**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

CLÁUDIO BIELENKI JÚNIOR

**Avaliação do uso de observáveis coletadas com receptores de navegação pessoal para
determinação de coordenadas em linhas base curtas**

**São Carlos SP
Dezembro de 2008**

CLÁUDIO BIELENKI JÚNIOR

Avaliação do uso de observáveis coletadas com receptores de navegação pessoal para determinação de coordenadas em linhas base curtas

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área Transportes

Orientador: Prof. Ass. Paulo César Lima Segantine
Área de Concentração: Infra-estrutura em Transportes
Sub Área: Mensuração

São Carlos SP
Dezembro de 2008

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Cláudio Bielenki Júnior

Avaliação do uso de observáveis coletadas com receptores de navegação pessoal para determinação de coordenadas em linhas base curtas

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área Transportes

Área de Concentração: Infra-estrutura em Transportes
– Mensuração

Aprovado em:

Banca Examinadora

Dedico este trabalho as minhas queridas, esposa e filha,
Silvia Cláudia e Vitória, por preencherem a minha vida
de alegria. Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor, que é meu Pastor e assim nada me falta.

Aos meus amores Silvia Cláudia e Vitória pela compreensão devido à ausência quando da dedicação a este trabalho e pelo incentivo de seus gestos.

Aos meus pais, Cláudio e Marlene, pela condição oferecida para que pudesse chegar até aqui.

Ao Prof. Associado Paulo César Lima Segantine, pela orientação segura e incentivo, além da amizade constante e do apoio incessante.

Ao Prof. Associado Ricardo Ernesto Schaal, pelo apoio e orientação, críticas e sugestões.

In memoriam ao Prof. Dr. Segundo Carlos Lopes, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, pelo apoio e orientação, críticas e sugestões.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da EESC/USP, pelo conhecimento transmitido e pelo convívio agradável.

A colega Adriana Goulart pelo apoio e troca de informações sobre os processamentos de dados GPS.

Ao Prof. Associado Ademir Pacelli Barbassa, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, pelo incentivo e apoio.

Aos funcionários do Departamento de Transportes pela presteza e cordialidade no dia a dia, em especial ao Técnico de Laboratório de Topografia “Paulinho” pelo auxílio na implantação de marcos e coletas de dados.

A todos os colegas da turma pelo convívio agradável e troca de experiências.

In memoriam

Quando morre um professor

Há um quadro em uma escola em São Paulo com uma frase marcante. Ela diz mais ou menos assim:

“Se você acha que investir em educação é caro, experimente a ignorância.”

Guardamos do Carlito a imagem que ficou quando o vimos pela última vez: cortês, discreto, alegre, um aperto de mão firme, aquela voz com sotaque da gente amistosa do interior. Um batalhador. Em qualquer lugar que entrava cumprimentava com muita cordialidade cada um dos presentes e com um sorriso sincero.

Não é da perda que se fala aqui, mas daquilo que fica de um homem, de um homem que dedicou parte da sua vida ao ensino. Isso não morre. Porque um professor vive duas vezes nessa espécie de fôlego de gato para conciliar o feijão e o sonho, como escreveu Orígenes Lessa.

Quando morre um professor, ficam tristes os amigos, os familiares, os alunos, mas quem perde é o mundo, a vida. Porque um professor não dá aulas, dá amor. Professar uma disciplina é professar uma fé, uma trilha, um caminho possível. O mundo não gera professores aos montes. Quando morre um professor não fica só a tristeza da ausência, mas o vazio de uma voz que engrandece nossa condição de humanos em nossa infinita busca do saber.

Topografia era a disciplina principal que o amigo Carlito ministrava. Uma disciplina que desenvolvia com olhar certo, orientando, acompanhando de perto os enfrentamentos e angústias dos alunos da graduação e da pós, com sua voz sóbria e postura firme e acima de tudo com ética e cautela. A impressão que fica é a de que ainda é possível ouvir sua voz de uma sala de aula próxima da gente. Inconfundível.

Fique em paz meu amigo e siga sua jornada.

Adaptado do texto redigido pelo Prof. Waldir José Gaspar.

Em homenagem ao Professor Segundo Carlos Lopes, em nome de todos do Núcleo de Geoprocessamento da UFSCar.

São Paulo, 22 de Agosto de 2008.

Resumo

Nas últimas décadas o uso de equipamentos para posicionamento, principalmente os receptores de navegação pessoal, ganhou relativa importância, e a aquisição à esses receptor aumentou consideravelmente. Estes receptores, entretanto, não foram desenvolvidos para trabalhos que exijam acurácia, pois estimam e armazenam as posições com precisão e acurácia da ordem de 03 – 15 m, com 95% de probabilidade, não armazenam os dados de código e fase e não possuem antenas com centro de fase determinado. Com a disponibilização do protocolo de transmissão dos dados destes receptores, foram desenvolvidos alguns programas para, estando conectados ao receptor por meio de hardware e software, extrair e registrar as observáveis de navegação (código CA e fase da portadora). Desta forma, o uso de receptores de navegação pessoal para medições de coordenadas com boa acurácia, em linhas base curtas, pode tornar-se uma grande alternativa para a área de Mensuração com aplicações na Engenharia de Transportes. O alto custo de outras técnicas frente à proposta deste trabalho é uma das grandes dificuldades encontradas para uma maior acurácia nos trabalhos geodésicos aplicados aos transportes. Neste trabalho procurou-se analisar o processamento de dados da fase portadora L1 e código CA, coletados com receptores de navegação pessoal, obtidos por meio de softwares auxiliares, levando-se em consideração algumas variáveis como a distância entre as estações, o tempo de rastreo, softwares de processamento e diferentes equipamentos. Os resultados obtidos são promissores confirmando as vantagens de armazenamento das observáveis dos receptores de navegação pessoal para o seu posterior pós-processamento para a obtenção de coordenadas acuradas em linhas bases curtas.

