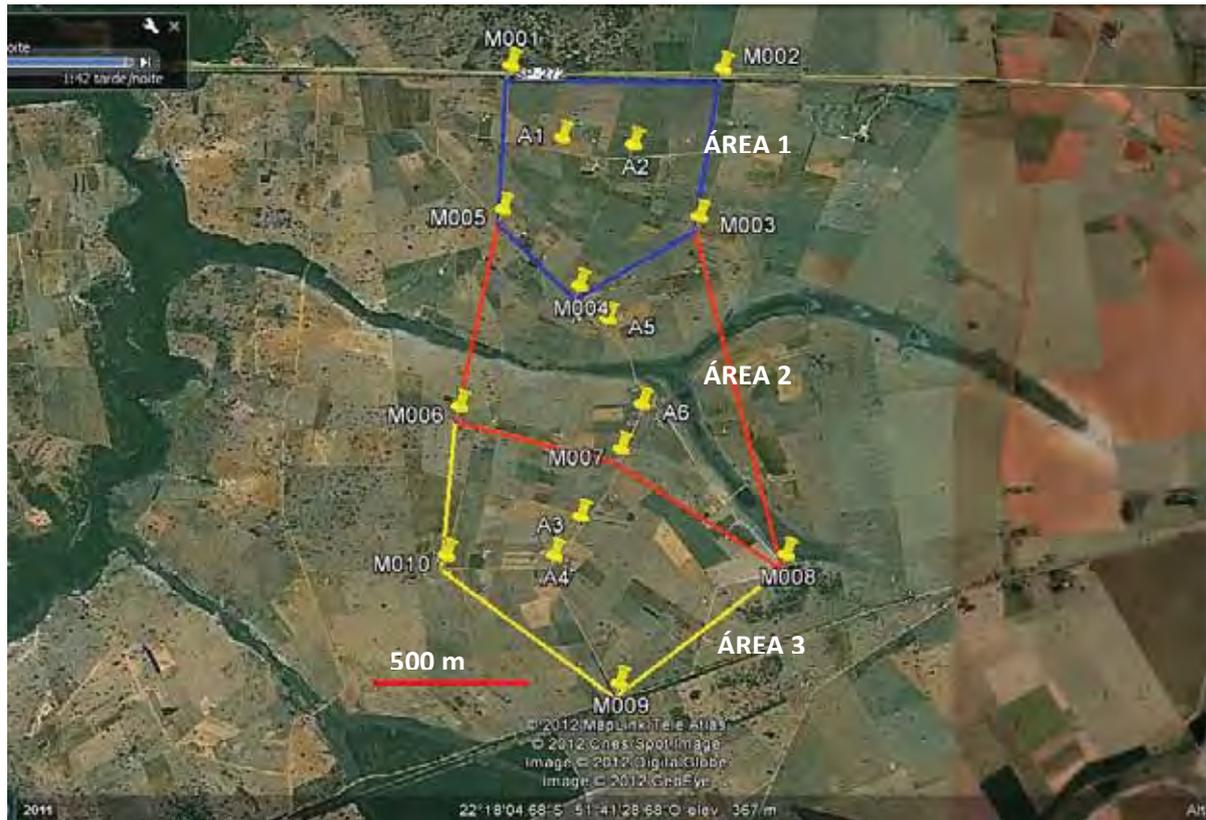


Figura 5 - Área teste e divisões.
Fonte: Adaptado de Google Earth.

Nos experimentos realizados nesta pesquisa foram utilizados dados referentes aos pontos limítrofes das três áreas, como se fossem três propriedades rurais distintas, com exceção para os dados coletados para avaliar o sinal L2C, os quais foram coletados a partir de um único ponto de referência e sem reocupação dos pontos em comum a cada área.

4.2 Dados, Equipamentos e Softwares

Os dados foram coletados em campanhas realizadas nos dias 12 e 13 de novembro de 2011.

A configuração básica dos receptores utilizados para as coletas de campo foi:

- Intervalo de gravação: 15 segundos;
- Mascara de elevação: 10 graus;
- Sistemas de posicionamento empregados: GPS e GLONASS

Para os levantamentos foi utilizado um par de receptores Topcon Hiper GGD, um par de receptores Topcon Hiper Lite e um par de receptores Trimble R8 em conjunto com a

coletora Trimble TSC2, que foi utilizada para configurar o projeto de coleta de dados e os receptores.

Todos os receptores utilizados são capazes de rastrear dados das constelações GPS e GLONASS, e os receptores R8 também recebem o sinal L2C. Ainda, foram utilizados acessórios como: tripés, trenas e bases nivelantes. As especificações dos receptores utilizados podem ser consultadas no Anexo A.

Os receptores Topcon Hiper GGD e Hiper Lite foram empregados para a realização do método de posicionamento relativo estático no levantamento dos pontos limítrofes, sendo que o tempo de rastreamento, em média, foi de 40 minutos. Com os receptores Trimble R8 o tempo de rastreamento foi de 20 minutos, devido à disponibilidade de satélites na área do levantamento. Os pontos de apoio básico de cada área tiveram ocupação, em média, de 240 minutos, ou seja, 4 horas.

O tempo definido para coleta de dados dos pontos de referência está de acordo com o tempo determinado pela NTGIR para linhas de base entre 100 e 500 km. Já para os pontos limítrofes, há uma extrapolação do tempo, pois para linhas de base menores que 10 km, o tempo mínimo é de 20 minutos. A tabela com os tempos de rastreamento em função do comprimento das linhas de base de acordo com a NTGIR pode ser consultada no Anexo B.

Para configuração, transformação e edição dos dados, foram utilizados os seguintes softwares:

- PCCDU: configuração dos receptores Topcon;
- Tps2rin: conversão dos dados do formato Topcon para RINEX;
- TEQC: edição dos dados RINEX; e
- Convert to RINEX: conversão dos dados do formato Trimble para RINEX.

Para o processamento dos dados GPS e GLONASS e transformação de coordenadas geodésicas geradas no PPP para UTM, foi utilizado o software *Leica Geo Office* (LGO) da fabricante *Leica Geosystems*. Software comercial capaz de processar dados advindos de receptores GNSS, estações totais e níveis eletrônicos. Toda a integração de dados GNSS é realizada a partir de ajustamento por mínimos quadrados.

Dentre as funcionalidades que o software disponibiliza pode-se destacar: o download automático de efemérides precisas da Internet; a possibilidade de configurar uma rede de referência em que os dados que estão disponíveis na Internet; configurações de sistemas de coordenadas locais e exportação em diversos formatos.

Destaca-se no LGO a possibilidade de considerar as coordenadas das estações de referência como injunções relativas, com a injunção dos valores de precisão das coordenadas das estações. Tal recurso, até recentemente, não era encontrada em softwares comerciais de processamento de dados GNSS.

4.3 Estratégias de Processamento

Para avaliar os efeitos da combinação dos dados GPS/GLONASS e o sinal modernizado do GPS foram realizados processamentos com diferentes configurações de sistemas de satélites e tempo de rastreamento, visando a determinação das coordenadas geodésicas dos pontos de apoio básico e dos pontos limítrofes.

4.3.1 Transporte de coordenadas

Para a determinação das coordenadas geodésicas dos pontos de apoio básico, foram selecionadas quatro estações pertencentes à RBMC, sendo: MSCG (Campo Grande/MS), PPTE (Presidente Prudente/SP), ROSA (Rosana/SP) e SPCA (Campinas/SP). Os receptores das estações escolhidas são capazes de captar dados dos sistemas de posicionamento GPS e GLONASS. A figura 6 ilustra a localização das estações e da área teste.

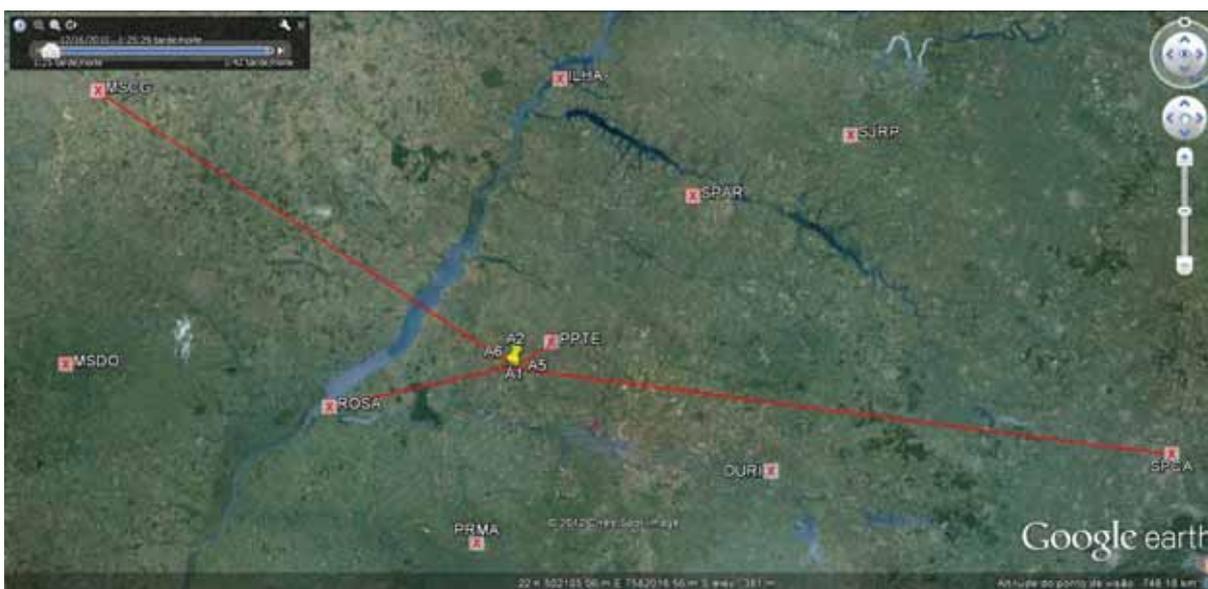


Figura 6 - Estações da RBMC selecionadas.
Fonte: Adaptado Google Earth.

Diferentes estratégias de processamento foram utilizadas para a determinação das coordenadas geodésicas dos pontos de apoio. Foram realizados processamentos com sistemas de posicionamento GPS e GLONASS separadamente e combinados, efemérides precisas e transmitidas e diferentes observáveis. A tabela 5 apresenta as características de cada estratégia utilizada.

Tabela 5 - Estratégias de processamento dos pontos de apoio básico.

Estratégia	Sistema de posicionamento	Efemérides	Observável	Método de posicionamento
Estratégia 1	GPS/GLONASS	Precisas finais	Fase e pseudodistância	Relativo estático
Estratégia 2	GPS/GLONASS	Transmitidas	Fase e pseudodistância	Relativo estático
Estratégia 3	GPS	Precisas finais	Fase e pseudodistância	Relativo estático
Estratégia 4	GLONASS	Precisas finais	Fase e pseudodistância	Relativo estático
Estratégia 5	GPS/GLONASS	Precisas finais	Pseudodistância	Relativo estático
Estratégia 6	GPS	Precisas finais	Fase e pseudodistância	PPP

Em todos os processamentos, utilizou-se um intervalo de gravação dos dados configurados nos receptores, modelo de *Hopfield* para correções de troposfera, combinação *iono-free* para eliminação dos erros de primeira ordem da ionosfera.

A sexta estratégia de processamento consiste no emprego do PPP por meio do serviço disponível on-line pelo IBGE. Sendo este processamento permitido pela NTGIR para determinação dos pontos de apoio e dos limítrofes.

4.3.2 Determinação dos pontos limítrofes

Para o processamento dos dados dos pontos limítrofes também foram adotados diferentes estratégias de processamento, objetivando analisar os resultados obtidos com diferentes sistemas e a combinação dos mesmos. As coordenadas finais utilizadas para as análises são resultantes do ajustamento realizado, já que cada área teste possui dois pontos de apoio, o que possibilita o ajuste dos pontos. A tabela 6 apresenta os parâmetros de cada estratégia de processamento.

Tabela 6 - Estratégias de processamento dos pontos limítrofes.

Estratégia	Sistema de posicionamento	Efemérides	Observável	Método de posicionamento
Estratégia 1	GPS/GLONASS	Precisas finais	Fase e pseudodistância	Relativo estático
Estratégia 2	GPS/GLONASS	Transmitidas	Fase e pseudodistância	Relativo estático
Estratégia 3	GPS	Transmitidas	Fase e pseudodistância	Relativo estático
Estratégia 4	GLONASS	Transmitidas	Fase e pseudodistância	Relativo estático
Estratégia 5	GPS/GLONASS	Transmitidas	Pseudodistância	Relativo estático
Estratégia 6	GPS	Precisas finais	Fase e pseudodistância	PPP
Estratégia 7	GPS/GLONASS	Transmitidas	Fase e pseudodistância	Relativo estático rápido 15 e 5 minutos
Estratégia 8	GPS	Transmitidas	Fase e pseudodistância e L2C	Relativo estático rápido

Em todos os processamentos utilizou-se o intervalo de gravação configurado nos receptores, modelo de *Hopfield* para correções de troposfera, combinação *iono-free* para eliminação dos erros de primeira ordem da ionosfera e efemérides transmitidas, exceto na estratégia 5 que utiliza o PPP on-line do IBGE.

Na estratégia 8, utilizou-se somente um ponto de apoio, A002, e todos os pontos foram rastreados por 20 minutos, assim, o resultado final não vem de um ajustamento mas somente do processamento das linhas de base. O tempo reduzido deve-se a disponibilidade de satélites que transmitem o sinal L2C, assim, por meio de um planejamento de rastreo (Anexo C) determinou-se uma janela de tempo em que satélites que transmitem o sinal poderiam ser rastreados.

5 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados advindos dos processamentos utilizando diferentes estratégias, tanto para o transporte de coordenadas quanto para a determinação dos pontos limítrofes. Inicialmente, são apresentados os resultados da combinação GPS/GLONASS, considerados como os valores verdadeiros e empregados na análise dos demais resultados.

Salienta-se novamente, que as coordenadas analisadas são resultantes dos ajustamentos das redes, seja para o transporte como para os pontos de limite, já que em ambas as situações são encontradas redundâncias, o que possibilita o ajustamento da rede.

Ressalta-se que durante os levantamentos ocorreram variações na quantidade de satélites observados para cada sistema, sendo que no GLONASS esse valor variou de 4 a 6 satélites, já no GPS a média foi de 10 satélites.

5.1 Transporte de coordenadas dos Pontos de Apoio Básico

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos no processamento dos pontos limítrofes das áreas. As coordenadas são resultantes do ajustamento, já que foram utilizadas quatro estações de referência pertencentes à RBMC.

5.1.1 Processamento de dados GPS/GLONASS com efemérides precisas – Estratégia 1

Conforme exposto na Seção 4.3.1 (tabela 5), neste primeiro processamento foi utilizado dados GPS/GLONASS em conjunto com efemérides precisas de ambos os sistemas. Os resultados obtidos neste serão utilizados como parâmetros de análise para as demais estratégias de processamento.

Neste processamento e nos demais, para o transporte de coordenadas, foram formadas 24 linhas de base entre os pontos de apoio A001, A002, A003, A004, A005 e A006 e as estações de referência PPTE, MSCG, ROSA e SPCA. Formou-se esse número de linhas de base devido ao fato de que somente as linhas independentes foram processadas e fizeram parte do ajuste.

Analisando o comprimento das linhas de base (tabela 7), observa-se que há linhas de aproximadamente 34 km, referentes à estação PPTE, e linhas de base com aproximadamente 480 km, referentes à estação SPCA.

Tabela 7 - Comprimento as linhas de base.