Abstract

In recent decades the use of equipment for positioning, particularly the personal navigation receivers gained relative importance, and the acquisition of these receivers has increased considerably. These receivers, however, were not developed for task that requiring accuracy, because it estimate and store positions with precision and accuracy of the order of 03 to 15 meters, with 95% probability, do not store the code and carrier phase data and have no determined $\square$ ntennae center stage.

With the provision of the protocol for data transmission of these receivers have been developed some programs and is connected to the receiver by way of hardware and software, extract and record the navigation observable (CA code and carrier phase). Thus, the use of the navigation receivers staff to measurements of coordinates with good accuracy, based on short baselines, can become a great alternative to main measurement in Transport Engineering applications. The high cost of other technologies front to the proposal in this work is one of the difficulties found for a greater accuracy in the applied transports geodesic works.

In this research it is looked to analyze the data processing of the L1 carrying phase and CA code collected with the aid of specific software, taking itself consideration changeable as in the baseline between the stations, the observation time, software and different equipments.

The results was promising, confirming the benefits of storage observable from the personal navigation receivers for further post-processing to obtain accurate coordinates in short baselines.

Lista de Figuras

Figura 1 - Cobertura do Sistema DECCA	5
Figura 2 - Receptor DECCA MK-21	6
Figura 3 - Cobertura do Sistema LORAN-C	8
Figura 4 - Receptor combinado LORAN-C e GPS.....	9
Figura 5 - Satélite do Sistema TRANSIT	10
Figura 6 - Esquema dos planos orbitais do sistema NAVSTAR/GPS	13
Figura 7 - Estações de controle e monitoramento do Sistema GPS.....	14
Figura 8 - Estrutura de um receptor GPS	15
Figura 9 - Diagrama dos processamentos em um receptor GPS.....	17
Figura 10 - Esquematização das portadoras L1 e L2	17
Figura 11 - Composição dos sinais GPS	18
Figura 12 - Estrutura dos sinais GPS	19
Figura 13 - Medição de tempo baseado no código	21
Figura 14 - Simples diferença.....	22
Figura 15 - Dupla diferença.....	22
Figura 16 - Tripla diferença.....	23
Figura 17 - Receptor de navegação EtrexVista	37
Figura 18 - Receptor de navegação Etrex H.....	37
Figura 19 - Receptor de navegação 12 Map.....	38
Figura 20 - Receptor de navegação 60 Map CSx	38
Figura 21 - Receptor geodésico Leica System 1200	39
Figura 22 - Receptor geodésico Pro-Pack 3151RM.....	40
Figura 23 - Tela do software LGO.....	40
Figura 24 - Tela do software P4.....	42
Figura 25 - Tela da interface DOS do software ASYNC	43
Figura 26 - Tela do software GRINGO.....	43
Figura 27 - Antena externa para receptores de navegação pessoal Garmin GA29.....	44
Figura 28 - Splitter de antena passivo LDBS1X2.....	45
Figura 29 - Cabo adaptador Pig Tail com detalhe do conector MCX.....	45
Figura 30 - Antena interna <i>patch</i> do receptor Garmin Etrex Vista.....	46
Figura 31 - Ilustração do dispositivo para fixação do receptor Etrex Vista	46
Figura 32 - Dispositivo para fixação do receptor Etrex Vista adaptado de Schwieger.....	47
Figura 33 - Conjunto de equipamentos necessários à coleta dos dados.....	48

Figura 34 - Teste de integração dos equipamentos	48
Figura 35 - Esquema da configuração da base zero	49
Figura 36 - Tempo de rastreo das sessões de longa duração para a base zero com o software GRINGO	50
Figura 37 - Tempo de rastreo das sessões de longa duração para a base zero com o software ASYNC	50
Figura 38 - Tempo de rastreo das sessões de curta duração para a base zero com o software GRINGO	51
Figura 39 - Coleta da sessão STTG3 com o software GRINGO	51
Figura 40 - Coleta da sessão STTG2 com o software GRINGO	51
Figura 41 - Coleta da sessão STTG1 com o software GRINGO	52
Figura 42 - Tempo de rastreo das sessões de curta duração para a base zero com o software ASYNC	52
Figura 42 - Coleta da sessão STTG3 com o software ASYNC	52
Figura 43 - Coleta da sessão STTG2 com o software ASYNC	52
Figura 44 - Coleta da sessão STTG1 com o software ASYNC	53
Figura 45 - Estação STTN no Departamento de Transportes EESC USP	53
Figura 46 - Marco FED1 – UFSCar – Medição com Leica System 1200	54
Figura 47 - Marco USP2 – Área 2 Campus USP São Carlos - Medição com Leica System 1200	54
Figura 48 - Marco AVM – Rotatória Rodovia SP 318 - Distrito de Água Vermelha - Medição com Leica System 1200	55
Figura 49 - Marco CRHEA1 – Estação Meteorológica CRHEA USP - Medição com Leica System 1200	55
Figura 50 - Tempo de rastreo para o estabelecimento da rede	56
Figura 51 - Esboço da rede GPS ajustada	58
Figura 52 - Tempo de rastreo das sessões no marco FED1	59
Figura 53 - Coletas no marco FED1 com GPS Garmin	59
Figura 54 - Tempo de rastreo das sessões no marco USP2	60
Figura 55 - Coletas no marco USP2 com GPS Garmin	60
Figura 56 - Tempo de rastreo das sessões no marco CHREA	60
Figura 57 - Coletas no marco CHREA com GPS Garmin	61
Figura 58 - Tempo de rastreo das sessões no marco AVM	61
Figura 59 - Coletas no marco AVM com GPS Garmin	61
Figura 60 - Exemplo de arquivo RINEX gerado com o software ASYNC	64
Figura 61 - Exemplo de arquivo RINEX gerado com o software GRINGO	66
Figura 62 - Erro na coleta com o software ASYNC	68

Figura 63 - Problema na coleta com o receptor Etrex Vista.....	69
Figura 64 - Problema apresentado na coleta com o receptor Etrex Vista com o software GRINGO.....	69
Figura 65 - Comparação das coletas com o receptor G12 Map STTG2	70
Figura 66 - Número de satélites disponíveis	73
Figura 67 - Qualidade da geometria dos satélites	73
Figura 68 - Solução de navegação	74
Figura 69 - Solução de navegação com o código suavizado	74
Figura 70 - Solução relativa com o código.....	75
Figura 71 - Solução relativa com o código suavizado	76
Figura 72 - Solução relativa com a fase – solução <i>float</i>	76
Figura 73 - Resíduos da dupla diferença da fase da solução <i>float</i>	77
Figura 74 - Solução relativa com a fase – solução fixa.....	77
Figura 75 - Resíduos da dupla diferença da fase da solução fixa	78

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Pseudodistância ao longo do tempo G12 Map ASYNC.....	65
Gráfico 2 - Fase da Portadora ao longo do tempo G12 Map ASYNC.....	65
Gráfico 3 - Pseudodistância ao longo do tempo G12 Map GRINGO.....	67
Gráfico 4 - Fase da Portadora ao longo do tempo G12 Map GRINGO.....	67
Gráfico 5 - Derivada segunda do código ao longo do tempo - G12 Map ASYNC	71
Gráfico 6 - Derivada segunda da fase ao longo do tempo - G12 Map ASYNC.....	71
Gráfico 7 - Derivada segunda do código ao longo do tempo - G12 Map GRINGO	72
Gráfico 8 - Derivada segunda da fase ao longo do tempo - G12 Map GRINGO.....	72
Gráfico 9 - Resultados dos processamentos das bases zero coletadas com os Softwares ASYNC e GRINGO	83
Gráfico 10 - Resultados dos processamentos das bases zero coletadas com os softwares ASYNC e GRINGO em função dos tempos de coleta.....	84
Gráfico 11 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com o software GRINGO.....	88
Gráfico 12 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com o Software ASYNC.....	89
Gráfico 13 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com o software GRINGO em função da distância da base.....	89
Gráfico 14 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com o software ASYNC em função da distância da base.....	90
Gráfico 15 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com os softwares GRINGO e ASYNC em função dos tempos de coleta e da distância da base	91
Gráfico 16 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com os softwares GRINGO e ASYNC divididos em série de dados em função dos tempos de coleta	92
Gráfico 17 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com os softwares GRINGO e ASYNC divididos em série de dados em função dos tempos de coleta	92

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Situação da constelação de satélites GPS, Navigation Center (US Coast Guard) - setembro 2008	12
Tabela 2 - Comprimento da linha base para um erro de 1 cm em função do erro da órbita	26
Tabela 3 - Acurácia dos tipos de efemérides fornecidas pelo IGS	26
Tabela 4 - Tempo mínimo (em minutos) recomendado de coleta em função do comprimento da linha base e do número de satélites disponíveis	26
Tabela 5 - Tempo mínimo recomendado de coleta em função do comprimento da linha base	27
Tabela 6 - Relação entre tempo de ocupação e distância entre estações para levantamentos de controle	27
Tabela 7 - Distâncias dos pontos de controle ao ponto STTN	54
Tabela 8 - Coordenadas geodésicas ajustadas dos marcos (WGS 84)	56
Tabela 9 - Desvios das coordenadas geodésicas ajustadas dos marcos	56
Tabela 10 - Coordenadas UTM ajustadas dos marcos (WGS 84)	57
Tabela 11 - Coordenadas cartesianas ajustadas dos marcos	57
Tabela 12 - Desvios das coordenadas cartesianas ajustadas dos marcos	57
Tabela 13 - Precisão final da posição dos marcos (m)	57
Tabela 14 - Lista de Firmware testado para cada modelo de receptor	63
Tabela 15 - Coordenadas processadas da estação STTG1 (cartesianas) e diferenças encontradas	78
Tabela 16 - Coordenadas processadas da estação STTG1 (UTM) e diferenças encontradas ..	79
Tabela 17 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Longa Duração – Arquivos totais.	79
Tabela 18 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Longa Duração – Arquivos totais.	79
Tabela 19 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Longa Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG1.	80
Tabela 20 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Longa Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG2.	80
Tabela 21 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Longa Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG3.	80
Tabela 22 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Longa Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG1.	80
Tabela 23 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Longa Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG2.	80
Tabela 24 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Longa Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG3.	81

Tabela 25 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Curta Duração – Arquivos totais.	81
Tabela 26 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Curta Duração – Arquivos totais.	81
Tabela 27 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Curta Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG1.	81
Tabela 28 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Curta Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG2.	82
Tabela 29 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Curta Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG3.	82
Tabela 30 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Curta Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG1.	82
Tabela 31 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Curta Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG2.	82
Tabela 32 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Curta Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG3.	82
Tabela 33 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor ETREX, software GRINGO e processados em relação à base STTN	85
Tabela 34 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor ETREX, software GRINGO e processados em relação à base STTG	85
Tabela 35 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor ETREX, software ASYNC e processados em relação à base STTN	85
Tabela 36 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor ETREX, software ASYNC e processados em relação à base STTG	86
Tabela 37 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor G12 MAP, software GRINGO e processados em relação à base STTN	86
Tabela 38 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor G12 MAP, software GRINGO e processados em relação à base STTG	86
Tabela - 39 Resultado processamento base variável com coleta usando receptor G12 MAP, software ASYNC e processados em relação à base STTN	87
Tabela 40 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor G12 MAP, software ASYNC e processados em relação à base STTG	87