Estação de referência	Ponto	Distância (m)	Estação de referência	Ponto	Distância (m)
PPTE	A001	34835,639	MSCG	A001	358795,165
	A002	34459,827		A002	359205,033
	A003	36121,728		A003	360363,897
	A004	36412,840		A004	360374,285
	A005	35227,180		A005	359740,185
	A006	35359,351		A006	360257,863
ROSA	A001	132008,388	SPCA	A001	480082,913
	A002	132458,246		A002	479614,362
	A003	131659,578		A003	479586,559
	A004	131444,527		A004	479719,511
	A005	132074,870		A005	479603,115
	A006	132191,604		A006	479295,355

Com exceção das linhas formadas com a estação PPTE, as demais apresentaram solução *float*, ou seja, os inteiros das ambiguidades não foram determinados, resultado também esperado de acordo com a NTGIR 2^a ed. (INCRA, 2010).

A tabela 8 apresenta os valores de mínimo e máximo de PDOP (*Positional Dilution of Precision*) para cada ponto de apoio, sendo um indicativo da geometria dos satélites.

Tabela 8 - Valores de PDOP – Estratégia 1 e 2.

Ponto	PDOP Mínimo	PDOP Máximo
A001	1,6	2,2
A002	1,6	2,8
A003	1,5	3,9
A004	1,5	3,9
A005	1,6	3,8
A006	1,5	4,2

De acordo com a NTGIR 2^a ed. (INCRA, 2010), o PDOP para levantamentos com a finalidade de georreferenciamento deve apresentar valores inferiores a 6,0, fato encontrado em todos os pontos. Vale ressaltar que estes valores são para dados GPS/GLONASS.

Após processadas as linhas de base, realizou-se o ajustamento da rede utilizando também o LGO, que passou no controle de qualidade do teste Qui-quadrado com probabilidade de 95%. As coordenadas finais dos pontos com seus respectivos desvios-padrão são apresentados na tabela 9, bem como a resultante planimétrica do desvio-padrão. As

coordenadas estão em UTM (*Universal Transversa de Mercator*) no sistema de referência SIRGAS 2000.

Tabela 9 - Coordenadas e desvios-padrão dos pontos de apoio ajustados – Estratégia 1.

Ponto	N (m)	E (m)	σ_N (m)	σ_E (m)	σ_p(m)
A001	7535431,492	428311,710	0,004	0,008	0,009
A002	7535393,171	428779,671	0,006	0,012	0,013
A003	7532871,922	428475,411	0,015	0,048	0,050
A004	7532606,487	428307,222	0,008	0,045	0,046
A005	7534214,592	428632,808	0,007	0,016	0,017
A006	7533637,619	428867,642	0,008	0,018	0,020

Observa-se na tabela 9 que os maiores desvios são apresentados pelo ponto A003, o que resulta em uma precisão planimétrica maior. No entanto, todos os pontos apresentam precisão compatível com o exigido, o qual é igual, ou melhor, a 0,10 m.

5.1.2 Processamento de dados GPS/GLONASS com efemérides transmitidas – Estratégia 2

Conforme tabela 5, substitui-se as efemérides precisas pelas transmitidas no processamento dos dados, gerando novas soluções. Os valores de PDOP são os mesmos apresentados na tabela 8, já que não houve alteração na quantidade de satélites observados.

O resultado do ajustamento da rede apresenta as coordenadas e desvios-padrão dos pontos, bem como a precisão planimétrica de cada um, conforme exibido na tabela 10.

Tabela 10 - Coordenadas e desvios-padrão dos pontos de apoio ajustados - Estratégia 2.

Ponto	N (m)	E (m)	σ_N (m)	σ_E (m)	σ_p(m)
A001	7535431,494	428311,708	0,005	0,008	0,009
A002	7535393,172	428779,670	0,007	0,013	0,015
A003	7532871,918	428475,377	0,017	0,053	0,056
A004	7532606,485	428307,225	0,009	0,039	0,040
A005	7534214,554	428632,838	0,008	0,018	0,020
A006	7533637,617	428867,648	0,009	0,019	0,021

Nota-se na tabela 10, que o maior valor é encontrado no ponto A003, no entanto, todos atendem ao critério de precisão exigido pela NTGIR, ou seja, precisão planimétrica melhor que 0,10 m.

As discrepâncias planimétricas (Δ_p) resultantes entre as coordenadas obtidas utilizando diferentes efemérides são apresentadas na figura 7 e os valores de precisão resultante (σ_p), são apresentados na figura 8.

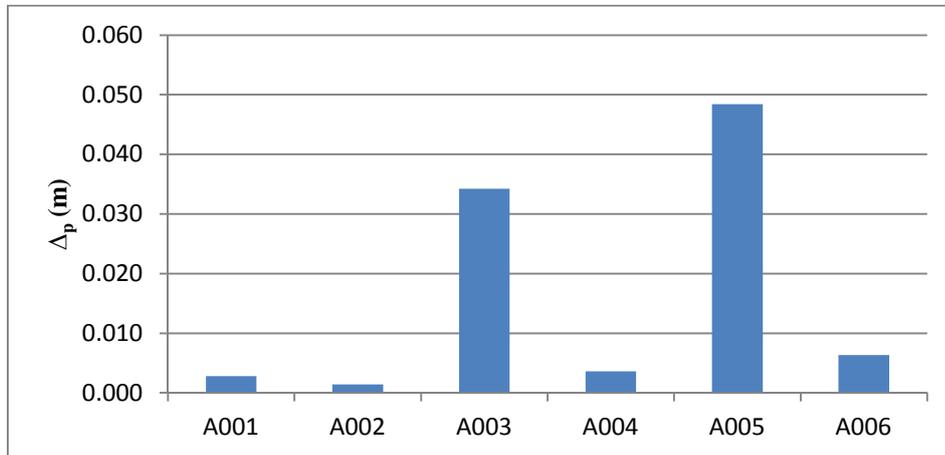


Figura 7 - Discrepâncias planimétrica entre os pontos do apoio básico (Estratégias 1e 2).

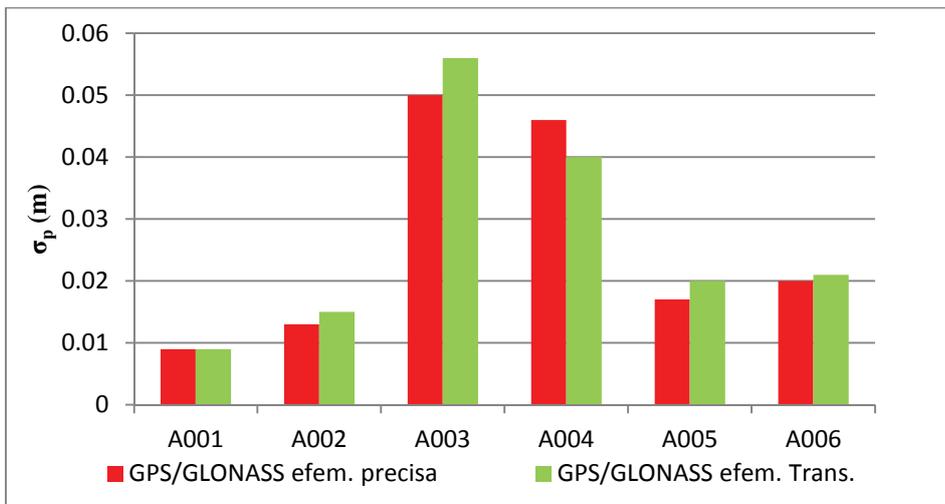


Figura 8 - Precisão planimétrica dos pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 2).

Observa-se na figura 7 que as discrepâncias são da ordem de centímetros, sendo o menor valor encontrado no ponto A002, que é de 0,001 m, e o maior para o ponto A005, igual a de 0,048 m. Na figura 8, verifica-se que os maiores valores são encontrados nos dados obtidos com efemérides transmitidas, com exceção do ponto A004; a mesma tendência de valores também pode ser observada.

5.1.3 Processamento de dados GPS com efemérides precisas – Estratégia 3

No terceiro processamento foram utilizados somente dados do sistema GPS com efemérides precisas conforme estratégia apresentada na tabela 5.

Ao utilizar somente dados GPS, os valores de PDOP são alterados, os quais são apresentados na tabela 11.

Tabela 11 - Valores de PDOP – Estratégia 3.

Ponto	PDOP Mínimo	PDOP Máximo
A001	1,6	2,6
A002	1,6	3,0
A003	1,6	3,9
A004	1,6	3,9
A005	1,6	5,0
A006	1,6	12,7

Verifica-se na tabela 11 a ocorrência de um valor maior de PDOD do que o recomendado, sendo obtido no ponto A006, com PDOP igual a 12,7, mesmo com 10 satélites observados.

Ajustando-se a rede obteve-se as coordenadas e desvios-padrão que estão indicadas na tabela 12.

Tabela 12 - Coordenadas e desvios-padrão de resultados GPS – Estratégia 3.

Ponto	N (m)	E (m)	σ_N (m)	σ_E (m)	σ_p(m)
A001	7535431,493	428311,72	0,004	0,008	0,009
A002	7535393,169	428779,673	0,007	0,013	0,014
A003	7532871,923	428475,419	0,016	0,050	0,052
A004	7532606,487	428307,231	0,009	0,047	0,047
A005	7534214,592	428632,8078	0,007	0,017	0,018
A006	7533637,62	428867,6425	0,009	0,019	0,021

Observa-se na tabela 12, que os maiores valores de desvio-padrão e resultante planimétrica são encontrados no ponto A003.

As figuras 9 e 10 apresentam as resultantes das discrepâncias planimétricas e a resultante planimétrica das precisões.

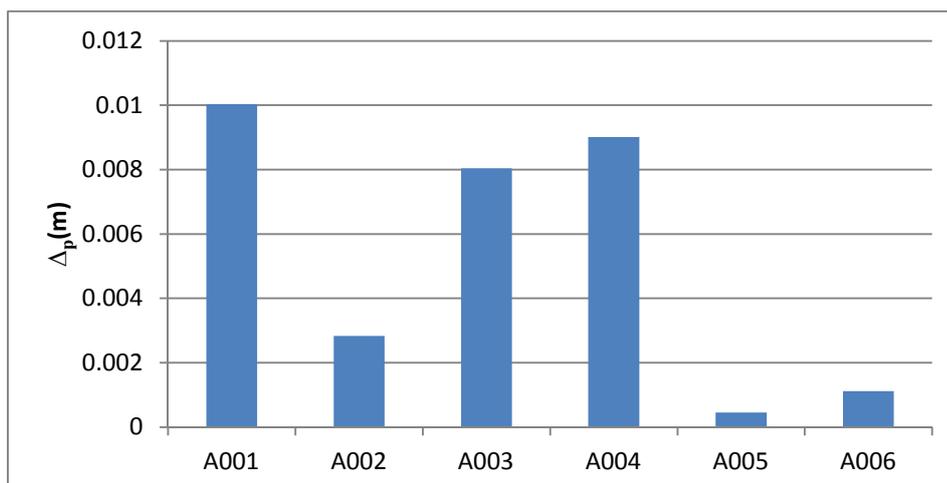


Figura 9 - Discrepâncias planimétrica entre os pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 3).

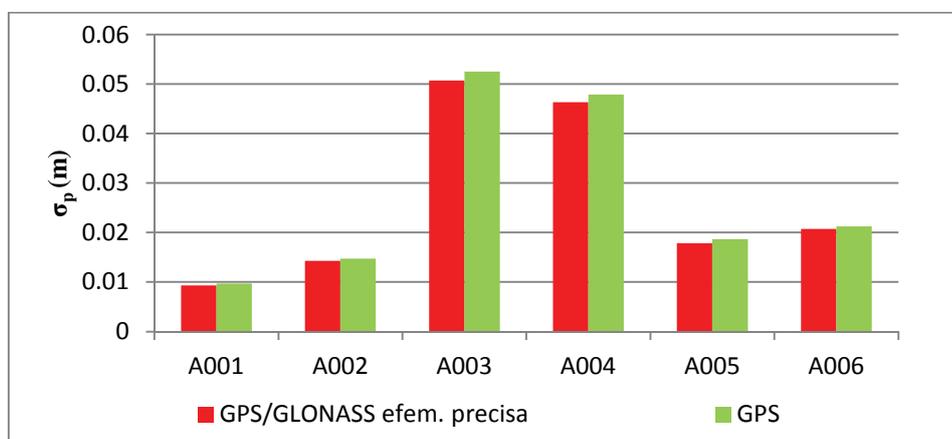


Figura 10 - Precisão planimétrica dos pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 3).

Na figura 9 nota-se que a discrepância entre as coordenadas de referência e as obtidas com dados GPS são da ordem de milímetros, obtendo os maiores valores nos pontos A001 e A004, 10 mm e 8,9 mm respectivamente. Na figura 10, observa-se que os pontos possuem pequenas discrepâncias nas resultantes de precisão planimétrica, sendo os maiores valores no ponto A003. Neste caso, os valores obtidos a partir do processamento de dados GPS são maiores que os de referência.

5.1.4 Processamento de dados GLONASS com efemérides precisas – Estratégia 4

Na quarta estratégia de processamento para transporte de coordenadas geodésicas dos pontos de apoio básico, foram utilizados somente dados GLONASS e efemérides precisas.

A tabela 13 apresenta os valores de PDOPs para os pontos rastreados com o sistema GLONASS.

Tabela 13 - Valores de PDOPs – Estratégia 4.

Ponto	PDOP (Mínimo)	PDOP (Máximo)
A001	3,1	68,1
A002	8,2	59,2
A003	3,1	71,7
A004	3,0	54,9
A005	2,9	99,9
A006	2,9	39,4

Observa-se na tabela 13 que os valores máximos do PDOP são altos, em função da geometria dos satélites GLONASS. Sendo o PDOP um indicador da qualidade do posicionamento, verifica-se que o mesmo apresenta indícios de que os resultados obtidos não serão satisfatórios.

Na tabela 14, são apresentadas as coordenadas e desvios-padrão resultantes do ajustamento dos pontos de apoio.

Tabela 14 - Coordenadas e desvios-padrão do processamento – Estratégia 4.

Ponto	N (m)	E (m)	σ_N (m)	σ_E (m)	σ_p (m)
A001	7535424,368	428309,086	4,509	4,738	6,541
A002	7535391,856	428778,376	9,594	9,719	13,656
A003	7532885,021	428469,368	2,140	4,755	5,214
A004	7532620,391	428305,401	3,090	3,092	4,371
A005	7534209,847	428651,856	11,208	11,656	16,170
A006	7533635,117	428870,092	2,861	3,828	4,779

Examinando a tabela 14, verifica-se que os resultados GLONASS não atingem os padrões de precisão exigidos pela NTGIR no que se refere ao transporte de coordenadas de pontos de apoio básico.

Os valores de PDOP indicados na tabela 13 corroboraram com os resultados apresentados na tabela 14, que também estão de acordo com o trabalho de Lago et al.(2002).

As resultantes planimétrica das discrepâncias entre as coordenadas de referência e as obtidas neste processamento são apresentadas na figura 11.

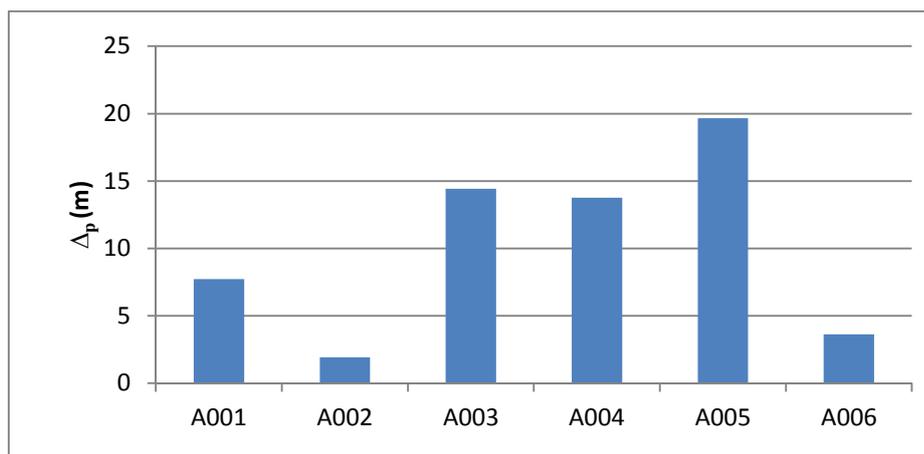


Figura 11 - Discrepância planimétrica entre os pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 4).