Lista de Siglas

AS – Anti Spoofing
C/A – Coarse Acquisition ou Clear Access
D – Navigation Message
DGPS – Differential Global Positioning System
DoD – Department of Defense
DOS – Disk Operating System
EGNOS – European Geostationary Navigation Overlay Service
FI – Frequência Intermediária
GAGAN – GPS Aided Geo Augmented Navigation
GLONNAS – Sistema de Navegação Global por satélite, em russo ГЛОНАСС;
ГЛОБальная НАвигационная Спутниковая Система;
GNSS – Global Navigation Satellite System
GPS – Global Positioning System
IESSG – Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGS – International GNSS Service
INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IRNSS – Indian Regional Navigational Satellite System
IESSG – Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy
NAVSTAR – NAVigation Sattellite with Time And Ranging
NIMS – Navy Ionospheric Monitoring System
NIMA – National Imagery Mapping Agency
NMEA – National Marine Electronics Association
P – Precise ou Protected
PPS – Precise Positioning System
PRN – Pseudo Random Noise
RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RCFE – Estação Recife da RBMC
RINEX – Receiver Independent Exchange Format
RMS – Root Median Square
RTCM – Radio Technical Commission for Maritime Service
RTK – Real Time Kinematic
SECOR – Sequential Collation of Range
SPS – Standard Positioning System
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
USNO - United States Naval Observatory
VLF - Very Low Frequency
WAAS - Wide Area Augmentation System

Sumário

Abstract	ii
1 Introdução	1
2 Objetivos e Justificativa	3
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	3
3 Fundamentação Teórica.....	5
3.1 HISTÓRICO DO POSICIONAMENTO GLOBAL	5
3.2 O NAVSTAR/GPS	11
3.3 ESTRUTURA DOS SINAIS GPS	17
3.4 POSICIONAMENTO COM CÓDIGO (PSEUDODISTÂNCIA)	20
3.5 POSICIONAMENTO USANDO A FASE DA PORTADORA	21
3.6 MÉTODO DE POSICIONAMENTO RELATIVO	22
3.7 FONTES DE ERROS NOS LEVANTAMENTOS COM GPS	25
3.8 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÕES GPS	28
4 Revisão Bibliográfica.....	31
4.1 USO DE RECEPTORES DE NAVEGAÇÃO PESSOAL PARA OBTENÇÃO DE COORDENADAS ACURADAS	31
5 Materiais	36
5.1 RECEPTORES DE NAVEGAÇÃO PESSOAL	36
5.2 RECEPTORES GEODÉSICOS	39
5.3 SOFTWARES	40
5.4 ANTENAS	44
5.5 EQUIPAMENTOS DIVERSOS	47
6 Metodologia	49
6.1 BASE ZERO	49
6.2 BASE VARIÁVEL	53
6.3 PARÂMETROS DOS PROCESSAMENTOS	62
7 Processamentos, Análises e Resultados	63
7.1 TESTES DE COMUNICAÇÃO	63
7.2 PARTICULARIDADES DOS ARQUIVOS GRAVADOS	64
7.3 TESTES DOS RECEPTORES DISPONÍVEIS	68
7.4 VANTAGENS E POSSIBILIDADES DO ARMAZENAMENTO E USO DOS DADOS DAS OBSERVÁVEIS DE CÓDIGO E FASE	72
7.5 RESULTADOS DOS PROCESSAMENTOS DA BASE ZERO	79
7.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS PROCESSAMENTOS DA BASE ZERO	83
7.7 RESULTADOS DOS PROCESSAMENTOS DAS BASES VARIÁVEIS	84
7.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS PROCESSAMENTOS DAS BASES VARIÁVEIS	87
8 Conclusões e Recomendações.....	93
9 Referências Bibliográficas.....	96
ANEXO 1.....	99
ANEXO 2.....	101
ANEXO 3.....	103

1 Introdução

Os avanços tecnológicos dos últimos anos lançaram a sociedade em um mundo diversificado de soluções e possibilidades para encarar os problemas de localização espacial na superfície terrestre. Esta localização é de grande importância para os mais diferentes tipos de aplicação, passando da engenharia, ao turismo e até mesmo pelo marketing, sendo fundamental para os trabalhos de planejamento e locação na área de Engenharia de Transportes.

O maior advento desta nova era da Cartografia e Geodésia foi, sem sombras de dúvidas, o posicionamento baseado em medições a partir de dados emitidos por satélites artificiais. A corrida armamentista, pós segunda grande guerra mundial, alimentada pela bipolaridade global e os efeitos da guerra fria fomentaram dois dos mais conhecidos sistemas de satélites artificiais para posicionamento global, o NAVSTAR/GPS (USA) e o GLONASS (Rússia, ex-URSS). Inicialmente concebidos com finalidade militar, não demorou para que sua eficaz capacidade de determinar posições confiáveis sobre a superfície terrestre atraísse o olhar atento da comunidade civil e o seu uso ganhasse rapidamente espaço dentre as técnicas de mensuração.

A arrancada foi surpreendente e face aos muitos estudos voltados para o seu aprimoramento surgiram técnicas de medições e instrumentos compatíveis com os mais variados tipos de aplicação, destacando-se a navegação em “tempo real” no modo absoluto.

Uma grande barreira a ser transposta inicialmente foi o alto custo de aquisição dos equipamentos que a nova tecnologia demandava. Porém o uso crescente, ao longo do tempo, incentivou uma economia de escala que veio a reduzir os custos dos instrumentos destinados à navegação pessoal e popularizou a utilização destes tipos de aparelhos. Entretanto, para os mapeamentos de maior acurácia ainda são necessários equipamentos específicos e de alto custo.

Nos dias de hoje alcançamos a fase do Global Navigation Satellite Systems (GNSS) um termo genérico padrão para os sistemas globais de navegação por satélite que englobam não só o NAVSTAR/GPS e do GLONASS, mas todos os demais sistemas como GALILEO (União Européia), BEIDOU (China) e IRNSS (Índia).

Embora a cada dia os custos diminuam e novos equipamentos sejam lançados no mercado tentando suprir esta lacuna, uma alternativa interessante é a possibilidade de utilização dos já populares receptores de navegação pessoal para a coleta e armazenamento de dados a fim de determinar-se coordenadas com maior acurácia gerada por pós-processamento dos dados coletados. Este assunto é apresentado com maiores detalhes no Capítulo 4.

2 Objetivos e Justificativa

2.1 Objetivo principal

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a acurácia das coordenadas relativas de pontos, a partir de dados coletados com receptores de navegação pessoal em linhas base curtas.

2.2 Objetivos Específicos

Além do objetivo geral, pretende-se:

- Avaliar os softwares de coleta das observáveis de receptores de navegação GRINGO e ASYNC.
- Avaliar os diferentes níveis de acurácia alcançados em função do tempo de coleta das observáveis, atrelados aos comprimentos das linhas base.
- Avaliar o desempenho de dois receptores distintos para coleta das observáveis, sendo eles o Garmin Etrex Vista e o Garmin 12 Map.
- Avaliar a utilização do procedimento de coleta para o ponto base também com receptor de navegação pessoal.

2.3 Justificativa do trabalho

Avaliar um método para atender a Lei 10.267 de 2001, que trata do georreferenciamento de imóveis rurais preconizado pelo INCRA.

De acordo com esta lei e seus decretos regulamentadores, a precisão posicional dos vértices definidores dos limites das propriedades rurais não deverá ultrapassar 50 cm. Espera-

se que com o armazenamento e pós-processamentos dos dados coletados com receptores de navegação pessoal possa-se aproximar destes valores.

Cabe ressaltar que a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais homologada pela Portaria Nº 1101 de 17 de novembro de 2003, e que é utilizada como parâmetro para os levantamentos topográficos em atendimento à Lei 10.267 está em fase de reavaliação devendo sofrer alterações brevemente. Desta forma neste trabalho não são detalhados os procedimentos desta norma.

3 Fundamentação Teórica

3.1 Histórico do posicionamento global

A navegação de alcance global surgiu da necessidade de localização onde não existiam pontos de referência, principalmente na navegação marítima. A partir da II Guerra Mundial (1939-1945) com a necessidade do aprimoramento da acurácia da localização geográfica de entes, os sistemas de posicionamento sofreram um grande aperfeiçoamento. Os primeiros sistemas de posicionamento foram baseados na rádio navegação com estações em terra.

O DECCA foi um sistema de navegação de baixa frequência¹ baseado em hipérboles, cobrindo a Europa Ocidental, partes do Canadá, o Golfo Pérsico e a Bacia de Bengala. A Figura 1 ilustra a área de abrangência deste sistema. Funcionava comparando as diferentes fases de sinais de rádio emitido por várias estações.

Figura 1 - Cobertura do Sistema DECCA (MIGUENS, 1993)

Esse sistema utilizava o princípio da medida de diferença de fase entre sinais recebidos, para determinação das linhas de posições. O sistema empregava redes (cadeias) de estações

¹ Pela necessidade de reflexão das ondas radiofônicas na ionosfera este sistema operava com baixas frequências (30 a 300 KHz) e conseqüentemente maiores comprimentos de onda

terrestres, cada uma formada por uma estação mestra em combinação com até três estações escravas ou secundárias. As ondas utilizadas eram contínuas e não moduladas. A grade hiperbólica era formada pelas linhas de diferença de fase dos sinais transmitidos pela estação mestra e pelas escravas.

O alcance nominal do sistema era considerado em torno de 440 Km da estação mestra, tanto durante o dia como no período noturno. A interferência das ondas celestes normalmente tornava o sistema não utilizável além deste limite. Em condições excepcionais, o sistema podia ser usado até cerca de 830 Km das estações. Assim, o DECCA era considerado como um sistema de navegação eletrônica de curto e médio alcance. Enquanto o alcance do sistema DECCA foi algo limitado, esta desvantagem era compensada pela boa precisão e relativa simplicidade de obtenção das linhas de posição DECCA dentro da área de cobertura de cada cadeia. Sua acurácia variava de acordo com o comprimento da linha base mas alcança valores entre 50 e 200 metros para os períodos diurno e noturno respectivamente.

Na Figura 2 apresenta-se uma ilustração de um receptor DECCA MK-21 utilizado para navegação com este sistema.

Figura 2 - Receptor DECCA MK-21 (MIGUENS, 1993)

Este sistema não encontra-se mais em operação, tendo finalizado a sua operacionalização no dia 31 de março do ano de 2000 depois de mais de 50 anos.