Nota-se na figura 11, que as discrepâncias são da ordem de metros, sendo que a menor ocorre no ponto A002 e a maior no ponto A005, com valores de 1,845 m e 19,630 m, respectivamente.

O maior valor encontrado para precisão planimétrica ocorreu para o ponto A005, igual a 16,17 m, e o menor para o ponto de apoio A004, da ordem de 4,371 m.

5.1.5 Processamento das pseudodistâncias GPS/GLONASS – Estratégia 5

Na quinta estratégia foram utilizadas efemérides precisas e teve como observável a combinação *iono-free* da pseudodistância. Assim, neste processamento, não se utilizou dados referentes à observável fase da onda portadora.

Uma das razões de se utilizar somente dados de medidas de pseudodistância é a de não haver ambiguidades a serem estimadas no processo de ajustamento das duplas diferenças. Por outro lado, a pseudodistância é menos precisa que a fase da onda portadora, precisão essa que se propaga no ajustamento das duplas diferenças.

Os resultados advindos do processamento utilizando a pseudodistância são apresentados na tabela 15.

Tabela 15 - Coordenadas e desvios-padrão dos pontos – Estratégia 5.

Ponto	N (m)	E (m)	σ_N (m)	σ_E (m)	σ_p (m)
A001	7535431,570	428311,796	0,047	0,042	0,063
A002	7535393,182	428779,657	0,065	0,059	0,088
A003	7532871,742	428475,298	0,063	0,059	0,086
A004	7532606,666	428307,222	0,066	0,060	0,089
A005	7534214,736	428632,918	0,049	0,050	0,070
A006	7533637,786	428867,649	0,049	0,050	0,070

Conforme apresentado na tabela 15, todos os pontos possuem precisão melhor que 0,10 m, indicando que todos atendem as exigências de precisão planimétrica da NTGIR.

As discrepâncias planimétricas resultantes entre as coordenadas de referência e as obtidas neste processamento podem ser visualizadas na figura 12.

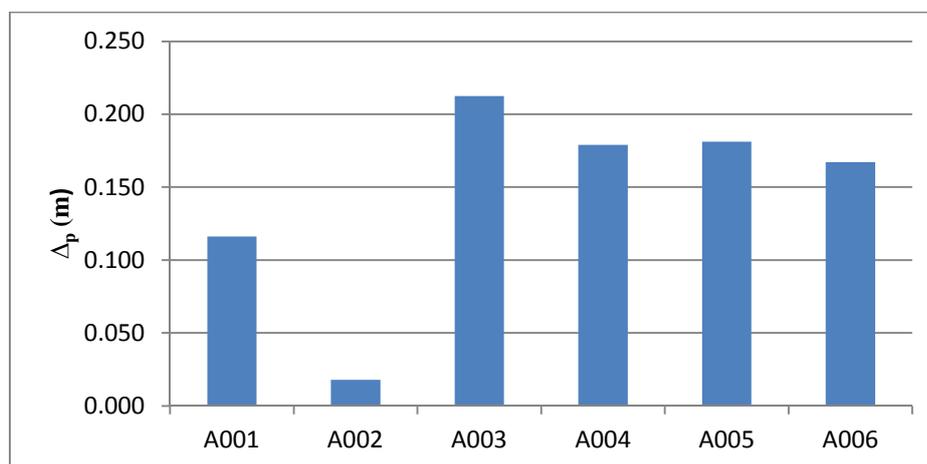


Figura 12 - Discrepância planimétrica entre os pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 5),

Verifica-se na da figura 12 que a maioria das discrepâncias encontradas é menor que 0,22 m, sendo o maior valor encontrado no ponto A003 e o menor no A002, como valores iguais a 0,213 m e 0,018 m, respectivamente.

Observa-se na figura 13, a magnitude dos desvios-padrão dos dados de referência e dos processados apenas com a pseudodistância. Nota-se que, apesar das diferenças de magnitude, ambos atendem a NTGIR.

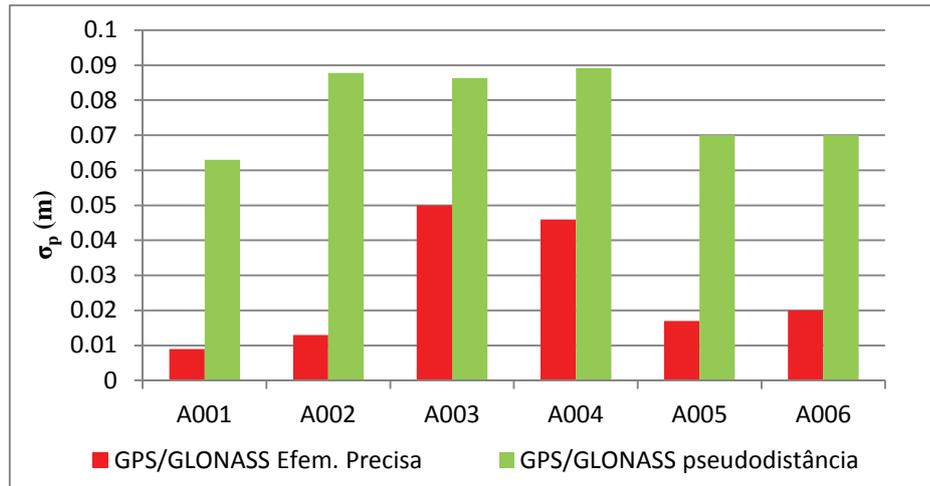


Figura 13 - Precisão planimétrica dos pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 5).

5.1.6 Processamento de dados GPS utilizando o PPP – Estratégia 6

Nesta estratégia de processamento, os dados foram enviados ao PPP on-line do IBGE, que automaticamente processa os dados GPS, e os resultados são posteriormente enviados via *e-mail* ou disponibilizados via *link* para serem baixados.

Os arquivos enviados para o sistema on-line do IBGE para processamento no modo PPP foram os mesmos utilizados no processamento dos resultados de referência, com aproximadamente 4 horas de rastreamento. No PPP as coordenadas são disponibilizadas em latitude, longitude e altura geométrica, sendo que estas e suas respectivas precisões foram convertidas para coordenadas UTM com o auxílio do *software* LGO.

Para o processamento dos pontos foi utilizada a combinação *iono-free* da fase da portadora e da pseudodistância e as efemérides precisas, segundo o relatório de processamento do IBGE. As coordenadas e precisões obtidas no PPP são apresentadas na tabela 16.

Tabela 16 - Coordenadas e desvios-padrão obtidos com PPP – Estratégia 6.

Ponto	N (m)	E (m)	σ_N (m)	σ_E (m)	σ_p (m)
A001	7535431,633	428311,688	0,007	0,015	0,016
A002	7535393,309	428779,621	0,008	0,019	0,020
A003	7532871,918	428475,377	0,006	0,018	0,018
A004	7532606,737	428307,215	0,011	0,053	0,054
A005	7534214,757	428632,808	0,011	0,023	0,025
A006	7533637,788	428867,635	0,012	0,026	0,028

Observa-se na tabela 16 que os maiores desvios-padrão para a componente N é encontrada no ponto A006, e para a componente E, no ponto A004.

Verifica-se também na tabela 16 que todos os pontos estão dentro do limiar apresentado pela NTGIR e podem ser utilizados como pontos de apoio básico para o levantamento de pontos limítrofes das propriedades.

Os relatórios de processamento enviados pelo IBGE informam que pode se esperar precisão de 0,05 m utilizando receptores de dupla frequência no modo estático, neste caso, somente o ponto A004 apresentou valor maior do que consta no relatório.

Pode-se verificar as resultantes das discrepâncias planimétricas entre os resultados de referência e os obtidos com o PPP na figura 14.

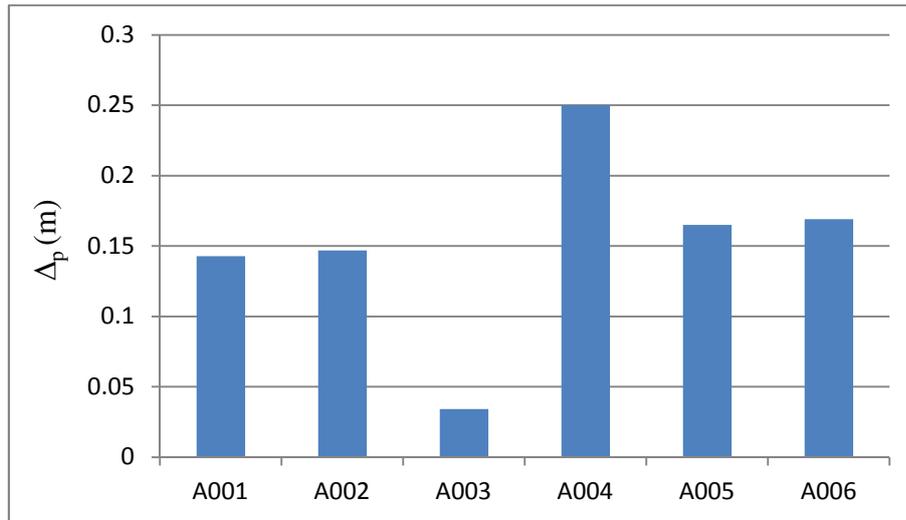


Figura 14 - Discrepância planimétrica entre os pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 5).

Verifica-se na figura 14, que o maior valor de discrepância é encontrado no ponto A004, da ordem de 0,25 m, enquanto que a menor discrepância foi obtida no ponto A003, com valor de 0,034 m.

Na figura 15, nota-se que os desvios-padrão obtidos com o PPP também são maiores que os obtidos com o posicionamento relativo.

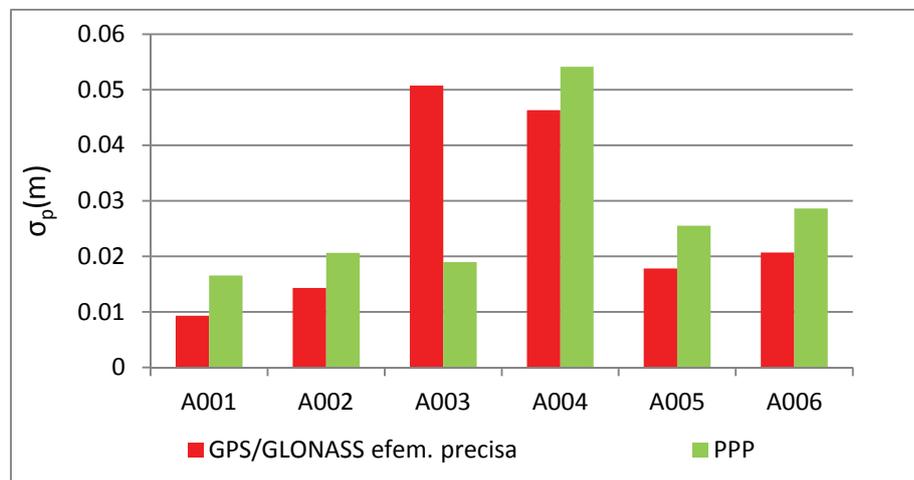


Figura 15 - Precisão planimétrica dos pontos de apoio básico (Estratégias 1 e 5).

O ponto A004 apresentou o maior valor para a precisão planimétrica, igual a 0,054 m, sendo que para os demais estes valores são inferiores a 0,03 m. Já para o ponto A003, o resultado do PPP apresentou menor valor para a precisão planimétrica, quando comparado com os valores de referência, 0,018 m.

Observa-se ao analisar as figuras 13 e 14 que o PPP atende a NTGIR no que se refere a precisão planimétrica exigida.

5.2 Determinação dos Pontos Limites

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos no processamento dos pontos limítrofes das áreas (Seção 4.3.2). Vale lembrar que as coordenadas são resultantes do ajustamento, já que cada área possui dois pontos de apoio básico. Para estes adotou-se como referência as coordenadas dos pontos básicos, obtidas no processamento de dados GPS/GLONASS com efemérides precisas (Estratégia 1), juntamente com seus respectivos desvios-padrão.

Os resultados serão apresentados de acordo com a modalidade de processamento (tabela 6). Assim, apresentar-se-ão os pontos de todas as áreas de acordo com o processamento realizado.

5.2.1 Processamento de dados GPS/GLONASS com efemérides precisas – Estratégia 1

Neste processamento foram determinadas as coordenadas que serão consideradas como verdadeiras para análise das demais. Foram utilizados dados GPS/GLONASS, juntamente com efemérides precisas, considerando, assim, as melhores condições para o posicionamento, conforme exposto na Seção 4.3.2. A tabela 17 apresenta as coordenadas obtidas com os dados supracitados.

Tabela 17 - Coordenadas GPS/GLONASS dos pontos limítrofes – Estratégia 1.

Área	Ponto	N (m)	E (m)	σ_N (m)	σ_E (m)	σ_p (m)
Área 1	M001	7535916,668	427966,922	0,002	0,003	0,004
	M002	7535911,787	429358,337	0,002	0,004	0,004
	M003	7534913,060	429221,805	0,002	0,003	0,004
	M004	7534433,959	428440,932	0,002	0,004	0,004
	M005	7534942,839	427928,509	0,002	0,004	0,004
Área 2	M003	7534913,061	429221,810	0,001	0,001	0,001
	M004	7534433,964	428440,944	0,002	0,001	0,002
	M005	7534942,820	427928,526	0,001	0,001	0,001
	M006	7533601,086	427666,793	0,001	0,001	0,001
	M007	7533330,861	428734,007	0,001	0,001	0,001
	M008	7532635,366	429830,041	0,002	0,003	0,004
Área 3	M006	7533601,072	427666,650	0,005	0,024	0,025
	M007	7533330,850	428733,882	0,005	0,002	0,005
	M008	7532635,443	429829,143	0,009	0,053	0,054
	M009	7531750,016	428748,970	0,005	0,024	0,025
	M010	7532592,782	427600,395	0,005	0,024	0,025

Verifica-se na tabela 17 que os desvios-padrão são da ordem de milímetros. Para a Área 1, o maior valor da componente N obtido é no ponto M002, para a componente E, o maior valor é obtido no ponto M004. Já em relação à Área 2, os maiores valores para os desvios-padrão são encontrados no ponto M004. E, para Área 3, os maiores valores são encontrados no ponto M008. Deve-se considerar que neste caso, todas as linhas de base apresentaram solução fixa, sendo os valores inteiros das ambiguidades estimados.

Pode-se também observar as resultantes de precisão planimétrica dos pontos na tabela 17. Observa-se que a precisão planimétrica dos pontos da Área 1 são da ordem de 5 mm (0,005 m). Para a Área 2, a precisão varia entre 2 e 4 mm (0,002 e 0,004 m). Já para a terceira área, o ponto M008 apresenta precisão planimétrica de 54 mm, mesmo assim, está muito abaixo de 0,50 m.

O processamento da Estratégia 1 atende, em todos os casos, a precisão exigida pela NTGIR.

5.2.2 Processamento de dados GPS/GLONASS com efemérides transmitidas – Estratégia 2

Posteriormente ao processamento dos dados GPS/GLONASS com efemérides precisas, na segunda estratégia de processamento foram utilizadas efemérides transmitidas e

obteve-se solução fixa para todas as linhas de base. As resultantes das discrepâncias planimétricas dos pontos pertencentes às três áreas são apresentadas na figura 16.

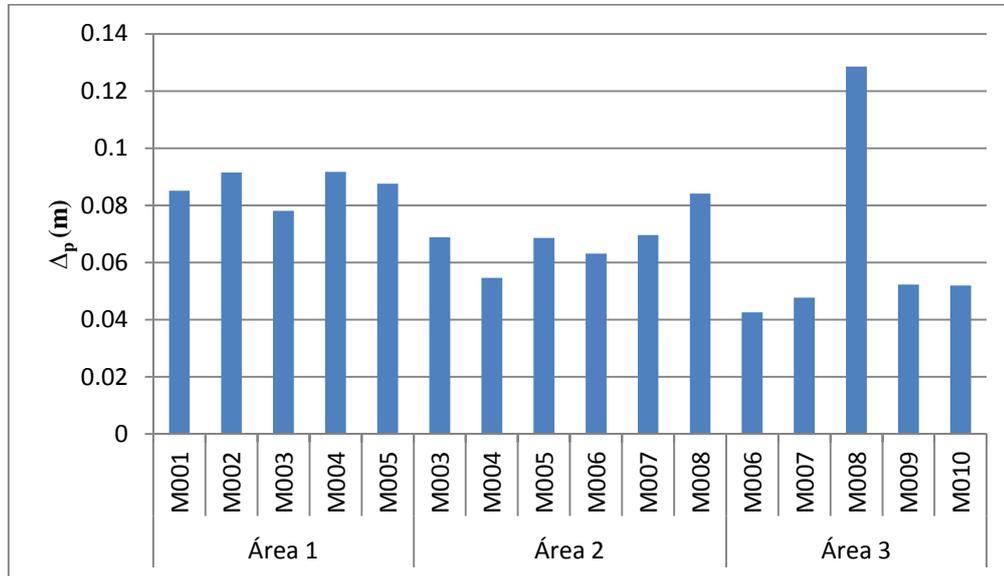


Figura 16 - Discrepância planimétrica entre os pontos limítrofes (Estratégias 1 e 2).

Verifica-se na figura 16 que as resultantes das discrepâncias planimétricas estão entre 0,042 m, no ponto M006, e 0,128 m para o ponto M008, ambos pertencentes à Área 3. Para a mesma área, o valor da discrepância do ponto M008 é o que não segue a tendência dos demais, que estão entre 0,04 e 0,06 m.

Na figura 17, observa-se a resultante da precisão planimétrica dos dados GPS/GLONASS processados com efemérides precisas e os processados com órbitas transmitidas.

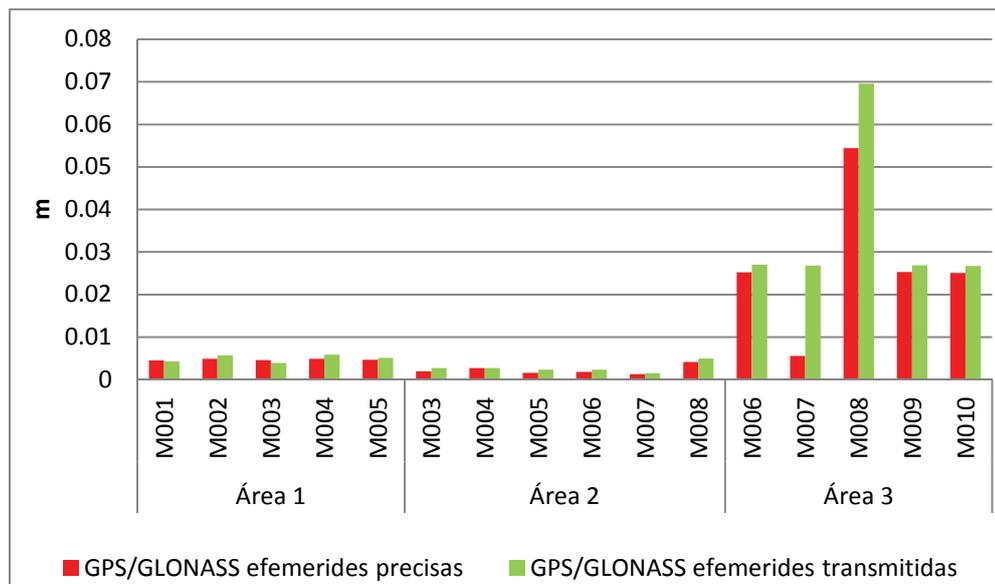


Figura 17 - Precisão planimétrica dos pontos limítrofes (Estratégias 1 e 2).

Observa-se na figura 17 que na Área 1, os pontos determinados a partir de efemérides transmitidas possuem valores maiores para a resultante da precisão planimétrica. Já para a Área 2, nota-se que os resultados de referência possuem os menores valores de resultante.

Na área 3 ocorre um aumento nos valores, tanto para os dados de referência como para os processados com efemérides transmitidas. Nota-se também neste caso, que as resultantes dos dados de referência são menores do que os determinados com efemérides transmitidas, como ocorrido na Área 2.

5.2.3 Processamento de dados GPS com efemérides transmitidas – Estratégia 3

Na terceira estratégia, foram empregados dados GPS juntamente com efemérides transmitidas.

Após o processamento e ajustamento dos pontos limítrofes, obtiveram-se as coordenadas e respectivos desvios-padrão.

A figura 18 apresenta as resultantes das discrepâncias planimétricas entre a solução de referência e os advindos apenas do GPS.

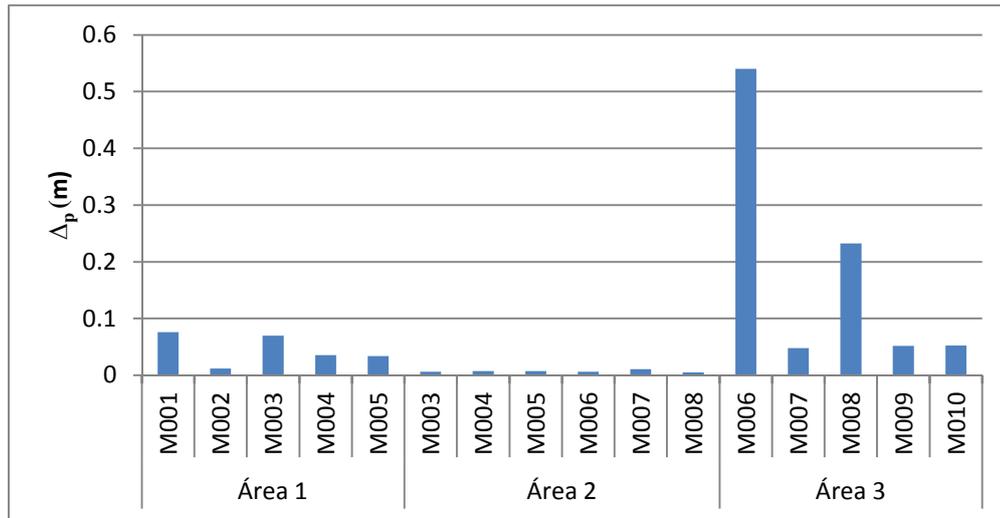


Figura 18 - Discrepância planimétrica entre os pontos limítrofes (Estratégias 1 e 3).

Observa-se na figura 18 que, a maioria dos pontos apresentam discrepância menor que 0,10 m, com exceção dos pontos M006 e M008, ambos referentes à Área 3. Neste caso o ponto M006 apresentou discrepância de 0,54 m e o ponto M008 de 0,23 m. Tais pontos também foram rastreados no levantamento da Área 2, com o mesmo tempo de rastreio, no entanto, em horários diferentes, o que pode indicar alguma alteração relacionada a ionosfera, já que a área 3 foi levantada no final da tarde e início da noite. No caso do ponto M008 também pode estar associado efeitos de multicaminho; e os resíduos das DD de uma das linhas de base formadas com esse ponto são apresentados no Anexo D. Tanto para a Área 2 como para a Área 3, foram rastreados entre 7 e 10 satélites para os pontos M006 e M008.

As menores discrepâncias estão na Área 2, que possui pontos comuns com a área 1, que também apresentaram menores discrepâncias.

Ressalta-se que, no processamento das linhas de base, obteve-se solução fixa em todos os casos.

A figura 19 apresenta a resultante da precisão planimétrica dos dados GPS/GLONASS processados com efemérides precisas e os dados GPS processados com órbitas transmitidas.

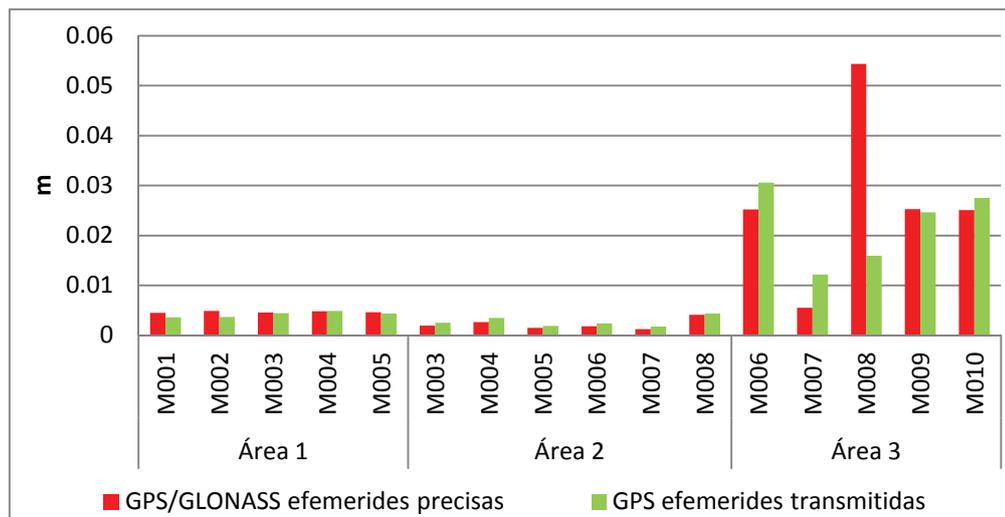


Figura 19 - Precisão planimétrica dos pontos limítrofes (Estratégias 1 e 3).

Verifica-se na figura 19, para a Área 1, os valores da resultante de precisão planimétrica obtidos com dados GPS são menores que os dados de referência. No entanto, para a Área 2, o resultado se inverte; as resultantes dos dados de referência são menores que as determinadas a partir de dados GPS, sendo os maiores valores encontrados no ponto M008, igual a 0,004 m, tanto para os dados de referência como os obtidos com GPS.

Na Área 3, repete-se o cenário ocorrido ao analisar os dados GPS com efemérides transmitidas. Verifica-se um aumento nos valores de precisão planimétrica, sendo que para os pontos M006, M007 e M010 os valores são maiores para os dados GPS, que são da ordem de 0,030 m, 0,012 m e 0,027 m, respectivamente. Para o ponto M008 da mesma área, nota-se um valor menor para a precisão planimétrica ao se comparar com a figura 19, sinalizando uma possível influência dos dados GLONASS no resultado do processamento.

5.2.3 Processamento de dados GLONASS com efemérides transmitidas – Estratégia 4

No quarto processamento, fez-se uso de dados GLONASS, e efemérides transmitidas. Após o processamento das linhas de base, realizou-se o ajustamento dos pontos limítrofes, tendo como resultado as coordenadas e respectivos desvios-padrão.

Uma observação relevante que deve ser feita para o caso dos dados GLONASS é o fato de que não se obteve solução fixa para nenhuma das linhas de base processadas, todas apresentaram solução flutuante.

A figura 20 apresenta as resultantes das discrepâncias planimétricas encontradas entre as coordenadas de referência e as determinadas com dados GLONASS.

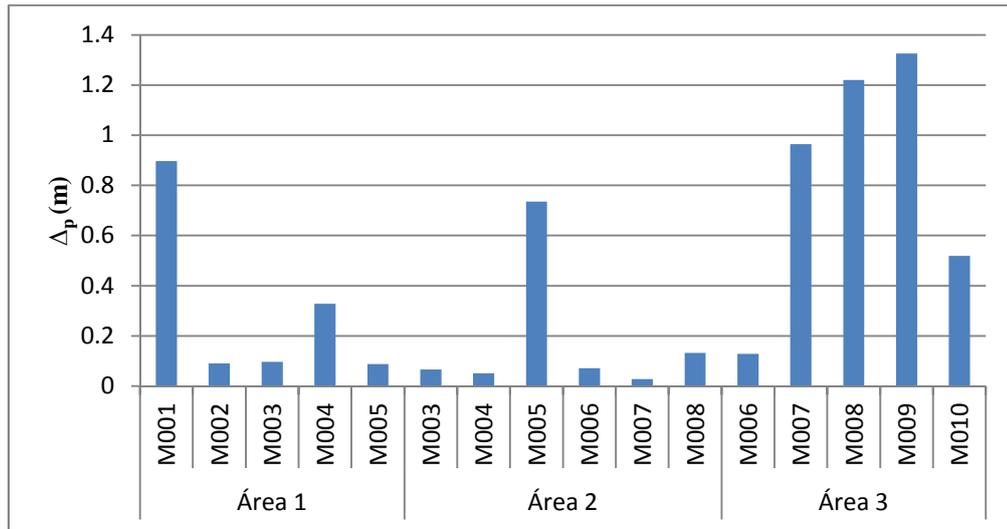


Figura 20 - Discrepância planimétrica os pontos limítrofes (Estratégias 1 e 4).

Verifica-se na figura 20, que para a Área 1, a maior discrepância é obtida no ponto M001, que é igual a 0,89 m. Nota-se também outro pico no ponto M004, de 0,32 m. Para os demais pontos desta área, as discrepâncias são inferiores a 0,20 m, sendo o menor valor pertencente ao ponto M005, que é de 0,08 m.

Para a Área 2, com exceção do ponto M005, cuja discrepância foi de 0,76 m, os demais apresentam discrepâncias menores que um décimo metro.

Para a Área 3, verifica-se discrepâncias maiores que um metro para os pontos M008 e M009, 1,22 m e 1,32 m, respectivamente. Sendo a menor discrepância encontrada no ponto M006, que é de 0,12 m.

A figura 21 apresenta a resultante da precisão planimétrica dos pontos determinados com dados GLONASS e os valores de referência.

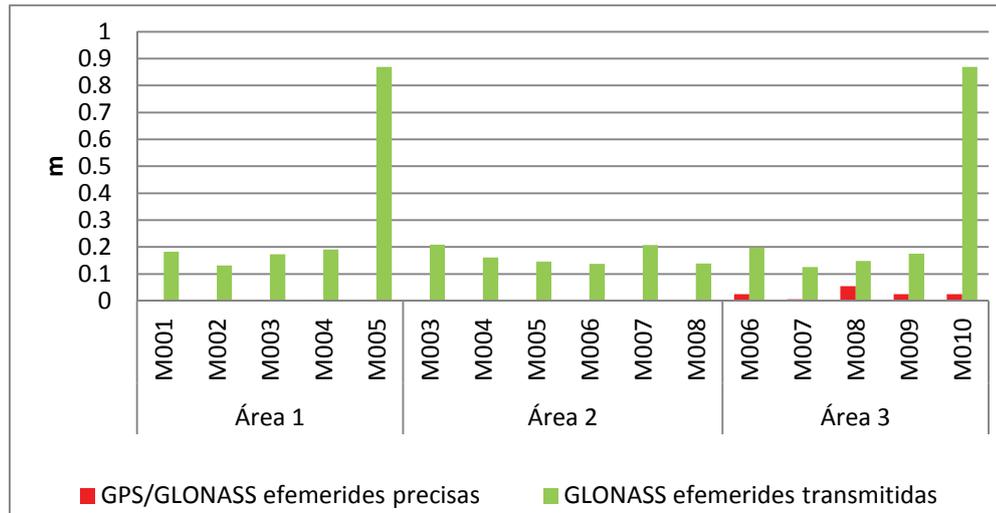


Figura 21 - Precisão planimétrica dos pontos limítrofes (Estratégias 1 e 4).