O sistema OMEGA foi um sistema baseado em Terra, um pouco mais antigo que o LORAN-C desenvolvido pelos EUA, e operado em conjunto com outras seis nações era do tipo Very Low Frequency (VLF), com comparação de fase, cobertura mundial, precisão de 3,5 a 7,5 Km, 95 % de segurança e 95 % de disponibilidade. Os usuários do Omega incluíam navegadores aéreos e marítimos, bem como muitos não-navegadores. O sinal do sistema OMEGA era originado de 8 estações (presentes na Noruega, Libéria, EUA com 2 estações, França, Argentina, Japão e Austrália). A Guarda Costeira U.S. foi a responsável pela operação e manutenção do sistema que operava nas frequências 10.2, 11.05, 11.3, 13.6 KHz. A precisão obtida dependia da localização geográfica e direção da viagem (do percurso), a estação de referência usada, as anomalias de propagação do sinal, e a época do ano (condições atmosféricas).

De acordo com a ICA 102-9 "Características Mínimas dos Equipamentos NAV/COM a Bordo de Aeronaves que Utilizam o Espaço Aéreo sob Jurisdição do Brasil" (PORTARIA DECEA Nº 003 /DGCEA, DE 07 DE JANEIRO DE 2005) desde 30 de setembro de 1997, o sistema de radionavegação OMEGA não é reconhecido como meio adicional de navegação aérea no Brasil.

O Sistema LORAN (Long-Range Navigation) foi originalmente desenvolvido pelos Estados Unidos em 1940, tendo constituído uma das primeiras tentativas de implementação de um sistema hiperbólico de navegação de longo alcance, capaz de proporcionar, continuamente e em qualquer condição de tempo, informação de posicionamento para navios ou aeronaves. A Segunda Guerra Mundial e a Guerra da Coreia (1950-1953) aceleraram o estabelecimento deste sistema, inicialmente denominado de LORAN-A. O sistema original evoluiu para o atual LORAN-C. As principais estações LORAN-C tornaram-se operacionais em 1957.

O sistema foi gradualmente aprimorado e expandido, até que, no final da década de 1970, sua cobertura por ondas terrestres estendia-se sobre a maioria das regiões costeiras do Atlântico Norte, com ondas celestes alcançando a maior parte do Hemisfério Norte, com exceção do Oceano Índico e do Pacífico NW. A U.S. Coast Guard – Navigation Center é o responsável pela operação do LORAN-C. A cobertura do sistema é mostrada na Figura 3.

Figura 3 - Cobertura do Sistema LORAN-C (OLIVEIRA, 2001)

Nos últimos 20 anos houve um grande desenvolvimento tecnológico nos receptores LORAN-C, que resultou em receptores compactos, quase que totalmente automáticos e de preço acessível. Muitos receptores incorporam computadores que proporcionam leitura digital direta da latitude e longitude da posição, com precisão de décimo de minuto de arco. Além disso, fornecem diversas informações sobre a navegação e percurso realizado. Uma vez ligados e inicializados, esses receptores selecionam automaticamente a melhor cadeia LORAN-C a utilizar, baseado na intensidade dos sinais na área, e a melhor combinação de pulsos Mestra–Secundária, a fim de obter uma boa geometria para as posições.

Outros equipamentos combinam, em um mesmo aparelho, receptores dos sistemas LORAN-C e GPS, aproveitando as vantagens de ambos e utilizando um como “back-up” do outro. Na Figura 4 mostra-se um receptor do sistema LORAN-C com GPS integrado.

Figura 4 - Receptor combinado LORAN-C e GPS (OLIVEIRA, 2001)

A evolução dos sistemas de posicionamento alcançou o espaço com os novos sistemas de rádio navegação por satélites artificiais.

O Sistema TRANSIT foi o primeiro sistema de navegação por satélites artificiais. A Figura 5 apresenta a configuração de um dos satélites deste sistema. Este sistema foi projetado para o auxílio à navegação submarina e permitia ao usuário determinar a posição medindo o efeito Doppler do sinal de rádio transmitido pelo satélite.

O sistema teve vários obstáculos que restringiram a sua utilização. O sistema era bi-dimensional, não medindo a posição vertical apenas a horizontal; o usuário não podia estar se movimentando com alta velocidade para poder receber o sinal e calcular a sua posição; a interferência entre os satélites restringiu o número total para apenas 5 e o serviço estava disponível apenas em alguns períodos do dia. Estes obstáculos eliminaram o seu uso na aviação e em muitos outros segmentos de aplicação. O último satélite do sistema foi posto em órbita em outubro de 1988 tendo sido descontinuado o sistema, entretanto os satélites continuaram transmitindo dados passando a integrar o Navy Ionospheric Monitoring System (NIMS).

Figura 5 - Satélite do Sistema TRANSIT (KREBS, 2008)

O SEquential COLLation of Range (SECOR) foi um sistema de posicionamento e navegação por satélite do exército americano. Treze satélites foram lançados entre 1964 e 1969. O sistema se constituía na medição à um satélite em quatro estações terrestres, sendo três de coordenadas já conhecidas e uma a ser determinada. As estações terrestres eram portáteis e se constituíam em três unidades, uma de rádio frequência, uma de manipulação de dados e outra de armazenamento. As experiências com o SECOR conduziram para o Timation e finalmente ao GPS/NAVSTAR

O sistema NAVSTAR (NAVigation Satellite with Time and Ranging) GPS (Global Positioning System) baseado em rádio navegação por satélite, desenvolvido e operado pelo Departamento de Defesa dos EUA, tornou-se o sistema de posicionamento que mais se popularizou no meio civil e militar nas últimas décadas. O sistema permite que os usuários tenham a sua posição determinada tri-dimensionalmente e a sua velocidade. O sistema apresenta uma disponibilidade de 24 horas por dia, sob quaisquer condições de tempo, em qualquer parte do mundo, com precisão e acurácia melhor que qualquer outro sistema de rádio navegação disponível.