Primeiramente, observa-se pelo gráfico da figura 20, que devido à sua escala, na maioria dos pontos, os valores de referência não são representados, o que permite uma primeira avaliação da diferença entre as magnitudes de precisão planimétrica.

Para a Área 1, verifica-se que os pontos determinados com GLONASS, com exceção do M005, apresentam precisão planimétrica que atende a exigência do INCRA, ou seja, menor que 0,50m. No caso da Área 2, verifica-se um comportamento mais homogêneo entre os pontos, sendo que, todos atenderiam a precisão exigida. Na Área 3, observa-se um comportamento semelhante ao da Área 1, tendo somente um ponto que não atende a exigência da NTGIR, no caso o ponto M010.

Para a Área 1, o número de satélites GLONASS variou entre 4 e 5 satélites, o que ocorreu também para a Área 2. Observou-se um aumento quantidade de satélites na Área 3, que ficou entre 4 e 6.

5.2.5 Processamento das pseudodistâncias GPS/GLONASS com efemérides transmitidas – Estratégia 5

Nesta estratégia foram utilizadas somente as observáveis de pseudodistância dos sistemas GPS e GLONASS e efemérides transmitidas. Processadas as linhas de base, realizou-se o ajustamento dos pontos limítrofes, obtendo como resultado final as coordenadas e respectivos desvios-padrão.

A figura 22 apresenta as resultantes das discrepâncias planimétricas encontradas entre as coordenadas de referência e as determinadas com dados de pseudodistância.

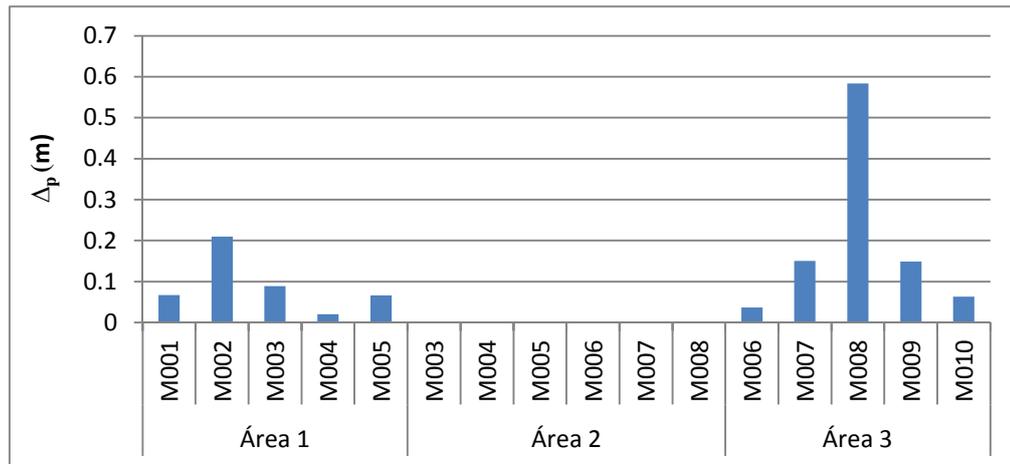


Figura 22 - Discrepância planimétrica entre os pontos limítrofes (Estratégias 1 e 5).

Observa-se na figura 22, que em relação à Área 1, o maior valor de discrepância foi obtido no ponto M002, igual a 0,209 m. Para a Área 2, exceto o ponto M006, com discrepância de 0,001 m, os demais apresentaram discrepâncias de ordem menor que a do milímetro. Já para a Área 3, nota-se que as discrepâncias são da ordem de centímetros, sendo que o menor valor é encontrado no ponto M006, de 0,036 m, e o maior valor no ponto M008, de 0,583 m.

Ressalta-se neste caso, que como não foram processados dados de fase da portadora, e sim, das pseudodistâncias, não houve ambiguidades a serem estimadas no processamento das linhas de base.

A figura 23 traz um gráfico apresentando as resultantes de precisão planimétrica para os dados processados deste experimento e os dados de referência.

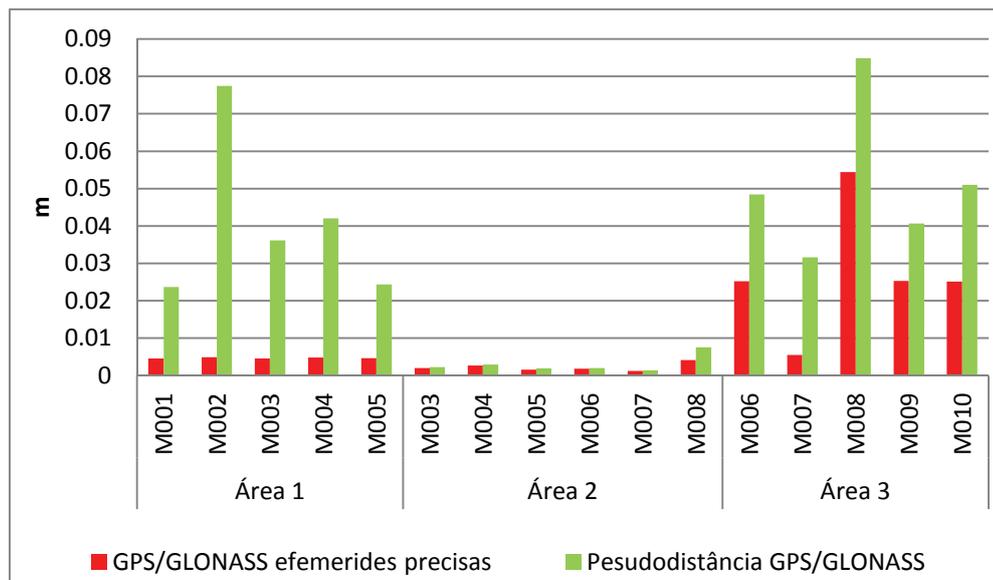


Figura 23 - Precisão planimétrica dos pontos limítrofes (Estratégias 1 e 5).

Em relação à Área 1, o gráfico da figura 22 mostra que, enquanto a precisão planimétrica dos dados de referência são da ordem de milímetros, os resultados obtidos com a pseudodistância apresentam precisão da ordem de centímetros. O ponto que apresenta o maior valor é o M002, com precisão planimétrica de 0,077 m.

Observa-se também que para os pontos da Área 2, as precisões planimétricas são próximas das apresentadas pelos valores de referência, havendo maior discrepância no ponto M008, que possui valor igual a 0,075 m.

Para os pontos da Área 3, nota-se que, novamente o ponto M008 apresenta maior valor para a σ_p , que é de 0,084 m. É possível notar que, há diferenças de magnitude das precisões ao se comparar as Áreas 1 e 3 com a Área 2.

5.2.6 Processamento de dados por meio do PPP – Estratégia 6

Enviados os dados GPS para o serviço de PPP on-line do IBGE, os resultados foram recebidos via *e-mail* e as informações de coordenadas e precisões extraídas dos relatórios de processamento. No PPP, as coordenadas são disponibilizadas em latitude, longitude e altura geométrica, sendo que estas e suas respectivas precisões foram convertidas para coordenadas UTM com o auxílio do programa LGO.

A figura 24 apresenta a discrepância planimétrica resultante entre as coordenadas.

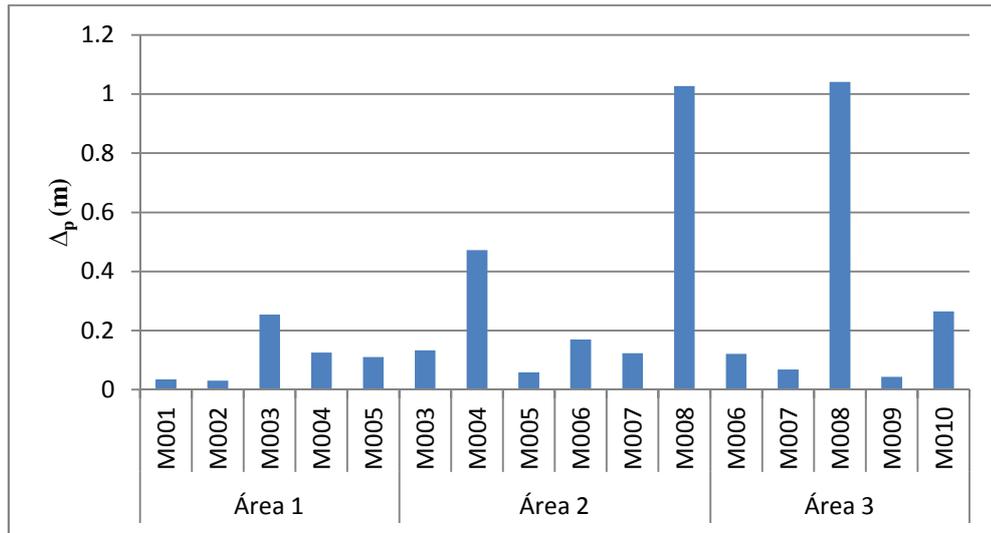


Figura 24 - Discrepância planimétrica entre os pontos limítrofes (Estratégias 1 e 6).

Observa-se na figura 24, que para a Área 1, a maior discrepância é obtida no ponto M003, com o valor de 0,254 m, sendo os pontos M001 e M002 da ordem de centímetros, e os pontos M004 e M005 entre 0,10m e 0,11m. Em relação a Área 2, a maior discrepância foi obtida no ponto M008, com resultante da ordem de 1,027 m, sendo o ponto M004 da ordem de 0,472 m os demais são inferiores a 0,20 m. No que se refere a Área 3, repete-se o maior valor para o ponto M008, como na Área 2, com discrepância planimétrica de 1,040 m, o segundo maior é o ponto M010, com resultante de 0,265 m, sendo os demais menores que 0,10 m.

As precisões planimétricas dos resultados são apresentadas pela figura 25.

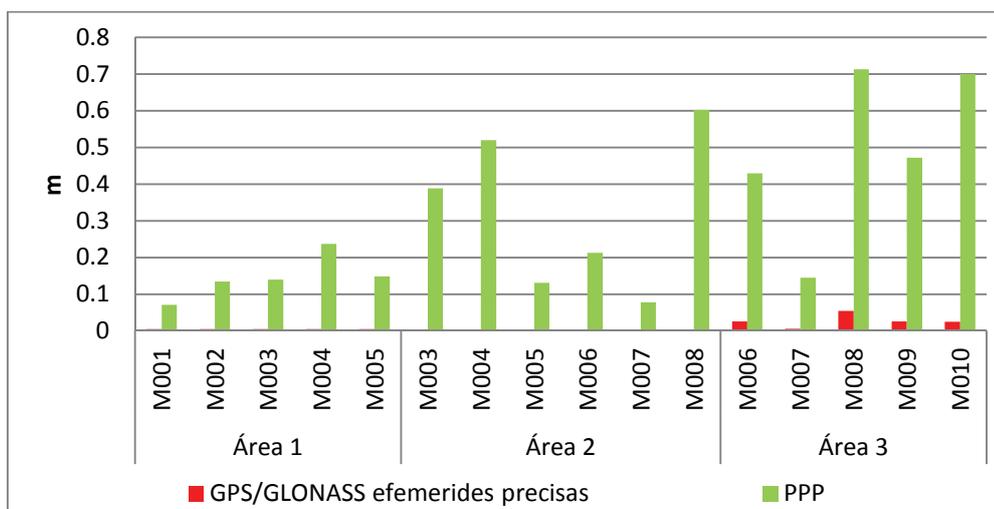


Figura 25 - Precisão planimétrica dos pontos limítrofes (Estratégias 1 e 6).

Observa-se na figura 25, que para a Área 1, a precisão planimétrica fica entre 0,10 m e 0,20 m, com exceção do ponto M004, no qual se obteve o valor de 0,237 m.

Para Área 2 nota-se que os pontos M003, M004 e M008 apresentam valor elevado para a precisão planimétrica, 0,388 m, 0,520 m e 0,602 m, respectivamente, sendo que o menor é M007, no qual se obteve o valor de 0,077 m. Na terceira área, verifica-se os maiores valores para os pontos M008 e M010, com resultantes de 0,713 m e 0,699 m, respectivamente.

Nota-se que com o PPP alguns pontos não atingiram a precisão exigida pelo INCRA, que é de 0,50m, para a determinação dos pontos limítrofes.

5.2.7 Resumo dos resultados dos pontos limites das áreas

Este tópico visa disponibilizar de forma resumida as discrepâncias apresentadas no processamento dos dados nas três áreas indicadas na figura 5. Assim, podem-se avaliar somente as discrepâncias encontradas em cada processamento em relação às coordenadas de referência.

A tabela 18 apresenta as discrepâncias, bem como a média das discrepâncias e os desvios-padrão das médias, proporcionando uma ideia do valor médio das discrepâncias e a sua dispersão.

Tabela 18 - Resumo das discrepâncias dos processamentos com relação à estratégia 1.

Áreas	Pontos	Estratégia 2		Estratégia 3		Estratégia 4		Estratégia 5		Estratégia 6	
		GPS/GONASS ef. transmitidas		GPS ef. Transmitidas		GONASS ef. transmitidas		Pseudodistância		PPP	
		ΔN (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE (m)
Área 1	M001	-0,078	-0,034	0,070	-0,029	0,896	-0,033	-0,059	0,032	0,014	-0,032
	M002	-0,089	-0,021	0,008	-0,009	-0,089	-0,019	-0,088	0,190	0,001	-0,031
	M003	-0,074	-0,025	-0,063	-0,030	-0,093	-0,026	-0,077	0,044	-0,225	-0,119
	M004	-0,087	-0,029	0,020	-0,029	-0,327	-0,030	-0,019	-0,006	-0,024	-0,123
	M005	-0,085	-0,021	-0,029	-0,017	-0,086	-0,021	0,035	0,056	0,018	0,109
Área 2	M003	-0,058	-0,037	0,001	-0,006	-0,060	-0,029	0,000	0,000	-0,117	-0,063
	M004	-0,042	-0,035	-0,007	0,002	-0,030	-0,042	0,000	0,000	-0,150	-0,448
	M005	-0,048	-0,049	0,007	0,001	0,661	0,321	0,000	0,000	-0,039	0,044
	M006	-0,055	-0,031	0,005	-0,004	-0,051	-0,050	0,000	0,001	0,038	-0,166
	M007	-0,057	-0,040	-0,008	-0,007	-0,018	0,022	0,000	0,000	-0,026	-0,121
Área 3	M008	-0,079	-0,029	-0,004	0,003	-0,103	-0,084	0,000	0,000	0,061	-1,025
	M006	0,040	-0,015	0,039	-0,539	0,129	0,007	0,005	0,036	-0,034	-0,117
	M007	0,047	-0,008	0,047	-0,008	-0,466	0,845	0,113	-0,099	-0,061	-0,032
	M008	0,128	-0,009	0,231	-0,022	-1,211	-0,148	-0,580	-0,061	0,053	-1,039
	M009	0,052	-0,003	0,052	-0,002	0,416	1,258	0,055	0,138	-0,026	0,035
	M010	0,052	-0,003	0,052	-0,003	0,293	-0,428	0,025	0,058	-0,064	0,257
	Média	-0,027	-0,024	0,026	-0,044	-0,009	0,096	-0,037	0,024	-0,036	-0,179
	Desvio Padrão	0,067	0,014	0,064	0,132	0,472	0,406	0,153	0,068	0,076	0,364

Verifica-se na tabela 18, que as melhores estratégias para processamento de dados para o georreferenciamento de imóveis rurais é o uso de dados GPS/GLONASS ou somente GPS, visto que os dados GLONASS ainda apresentam resultados que atendem às exigências da NTGIR. O uso de pseudodistâncias também pode ser uma opção; no entanto, os resultados não são tão bons quanto ao do posicionamento com GPS/GLONASS ou somente GPS.