A bipolarização geopolítica do cenário mundial forçou a ex-URSS a criar o seu próprio sistema de navegação por satélite, o GLONASS. Posteriormente outras nações perceberam a

necessidade de operar os seus próprios sistemas de navegação surgindo projetos como o GALILEO (União Européia), BEIDOU (China) e Indian Regional Navigational Satellite System (IRNSS), Índia.

Além disso, estão sendo implantados e aprimorados sistemas de aumento SBAS (Satellite Based Augmentation System) para os sistemas GPS e GLONNAS com satélites geoestacionários. Trata-se dos sistemas WAAS (Wide Area Augmentation System), EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) e GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation) respectivamente na América do Norte, Europa e na Índia.

Atualmente, a intenção é a de integração de todos estes sistemas num novo conceito denominado GNSS (Global Navigation Satellite System) a fim de possibilitar uma maior acurácia do sistema para garantir confiabilidade a aplicações que hoje ainda não são possíveis como o uso na aviação em pouso e decolagens que exigem alto grau de confiabilidade de posicionamento em tempo real diferencial.

3.2 O NAVSTAR/GPS

O sistema GPS, ou NAVSTAR-GPS, ou simplesmente GPS, é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD), com o intuito de ser o principal sistema de navegação das forças armadas americanas (SEEBER, 2003).

Ele resultou da fusão de dois programas financiados pelo governo norte-americano para desenvolver um sistema de navegação de abrangência global: Timation e System 621B, sob responsabilidade da Marinha e da Força Aérea, respectivamente (MONICO, 2000).

O sistema GPS está dividido em três segmentos: Espacial, Controle e de Usuários.

3.2.1 Segmento espacial

O segmento espacial refere-se à constelação de satélites propriamente dita, os quais orbitam dispostos de maneira a disponibilizar no mínimo quatro satélites visíveis em qualquer local da superfície terrestre a qualquer horário.

A altitude da órbita da constelação é de aproximadamente 20200 km, sendo que os satélites estão dispostos em 6 planos orbitais espaçados entre si de 60° e inclinados de 55° em relação ao equador. O período da órbita corresponde a aproximadamente 12 horas siderais. Na Tabela 1 pode-se verificar a atual constelação do sistema. Na Figura 6 apresenta-se um esquema do posicionamento das órbitas do sistema GPS.

Tabela 1 - Situação da constelação de satélites GPS, Navigation Center (US Coast Guard) - setembro 2008

Plano	Posição	SVN	PRN	Bloco	Relógio
A	1	39	09	II-A	Cs
A	2	52	31	IIR-M	Rb
A	3	38	08	II-A	Cs
A	4	27	27	II-A	Cs
A	5	25	25	II-A	Rb
B	1	56	16	II-R	Rb
B	2	30	30	II-A	Cs
B	3	44	28	II-R	Rb
B	4	58	12	IIR-M	Rb
B	5	35	05	II-A	Rb
C	1	36	06	II-A	Rb
C	2	33	03	II-A	Cs
C	3	59	19	II-R	Rb
C	4	53	17	IIR-M	Rb
C	6	57	29	IIR-M	Rb
D	1	61	02	II-R	Rb
D	2	46	11	II-R	Rb
D	3	45	21	II-R	Rb
D	4	34	04	II-A	Rb
D	5	24	24	II-A	Cs
E	1	51	20	II-R	Rb
E	2	47	22	II-R	Rb
E	3	40	10	II-A	Rb
E	4	54	18	II-R	Rb
E	5	23	32	II-A	Rb
F	1	41	14	II-R	Rb
F	2	55	15	IIR-M	Rb
F	3	43	13	II-R	Rb
F	4	60	23	II-R	Rb
F	5	26	26	II-A	Rb
F	6	32	01	II-A	Cs
A	6	48	07	IIR-M	Rb

Figura 6 - Esquema dos planos orbitais do sistema NAVSTAR/GPS (adaptado de SEGANTINE, 2005)

3.2.2 Segmento de controle

O segmento de controle refere-se às estações terrestres de controle e operação do sistema, em número de cinco (Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia, Colorado Springs), três delas com antenas para transmitir os dados para os satélites (Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein), e uma estação de controle central (MCS: Master Control Station), localizada em Colorado Spring nos EUA, a localização das estações é apresentada na Figura 7. Com o desenvolvimento e aprimoramento do sistema foram integradas a este segmento sete estações pertencentes ao NIMA (National Imagery Mapping Agency) que estão localizadas no Equador, Argentina, Inglaterra, Bahrain, Austrália, China e USNO (United States Naval Observatory, nos EUA).

Figura 7 - Estações de controle e monitoramento do Sistema GPS (ALBUQUERQUE, 2003)

Entre as funções das estações de controle citamos:

- Verificar o funcionamento dos satélites;
- Calcular as órbitas dos satélites para uma dada época;
- Sincronizar os relógios dos satélites com o tempo GPS;
- Determinar parâmetros ionosféricos;
- Controlar as manobras de substituição e de correção das órbitas;
- Atualizar a mensagem de navegação;
- Enviar os dados necessários aos satélites.

Os dados recolhidos nas estações de monitoramento são enviados para a estação principal onde são efetuados os cálculos necessários à atualização da mensagem de navegação. Os dados atualizados são enviados periodicamente para as antenas de transmissão que posteriormente os enviam para os satélites.