A partir da análise mediadas discrepâncias de ΔN e ΔE , verifica-se que para as componentes N e E, os melhores resultados foram obtidos com dados GPS/GLONASS utilizando as efemérides transmitidas.

Deve-se também destacar as discrepâncias das coordenadas do ponto M008, que apresentou elevados valores em relação aos dados de referência. Observou-se que com o uso de dados GPS e GLONASS, separadamente, obteve-se discrepâncias da ordem de decímetros, no entanto, ao utilizar os dados GPS/GLONASS combinados, a discrepância reduziu para a magnitude de centímetros. Ressalta-se que em tal ponto, o sinal GNSS pode ter sofrido interferência devido os eucaliptos que estavam próximos (Anexo D).

5.3 Processamento de dados GPS/GLONASS com diferentes tempos de coleta – Estratégias 7

Um segundo experimento foi realizado de forma similar aos anteriores, porém, com diferentes tempos de coleta, objetivando verificar o desempenho dos dados GPS/GLONASS com a variação do tempo, visto que segundo a NTGIR, o tempo mínimo de ocupação é de 20 minutos (Anexo B).

Novamente as coordenadas finais foram avaliadas tendo como base os resultados dos processamentos GPS/GLONASS utilizando efemérides precisas (Seção 5.2.1), como realizado nas análises anteriores. Ressalta-se que para estes processamentos os dados originais foram editados quanto ao tempo de duração, mantendo a taxa de gravação de 15 segundos.

A tabela 19 apresenta as discrepâncias do processamento dos dados com 15 minutos de rastreamento, bem como a resultante planimétrica.

Tabela 19 - Discrepância entre as coordenadas do estático rápido (15 min.) e as de referência.

Áreas	Pontos	Δ_N (m)	Δ_E (m)	Δ_p (m)
Área 1	M001	-0,001	0,000	0,001
	M002	0,002	-0,002	0,003
	M003	0,000	0,003	0,003
	M004	-0,002	-0,001	0,002
	M005	-0,001	0,001	0,001
Área 2	M003	-0,002	-0,002	0,003
	M004	-0,001	0,001	0,001
	M005	-0,004	0,007	0,008
	M006	0,001	0,004	0,004
	M007	-0,004	0,002	0,005
	M008	0,006	-0,001	0,006
Área 3	M006	-0,009	0,027	0,029
	M007	-0,001	0,026	0,026
	M008	0,082	-0,762	0,766
	M009	0,001	0,036	0,036
	M010	-0,001	0,034	0,034

Observa-se que o ponto M008 da Área 3 apresenta as maiores discrepâncias, e consequentemente, a maior resultante planimétrica igual a 0,766 m.

Na tabela 20 são apresentadas as precisões das coordenadas obtidas com 15 minutos de dados.

Tabela 20 - Valores das precisões das coord. no método estático rápido com 15 minutos.

Áreas	Pontos	σ_N (m)	σ_E (m)	σ_p (m)
Área 1	M001	0,002	0,003	0,004
	M002	0,003	0,004	0,005
	M003	0,002	0,003	0,004
	M004	0,003	0,004	0,004
	M005	0,002	0,003	0,004
Área 2	M003	0,003	0,003	0,004
	M004	0,004	0,003	0,005
	M005	0,003	0,003	0,004
	M006	0,002	0,002	0,003
	M007	0,003	0,003	0,004
	M008	0,005	0,005	0,006
Área 3	M006	0,005	0,021	0,022
	M007	0,005	0,021	0,022
	M008	0,006	0,021	0,022
	M009	0,005	0,021	0,022
	M010	0,004	0,021	0,021

Verifica-se através da tabela 20 que a precisão das coordenadas é da ordem de milímetros para a componente N, e, para a componente E, chega à ordem de centímetros.

No processamento com 15 minutos de dados, todas as linhas de base obtiveram solução fixa para as ambiguidades.

Também foram processados dados com 5 minutos de coleta. A tabela 21 apresenta as discrepâncias dos dados com 5 minutos.

Tabela 21 - Discrepância entre as coordenadas do estático rápido (5 min) e as de referência.

Áreas	Pontos	Δ_N (m)	Δ_E (m)	Δ_p (m)
Área 1	M001	-0,001	0,000	0,001
	M002	0,002	-0,004	0,004
	M003	0,002	0,006	0,006
	M004	-0,004	0,000	0,004
	M005	0,001	0,002	0,002
Área 2	M003	-0,006	0,000	0,006
	M004	-0,006	0,001	0,006
	M005	-0,003	0,007	0,007
	M006	0,001	0,004	0,004
	M007	0,502	-0,031	0,503
	M008	0,000	0,000	0,000
Área 3	M006	-0,001	0,029	0,029
	M007	-0,002	0,023	0,023
	M008	0,172	-0,359	0,398
	M009	-0,002	0,037	0,037
	M010	-0,003	0,031	0,031

No processamento com 5 minutos de dados, duas linhas de base da área 3 proporcionaram solução *float* (A004–M008 e A003–M008). Já as demais, obtiveram solução fixa na determinação das ambiguidades.

A tabela 22 apresenta as precisões das coordenadas de referência e as obtidas com 5 minutos de rastreamento de dados.

Tabela 22 – Valores das precisões das coord. no método estático rápido com 5 minutos.

Áreas	Pontos	σ_N (m)	σ_E (m)	σ_p (m)
Área 1	M001	0,002	0,002	0,003
	M002	0,003	0,003	0,004
	M003	0,002	0,003	0,003
	M004	0,003	0,003	0,004
	M005	0,002	0,003	0,003
Área 2	M003	0,003	0,003	0,005
	M004	0,004	0,003	0,005
	M005	0,005	0,004	0,006
	M006	0,002	0,002	0,003
	M007	0,002	0,002	0,003
	M008	0,005	0,005	0,007
Área 3	M006	0,004	0,013	0,013
	M007	0,004	0,013	0,014
	M008	0,035	0,141	0,145
	M009	0,004	0,013	0,013
	M010	0,003	0,013	0,013

Verifica-se na tabela 22, que os maiores valores para ΔN e resultante são observados no ponto M007 da Área 2, com 0,502 m e 0,503 m respectivamente. Já para ΔE , o maior valor é observado no ponto M008 da Área 3, com -0,359 m.

5.4 Processamento de dados L2C – Estratégia 8

Conforme Seção 4.3.2, para avaliação dos dados L2C coletados com os receptores Trimble R8 realizou-se o posicionamento relativo, tendo como base o ponto A002 e os demais pontos foram ocupados por 20 minutos. Neste caso, as linhas de base foram processadas em diferentes estratégias:

1. Processamento da combinação *iono-free* da fase – dados de referência;
2. Processamento da fase sem a utilização de dados L2C; e
3. Processamento da fase utilizando dados L2C;

No posicionamento relativo, ocuparam-se os pontos por um período menor tendo em vista a disponibilidade de satélites que transmitem o sinal L2C. Para isso foi necessário realizar o planejamento de rastreamento (Anexo C) a partir de dados de almanaque, com o objetivo

de que durante todo o levantamento pelo menos quatro satélites que transmitissem os dados L2C fossem rastreados.

Nestes processamentos foram utilizadas efemérides transmitidas, com máscara de elevação de 10° , modelo de troposfera *Hopfield*, intervalo de gravação de 15 segundos e o software utilizado foi LGO, utilizado nos experimentos anteriores.

5.4.1 Posicionamento relativo sem dados L2C

Neste processamento não foram utilizados os dados advindos das observáveis L2C, para isso, os dados foram retirados fazendo uso da ferramenta TEQC. Ressalta-se que neste caso, somente um ponto de referência foi utilizado, sendo processadas somente as linhas de base, sem o ajustamento de rede.

As discrepâncias planimétricas entre os dados de referência e os processados sem a utilização de dados L2C, são apresentadas na figura 26.

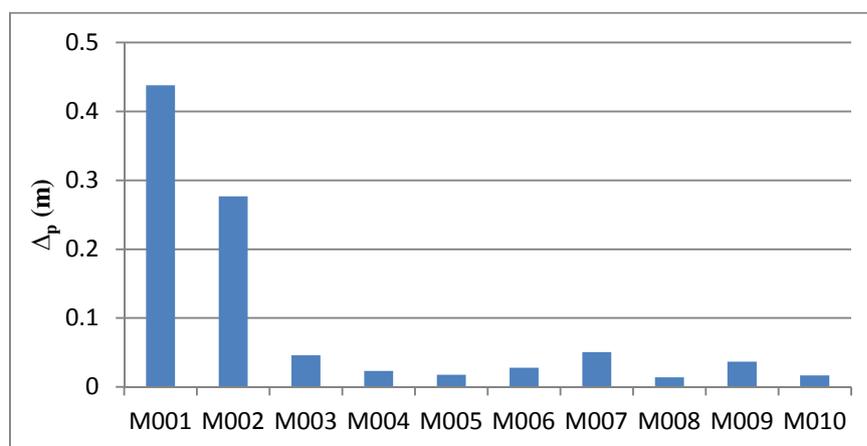


Figura 26 - Discrepância entre os dados de referência e os processados sem L2C.

Verifica-se na figura 26 que as maiores discrepâncias planimétricas foram obtidas nos pontos M001 e M002, que são da ordem de 0,437 m e 0,270 m, respectivamente. Para os demais pontos, verifica-se que os valores são menores que 0,10 m, sendo que o maior valor foi encontrado no ponto M007, magnitude igual a 0,05 m.

A precisão planimétrica dos pontos processados sem dados L2C pode ser observada na figura 27.

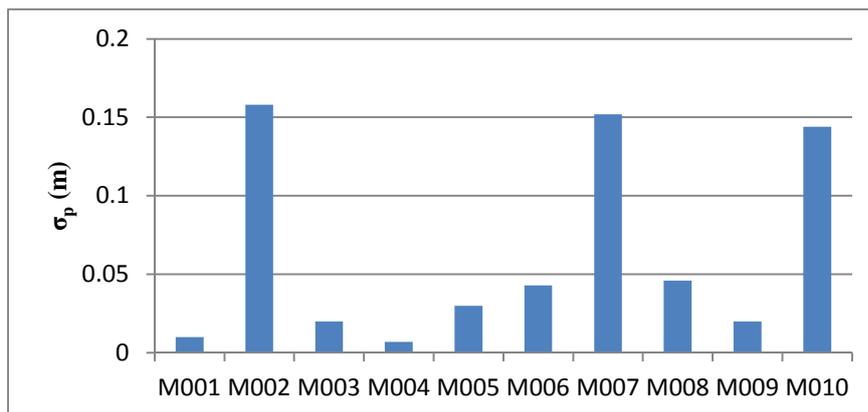


Figura 27 - Precisão planimétrica dos pontos processados sem dados L2C.

Observa-se na figura 27, que todos os pontos apresentam precisão planimétrica que atende a exigência da NTGIR. Notam-se também picos nos pontos M002, M007 e M010, com precisões planimétricas da ordem de 0,158 m, 0,152 m e 0,144 m, respectivamente. Neste caso, obteve-se solução fixa nos pontos M003, M004, M005, M006, M007, M008, M009 e M010, e a solução *float* foi obtida nos pontos M001 e M002.

5.4.2 Posicionamento relativo utilizando dados L2C

No segundo processamento, realizou-se procedimento indicado na Seção 5.4.1 e empregou-se os dados L2C. Destaca-se que foram sempre rastreados 4 satélites que transmitem o sinal modernizado. Os parâmetros de processamento foram os mesmos do realizado no experimento anterior.

A figura 28 mostra as discrepâncias planimétricas entre os dados de referência e os processados utilizando os dados L2C.

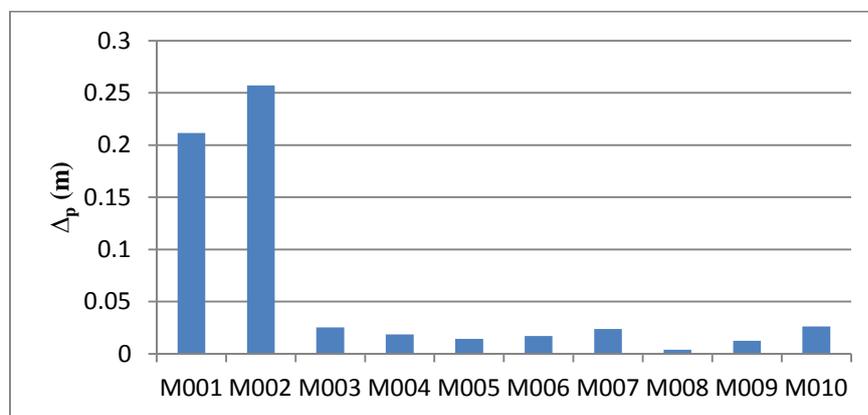


Figura 28 - Precisão planimétrica dos pontos processados com dados L2C.

Observa-se na figura 28 que as maiores discrepâncias são encontradas nos pontos M001 e M002, da ordem de 0,211 m e 0,257 m, fato que se repete no processamento de dados sem L2C.

Na figura 29 pode-se observar a precisão planimétrica obtida no processamento de dados utilizando L2C.

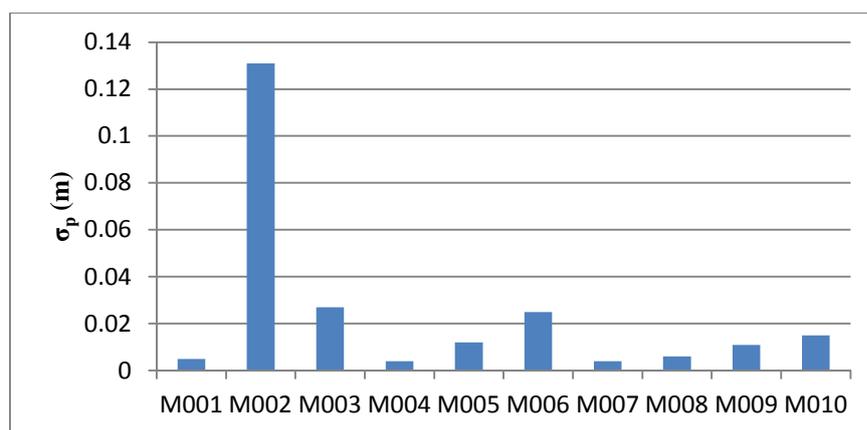


Figura 29 - Precisão planimétrica dos pontos processados com dados L2C.

Verifica-se na figura 29 que, com exceção do ponto M002, os demais apresentam valores abaixo de 0,05 m para a precisão planimétrica, sendo que o ponto M002 é o único que diferencia dos demais, com σ_p da ordem de 0,131 m.

Podem-se comparar os valores de discrepâncias entre os dados utilizando ou não utilizando as observações L2C por meio do gráfico apresentado na figura 30.

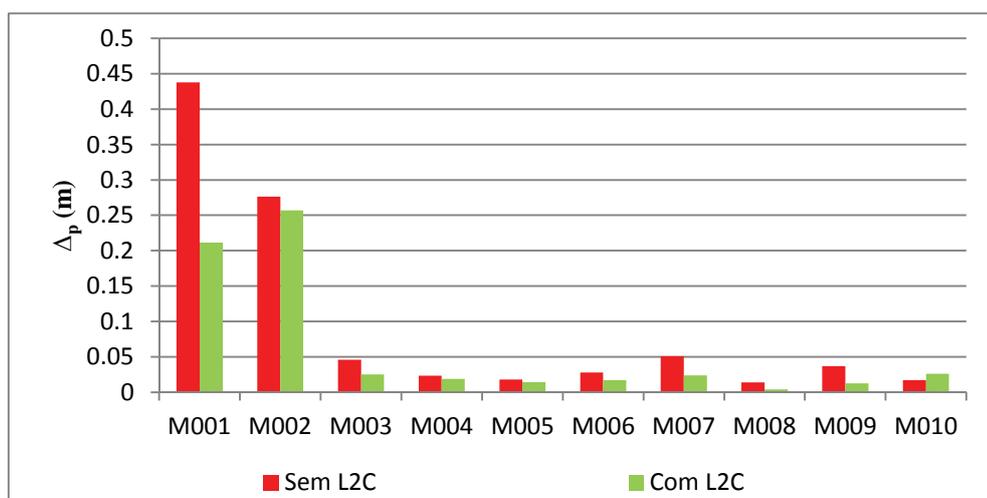


Figura 30 - Comparação das discrepâncias utilizando ou não os dados L2C.

Nota-se através da figura 30, que o resultado do processamento utilizando dados L2C conduz a menores valores para as discrepâncias planimétrica, quando comparados com o resultado do processamento que não os utilizou.

Por meio do gráfico apresentado na figura 31 podem-se comparar as precisões planimétricas dos processamentos.

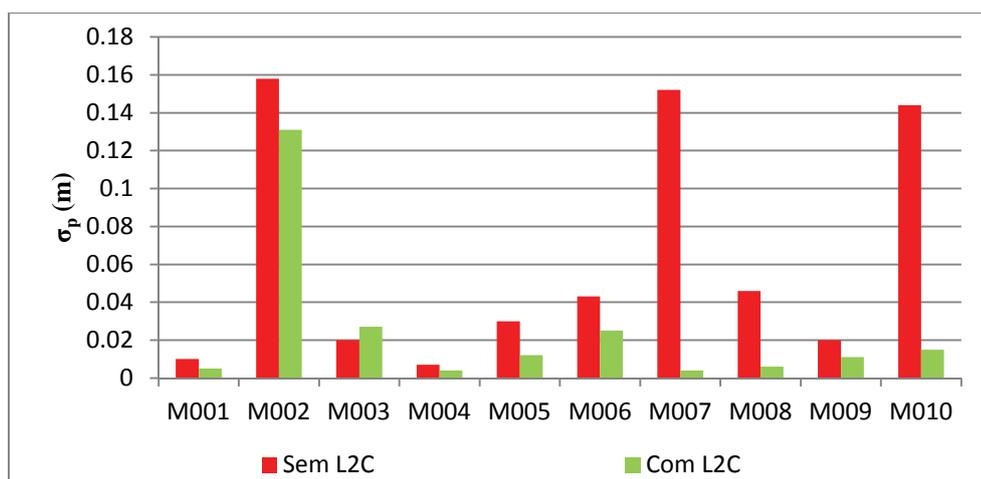


Figura 31 - Precisão planimétrica dos dados utilizando ou não dados L2C.

Observa-se mediante a figura 30, que na maioria dos pontos, o valor de σ_p é menor para os resultados obtidos utilizando dados L2C, tal fato não ocorre somente no ponto M002.

6 CONSIDERAÇÕES, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho da combinação de dados GPS e GLONASS e de cada sistema separadamente, além do emprego da observável L2C, fruto da modernização do GPS, no georreferenciamento de imóveis rurais, que tem utilizado dados GNSS para a determinação dos limites das propriedades.

Este trabalho foi realizado em uma Área Teste que simula três propriedades rurais, que permite levantamentos com situações reais encontradas por profissionais da área. Os levantamentos foram desenvolvidos de forma que a alguns pontos fossem ocupados duas vezes, para o caso da coleta de dados GPS e GLONASS. Para o rastreamento de dados L2C, cada ponto foi ocupado somente uma vez, devido à disponibilidade de satélites que transmitem tal sinal e por haver somente uma estação base.

No transporte de coordenadas assumiu-se como dados de referência os determinados a partir do processamento de dados GPS/GLONASS com a utilização de efemérides precisas finais. Neste caso, os pontos apresentaram precisão planimétrica melhor que 0,050 m.

Na sequência, processaram-se dados GPS/GLONASS com efemérides transmitidas. Após, GPS e GLONASS, separadamente; as pseudodistâncias GPS/GLONASS e processamento utilizando o sistema PPP do IBGE.

Os resultados do processamento de dados GPS/GLONASS com efemérides transmitidas apresentaram resultados precisos, e precisão planimétrica melhor do que 0,056 m. Já a discrepância com os dados de referência, o maior valor foi de 0,25 m. A precisão obtida no processamento dos dados atende a exigência da NTGIR, resultados semelhantes aos obtidos por Bruyninx (2006).

A terceira estratégia de processamento utilizou somente dados GPS e efemérides precisas, que apresentaram precisão planimétrica da mesma ordem que os dados de referência. As discrepâncias, em relação aos dados de referência foram menores que 0,01 m, atendendo a NTGIR.

Na sequência, processaram-se somente dados GLONASS, sendo que nenhum ponto apresentou precisão planimétrica que venha a atender a NTGIR, chegando a 16,17m; dessa forma não atende a exigência da NTGIR. As discrepâncias deste processamento com os dados de referência foram da ordem de 1,845 m a 19,630 m.

Na quinta estratégia, utilizaram-se somente dados de pseudodistância GPS/GLONASS, que apresentaram precisões planimétricas melhores que 0,09 m. Já as

discrepâncias com os dados de referência vão de 0,017 m a 0,215 m. Verificou-se assim, que o uso de pseudodistâncias proporcionou resultados que atendam a NTGIR.

Por último, realizou-se o processamento de dados com o sistema de PPP do IBGE, que apresentou resultados de precisão planimétrica que atende a NTGIR. As discrepâncias em relação aos dados de referência foram inferiores a 0,25 m.

Na sequência foram processados os dados referentes aos pontos de limites das áreas, tendo novamente como referência os dados GPS/GLONASS com efemérides precisas. Neste caso, os dados de referência obtiveram precisão melhor que 0,054 m para os pontos pertencentes às três áreas, atendendo a NTGIR.

Posteriormente, foram utilizados dados GPS/GLONASS com efemérides transmitidas, que apresentaram valores de precisão planimétrica próximos aos valores de referência. A discrepância entre as coordenadas estão entre 0,04 m e 0,13 m. Neste caso, os pontos atenderam a precisão exigida pela NTGIR.

Na terceira estratégia de processamento, somente dados GPS e de efemérides transmitidas foram utilizados. O resultado que se obteve foram valores menores para as precisões planimétricas em relação aos valores de referência, e discrepâncias entre 0,054 m e 0,232 m.

Com o processamento dos dados do GLONASS, obtiveram-se discrepâncias planimétricas maiores que 1,00 m. Em relação às precisões, a maioria dos pontos apresentaram valores inferiores a 0,20 m, no entanto, nem todos os pontos atendem a NTGIR.

Com resultado do processamento de dados de pseudodistância GPS/GLONASS, obteve-se valores de discrepância planimétrica entre 0,001 m e 0,583 m. Para a precisão planimétrica, todos os pontos atenderam a exigência de precisão da NTGIR, sendo o maior valor de 0,084 m.

Também foram processados os dados dos pontos limítrofes com o sistema PPP do IBGE, neste caso, as discrepâncias com os dados de referência chegaram até 1,04 m. Em relação à precisão, não foram todos os pontos que apresentaram valor menor ou igual a 0,50 m, limiar da NTGIR, chegando a atingir 0,70 m. Ressalta-se que foram utilizados dados com 40 minutos de coleta.

Neste trabalho também foram processados dados GPS/GLONASS no modo estático rápido, com 15 e 5 minutos de duração. Verificou-se que os dados apresentaram precisão necessária para serem aceitos pela NTGIR.

Posteriormente, processaram-se os dados L2C. Foram utilizadas duas estratégias, com e sem dados L2C. Para os dados processados sem as observações de L2C, foram obtidas

discrepâncias com valor máximo próximo a 0,45 m, já para os resultados utilizando L2C, a discrepância máxima foi da ordem de 0,25 m. Em relação à precisão, todos os resultados atendem a NTGIR, no entanto, melhores valores foram obtidos ao utilizar dados L2C.

A partir deste estudo conclui-se que o uso de dados GPS e GLONASS atendem as necessidades do georreferenciamento de imóveis rurais no Brasil, seja para o transporte de coordenadas, seja para a determinação dos pontos limítrofes. Verifica-se também que o uso de efemérides precisas não apresenta grande influência no caso do transporte de coordenadas. Atestou-se mais uma vez a potencialidade do uso de dados GPS para o levantamento de imóveis rurais. Também se observou que o uso de dados GLONASS, isoladamente, ainda não atendem as exigências para o transporte e na determinação de pontos limítrofes. Avaliou-se a potencialidade do uso do sistema de PPP do IBGE para o transporte de pontos de apoio básico, no entanto, para a determinação de limites, o tempo é um fator restritivo, que torna a aplicação do sistema inviável quando comparado com os métodos relativos.

E por final, verificou-se que a utilização de dados L2C no posicionamento relativo vêm a atender a exigência de precisão, observando-se também que, os resultados obtidos apresentam menor discrepância planimétrica e coordenadas mais precisas.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, o novo teste com dados L2C, tendo em vista o número maior de satélites que transmitem tais sinais e investigação dos resultados utilizando dados L5; a avaliação do desempenho do sistema GLONASS com a mudança para CDMA e também avaliar os resultados utilizando dados Galileo, assim que a quantidade de satélites permitir seu uso, já que até a conclusão deste trabalho não existem satélites suficientes em órbita.

REFERÊNCIAS

AKOS, D.; CHEN, A.; DANTEPAL, J.; ENGE, P. GAO, G. X.. GRELIER, T.; ISSLER, J.; LO, S.; RIES, L. GNSS Album: images and spectral signatures of the new GNSS signals. **Inside GNSS**, Oregon, v. 1, n. 4, p 46-56, mai/jun of 2006.

BAZLOV, Y. A.; GALAZIN, V.F.; KAPLAN, B. L.; MAKSIMOV, V. G.; ROGOZIN. V. P. GLONASS to GPS, a new coordinate transformation. **GPS world**. January, 1999.

BOUCHER, C.; ALTAMIMI, Z. ITRS, PZ-90 and WGS 84: current realizations and the related transformation parameters. **Journal of Geodesy**. n. 75, p. 613-619. 2001.

BRASIL. Decreto nº 7.620, de 21 de novembro de 2011. Altera o art. 10 do Decreto nº 4.449, de 30 de outubro de 2002, que regulamenta a Lei nº 10.267, de 28 de agosto de 2001. Disponível em <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2012.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Código Florestal. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=legislacao.index&tipo=4&pag=2&>>. Acesso 17 de janeiro de 2010

BRASIL. Lei nº 10.267, de 28 de agosto de 2001. Altera dispositivos das Leis nº 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2010.

BRASIL. Decreto nº 4.449, de 30 de outubro de 2002. Dispõe sobre a regulamentação da Lei nº 10.267/01. Disponível em <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2010.

BRASIL. Lei nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996. Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR, sobre pagamento da dívida representada por Títulos da Dívida Agrária e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9393.htm>. Acesso em 15 de janeiro de 2010.

BRASIL. Decreto nº 4.449, de 31 de outubro de 2005. Dá nova redação aos dispositivos do Decreto nº 4.449, de 30 de outubro de 2002, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2010.

BRASIL. Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 19 de janeiro de 2010.

BRASIL. Decreto nº 7.029, de 10 de dezembro de 2009. Institui o Programa Federal de Apoio à Regularização Ambiental de Imóveis Rurais, denominado "Programa Mais Ambiente", e dá outras providências. Disponível em <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 19 de janeiro de 2010.

BRUYNINX, C. Comparing GPS-only with GPS+GLONASS positioning in a regional permanent GNSS network. **GPS Solutions** n. 11, p. 97-106. 2007.

CAMARGO, P., O. **Modelo Regional da Ionosfera para Uso em Posicionamento com Receptores de Simples Frequência**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, 1999.

CARNEIRO, A. F. T. *A lei 10.267/01 e decreto 4.449/02 - Aspectos técnicos: o georreferenciamento de imóveis rurais e o cadastro nacional de imóveis rurais – CNIR*. Disponível em: <www.irib.com.br>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2010.

Chinese Space Program. **Compass Satellite Navigation System**. Disponível em <<http://www.sinodefence.com/space/satellite/compass-beidou2.asp>>. Acesso em 30 de outubro de 2011.

COLOMINA, I. et al. **Galileo's Surveying Potential**. In: GPS WORD, 01 de março de 2012. Disponível em: < <http://www.gpsworld.com/survey/mapping/galileo-s-surveying-potential-12672>>.

DALBELO, L. F. A. **DGPS em Rede: Desenvolvimento e Implantação Via Internet Utilizando a Rede GNSS do Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2010.

DEIMOS ENGENHARIA. **ENCORE: Enhanced Code Galileo Receiver for land management in Brazil**. GALILEO-2008-4.3.1: International Activities – Application Development. 2009.

DEIMOS ENGENHARIA. **ENCORE: Enhanced Code Galileo Receiver for land management in Brazil**. Requirements Review. Barcelona, 2010.

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.

ESA. European GNSS Supervisory Authority. **Contract for in-orbit validation of Galileo system**. Disponível em <http://www.esa.int/SPECIALS/Galileo_Launch/SEMAOAMZCIE_0.html>. 2006.

ESA. European GNSS Supervisory Authority. < <http://www.gsa.europa.eu/go/randd/fp7/fp7>> .Acesso em 17 de janeiro de 2010.

ESA. European GNSS Supervisory Authority. **What is Galileo?** Disponível em <<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>>. Acesso em 17 de abril de 2010.

EUROPEAN GNSS OPEN SERVICE. **Signal in Space: Interface Control Document**. Disponível em: <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/files/galileo-os-sis-icd-issue1-revision1_en.pdf>

FONTANA, R. D.; CHEUNG, W.; NOVAK, P. M.; STANSELL, T. A. **The new L2 civil signal.** 2001. Disponível em: <<http://www.navcen.uscg.gov/gps/modernization/TheNewL2CivilSignal.pdf>>. Acesso em 10 de maio de 2011.

GEMAEL C. **Introdução ao ajustamento de observações:** aplicações geodésicas, Curitiba: UFPR, 2004.

GGSP. **The Galileo Geodetic Service Provider Prototype.** Disponível em <http://www.ggsp.eu/ggsp_product_gtrf.html>. Acessado em 30 de dezembro de 2011

GLONASS. **Interface Control Document.** 5.1 ed. Moscow, 2008

GLONASS. Federal Space Agency. Information Analytica Centre. 2012. <<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=201:1:18305357346316216989>> . Acesso em 5 de maio de 2012.

HAHN, J. H.; POWERS, E. D. **Implementation of the GPS to Galileo Time Offset (GGTO).** Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10510/33284/01573899.pdf>>. 2008.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GPS: Theory and practice.** N. York: Springer-Verlag Wien: 355 pp, 1994.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER H.; WASLE. **GNSS: Theory and practice.** N. York: Springer-Verlag Wien, 2008

INCRA. Portaria/INCRA/Nº 954, de 13 de Novembro de 2002. Disponível em <http://www.incra.gov.br/portal/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=327&Itemid=133>.

INCRA. **Norma Técnica para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais.** 1ª ed. 2003. Brasília.

INCRA. **Norma Técnica para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais.** 2ª ed. 2010. Brasília Disponível em <http://200.252.80.40/Credencia/download/Norma_Tecnica.pdf>. Acesso em 10 de março de 2010.

INCRA. **Norma Técnica para o Georreferenciamento em ações de regularização fundiária aplicada à Amazônia Legal .** 1ª ed. 2009. Brasília.

INCRA. **Imóveis certificados por estado.** Disponível em: <<http://200.252.80.40/credencia/Lista2.asp>>, 2011. Acesso em 10 de setembro de 2012.

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

LAGO, I. F.; FERREIRA, L. D. D.; KRUEGER, C. P. Integração GPS e GLONASS aplicada aos levantamentos geodésicos. **Boletim de Ciências Geodésicas,** Curitiba, v. 7, nº1, 2001

LEANDRO, R. F.; THIRUMURTHI, T.; SÜKEOVÁ, L.; LANGLEY, R. B.; SANTOS, M. C.; Analysis of GPS L2C Signal Quality and its Impact on PPP Performance. In: **Proceedings of the 2008 National Technical Meeting of The Institute of Navigation**. San Diego/CA, 2008.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 2^a ed., New York: Wiley, 2004. p. 435

LEITE, C. C. P.; SOUZA, C. R. R.; ANJOLETE JR, N. **Metodologias para levantamentos de propriedades rurais para atender a Lei 10.267/01**. 2004. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Cartográfica) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MDA. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Programa Terra Legal**. Disponível em <<http://www.mda.gov.br/terralegal/>>. 2010.

MISRA, P.; ABBOT, R.; GAPOSHKIN, E. Integrated use of GPS and GLONASS: transformation between WGS 84 and PZ-90. **Proceeding ION GPS96**, p 307-314 1998

MITRIKAS, V. V.; REVNIVYKH, S. G.; BYKHANOV, E. V. WGS 84/PZ-90 transformation parameters determination based on laser and ephemeris long-term GLONASS orbital data processing. **Proceeding ION GPS98**, p 1625-1635. 1998

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

ODIJK, D. **Fast precise GPS positioning in the presence of ionospheric delays**. 2002, Dissertação (PHD) – Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft.

POLEZEL, W. G. C. **Investigações sobre o impacto da modernização do GNSS no posicionamento**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2010.

PULLEN, S. ENGE, P. **A civil user perspective on near-term and long-termk GPS modernization**. Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University. Disponível: <http://waas.stanford.edu/~wwu/papers/gps/PDF/PullenJapanGNSS04.pdf>.

RICHERT, T. **The impact of future global navigation satellite system on precise carrier phase positioning**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Geomática, Universidade de Calgary, Calgary.

ROSSBACH, U. HABRICH, H. ZARRAOA, N. Transformation parameters between Pz-90 and WGS-84. **Proc ION GPS96**, p 279-285.

RTCM: **RTCM Recommended standards for differential GNSS (Global Navigation Satellite System Service)**. Version 3.0. Radio technical commission for maritime services, Virginia. 2004.

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

SILVA, P. F. et al. ENCORE: Enhanced Galileo Code Receiver for Land Surveying Applications. In: **Proceedings of the 2008 National Technical Meeting of The Institute of Navigation**. 2010.

TEUNISSEN, P. J. G.; KLEUSBERG, A. **GPS for Geodesy**. 2^a edition. Berlin. Editora Verlag, 1998.

TOPCON POSITIONING. Hiper Specifications. Disponível em: <<http://www.topconpositioning.com/products/gps/receivers/hiper>> . Acesso em 10 de setembro de 2012.

TRIMBLE R8 GNSS SYSTEM. R8 Specification. Disponível em: <<http://www.trimble.com/trimbler8gnss.shtml>>. Acesso em 10 de setembro de 2012.

USNO. U.S. Naval Observatory – **Current GPS Constellation**. Disponível <<ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpsb2.txt>>. Acesso em 5 de maio de 2012.

VOLLATH, U.; BIRNBACH, S.; LANDAU, H.; FRAILE-ORDOÑEZ, J.M.; MARTIN-NEIRA, M. Analysis of three-carrier ambiguity resolution (TCAR) technique for precise relative Positioning in GNSS-2. In: INSTITUTE OF NAVIGATION GPS 1998 CONFERENCE. 1998, Nashville. **Proceedings...** Nashville, St. 1998. p. 15-17.

WITCHAYANGKON, B. **Elements of GPS precise point positioning**. 2000. 265f. Thesis (Doctor) - Philosophy in Spatial Information Science and Engineering, University of Maine, Bangkok.

ANEXO A – Características dos receptores utilizados

Neste anexo serão apresentadas as principais características dos receptores Topcon Hiper e Trimble R8 GNSS utilizados nesta pesquisa (TOPCON, 2012) (TRIMBLE, 2012).

Topcon Hiper

- Coleta de dados dos sistemas GPS e GLONASS;
- 40 canais;
- Taxa de atualização de 1Hz;
- Co-Op Tracking System – melhor recepção de sinais em situações desfavoráveis;
- *Advanced Multipath Mitigation* – redução dos efeitos de multicaminho;
- Precisão horizontal de 3 mm + 0,5 ppm para levantamentos no modo estático e estático rápido e 10 mm + 1 ppm em levantamentos cinemáticos.

Trimble R8 GNSS

- Coleta de dados dos sistemas GPS, GLONASS e Galileo;
- 220 canais;
- Taxa de atualização de 1, 2, 5, 10 e 20 Hz;
- Capaz de rastrear os sinais modernizados do GPS;
- Precisão pós-processada de 3 mm + 0,1 ppm na horizontal e 3,5 mm + 0,4 ppm na vertical para levantamentos no modo estático, e 10 mm + 1ppm na horizontal e 20 mm + 1 ppm na vertical.

ANEXO B – Tabelas Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais

Conforme a NTGIR, as tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, os requisitos de precisão para cada classe de ponto a ser determinado no georreferenciamento e as especificações de tipos de receptor e tempo de rastreamento em função das linhas de base.

Tabela 1 – Classificação dos vértices quanto à finalidade, precisão e tipo.

Classe	Finalidade	Posição (m)	Tipo
C1	Apoio básico/mediato e limite	$\leq 0,10$	M
C2	Apoio mediato e limite	$\leq 0,20$	M
C3	Desenvolvimento de poligonal e limite	$\leq 0,40$	M,P
C4	Limite	$\leq 0,50$	M, P, V, O
C5	Limite Natural	$\leq 2,00$	P, V, O
C7	Limite – USO RESTRITO	-	

Fonte: NTGIR (2011).

Tabela 2 – Características das sessões de rastreamento para posicionamento relativo estático GNSS.

Comprimento da linha de base	Ocupação mínima (min.)	Observáveis	Tipo de solução	Nº de sessões	Efemérides
0 – 10 km	20	L1 ou L1/L2	Fixa	1	Transmitidas ou precisas
10 – 20 km	30	L1/L2	Fixa	1	Transmitidas ou precisas
10 – 20 km	60	L1	Fixa	1	Transmitidas ou precisas
20 – 100 km	120	L1/L2	Fixa/Flutuante	2	Transmitidas ou precisas
100 – 500 km	240	L1/L2	Fixa/Flutuante	2	Precisas
500 – 1000 km	480	L1/L2	Fixa/Flutuante	3	Precisas

Fonte: NTGIR (2011).

ANEXO C – Planejamento para coleta de dados L2C

Para realização do planejamento, identificou-se os satélites que transmitem o sinal com L2C, que constam na tabela 1.

Tabela 1 - Satélites com sinal L2C – Bloco IIR-M.

PRN	SVN
17	53
31	52
12	58
15	55
29	57
07	48
01	49
05	30

Através do arquivo de almanaque, planejou-se o levantamento para o dia 13/11/2011, com intervalo de tempo entre as 6:00 e 22:00 hs, conforme o mapa de disponibilidade de satélites.

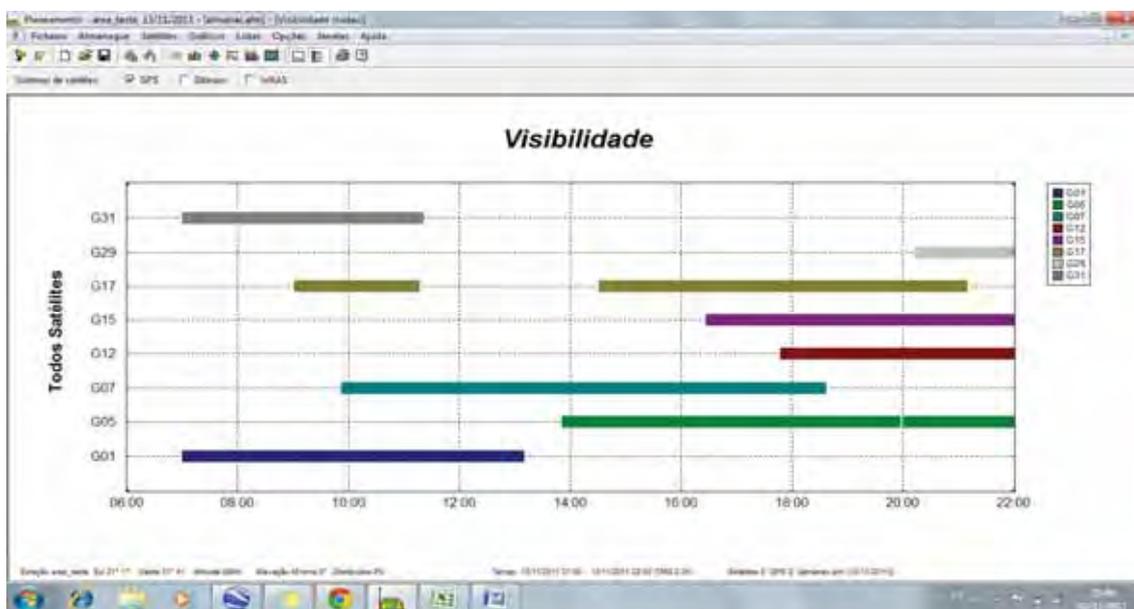


Figura 1 – Mapa de disponibilidade de satélites.

ANEXO D – Análise dos dados coletados referentes ao ponto M008

Visto os resultados obtidos para o ponto M008, referente à Área 3, serão apresentados os gráficos de análise de uma das linhas de base formadas com este ponto, com o objetivo de aferir a qualidade dos dados. Também foi exposto no texto a existência de árvores no entorno do ponto, tal fato é apresentado através de fotos (figura 4 e 5) tiradas do ponto.

As figuras 1, 2 e 3 apresentam os resíduos das DD formadas entre o ponto M008 e a estação de referência A004, para as observáveis L1, L2 e *iono-free*.

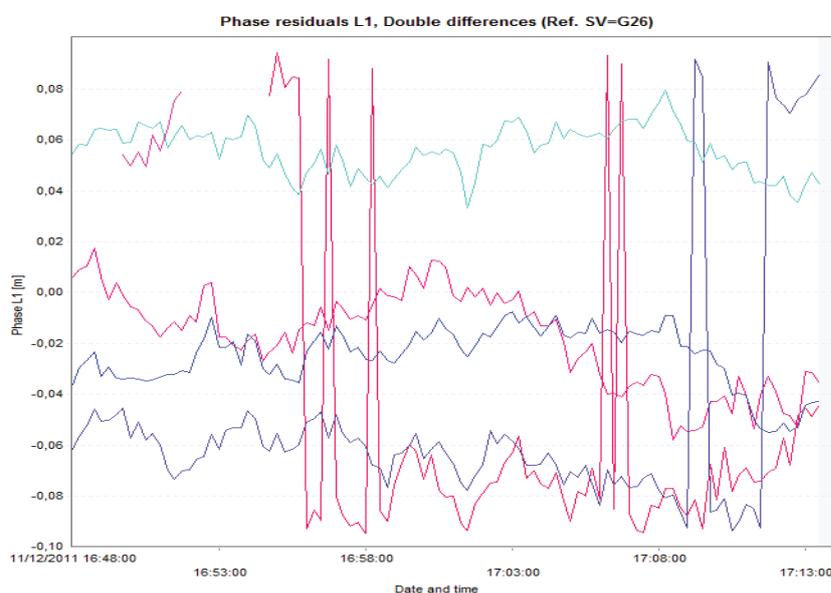


Figura 1 – Resíduos das DD para L1.

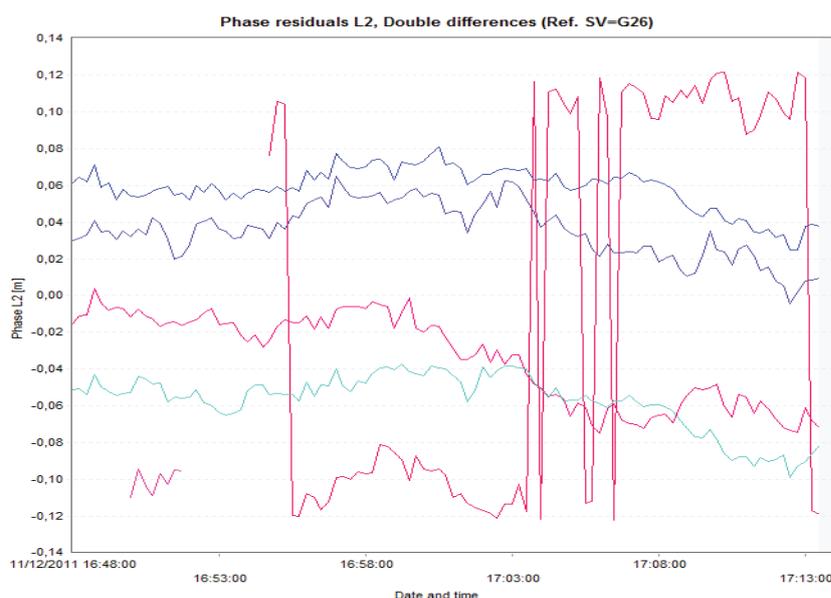


Figura 2 – Resíduos das DD para L2.

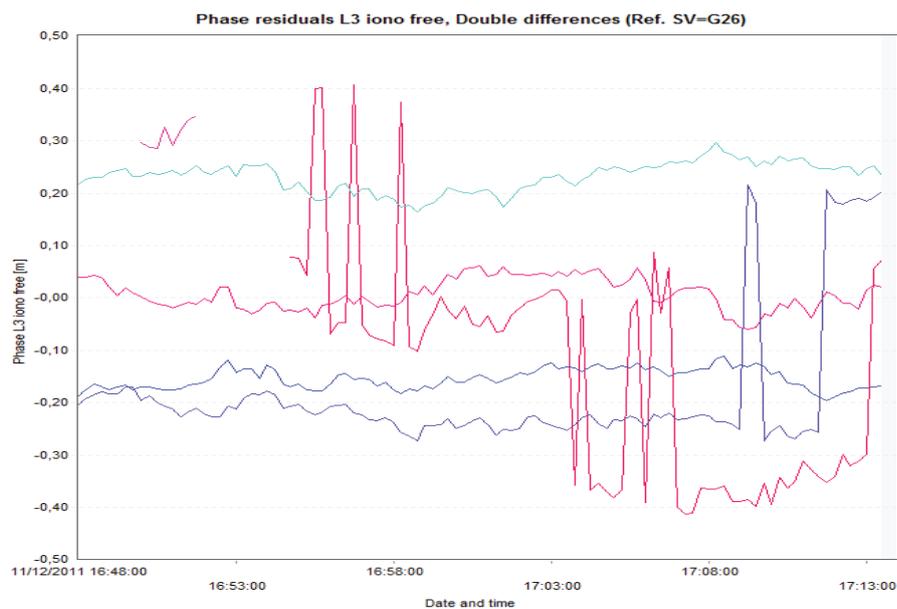


Figura 3 – Resíduos das DD para *iono-free*.

Na figura 1 pode-se observar que os resíduos são da ordem de 0,04 m para a observável L1. Para L2, nota-se que os valores máximos atingidos são de 0,10 m. já na figura 3, este valor dobra para a *iono-free*.

As figuras 4 e 5 apresentam o ponto com a presença de vegetação no seu entorno.



Figura 4 – Localização do ponto M008 – Foto1.



Figura 5 – Localização do ponto M008 – Foto2.