3.2.3 Segmento de usuários

O segmento de usuários refere-se à imensa gama de receptores GPS espalhada por todo mundo.

Este segmento é composto por dois grupos distintos, que são os usuários militares e os civis (SEGANTINE, 2005). Assim, existem dois tipos distintos de serviços disponíveis pelo sistema: o *Standard Positioning System* (SPS) que disponibiliza apenas o código C/A modulado na portadora L1 e de acesso livre e o *Precise Positioning System* (PPS) que disponibiliza o código-P (preciso) modulado nas portadoras L1 e L2 mas de uso restrito, que é chamado de código-Y quando criptografado pela técnica de *Anti Spoofing* (AS).

Os usuários militares pertencem às forças armadas norte americanas e seus principais aliados. Os usuários civis podem ser divididos em dois grupos que são: os que utilizam o sistema para a navegação pessoal e os que o utilizam para a Geomática. Naturalmente, os modelos de receptores de sinais GPS e softwares disponíveis no mercado, são direcionados para estes dois grupos, sendo também variada a gama de preços desses equipamentos, que podem oscilar de dezenas de dólares para um modelo mais simples destinado à navegação, até milhares de dólares para um conjunto geodésico de alta precisão.

De uma forma geral os receptores possuem a estrutura apresentada na Figura 8.

Figura 8 - Estrutura de um receptor GPS (CISNERO, 2004)

O sinal GPS captado pela antena do receptor é amplificado em um amplificador de alto ganho e baixo ruído, posteriormente este sinal é convertido para uma frequência mais baixa,

chamada de Frequência Intermediária (FI), por um ou vários passos. Este procedimento é realizado com o auxílio de um oscilador interno do receptor (SEEBER, 2003) geralmente de quartzo, que gera uma onda senoidal. São utilizados filtros de banda a fim de reduzir interferências e ruídos no sinal. Em seguida o sinal analógico é convertido para o formato digital.

A FI contém todas as informações de códigos contidas na frequência original, assim, cada satélite disponível é identificado por seu código PRN (*Pseudo Random Noise*) e associado a um dos canais do receptor por meio de um correlacionador (ou demodulador). A identificação e separação do código são efetuadas numa etapa denominada *Code tracking Loop*, onde os dados da fase são obtidos da separação dos dados do código na etapa denominada de *Phase Lock Loop*. Estas operações são possíveis já que a correlação entre os códigos PRN dos satélites é muito baixa.

Atualmente, a maioria dos receptores é dotado de canais paralelos independentes, apesar de mais rápidos, apresentam um erro sistemático conhecido como *inter-channel biases* (MONICO, 2000). Esta falta de sincronização na recepção do sinal por cada um dos canais do receptor é minimizada com a calibração realizada pelo microprocessador no início da operação.

Todos os processos dentro do receptor são controlados por um microprocessador, desde a aquisição do sinal até a saída de informações para o usuário. Cada vez mais estão sendo implementadas técnicas e algoritmos que substituam o hardware por software (SEEBER, 2003). Além destes, unidades de controle, *display* e alimentação compõem o receptor GPS.

Na Figura 9 apresenta-se um diagrama dos processamentos que ocorrem um receptor GPS.

Figura 9 - Diagrama dos processamentos em um receptor GPS (Adaptado de SOUZA SILVA, 2005)

3.3 Estrutura dos sinais GPS

Os sinais GPS são derivados a partir de uma frequência fundamental gerada por um oscilador de partículas atômicas com $f_0 = 10,23$ MHz. Desta frequência fundamental duas portadoras (L1 e L2) são geradas multiplicando-a por uma constante (154 para o caso da L1 e 120 para o caso da L2). Isto permite a combinação delas a fim de minimizar os efeitos do atraso ionosférico.

$$L1 = f_0 \times 154 = 1575,42 \text{ MHz, comprimento de onda } 0,19 \text{ m}$$

$$L2 = f_0 \times 120 = 1227,60 \text{ MHz, comprimento de onda } 0,24 \text{ m}$$

Na Figura 10 mostra-se esquematizado os sinais GPS (portadoras L1 e L2)

Figura 10 - Esquematização das portadoras L1 e L2 (CISNERO, 2004)

Nestas ondas portadoras são modulados os chamados de códigos PRN sendo eles:

- *Coarse Aquisition* ou *Clear Access* (C/A), de uso civil e sem restrições. É um código PRN de 1023 dígitos binários, precisão de 1 milisegundo (~300 metros) e modulado somente na portadora L1;
- *Precise* ou *Protected* (P), de uso militar e restrito. É um código PRN de 2.34x10¹⁴ dígitos binários, seqüência de período de 267 dias de duração, divididos em 7 dias, com reinicialização às 0h de domingo da semana GPS, é modulado em ambas as portadoras (~30 metros);
- *Navigation Message* (D) código de 1500 dígitos binários.

O esquema de representação da composição dos sinais GPS é representado pela Figura 11 e a estrutura dos sinais na Figura 12.

Figura 11 - Composição dos sinais GPS (SOUZA SILVA, 2005)

Na Figura 11 devemos observar que:

- A_p é a amplitude do código P;
- B_p é a amplitude do código P;

- $P_i(t)$ é a sequência do código P (+1, -1);
- $W_i(t)$ representa a criptografia (*Anti-Spoofing*) sobre o código P, que pode ser diferente para cada satélite $\{Y_i(t) = P_i(t).W_i(t)\}$;
- $D_i(t)$ é o fluxo dos dados com estado +1 e -1;
- A_c é a amplitude do código C/A;
- $C_i(t)$ é a sequência do código C/A (+1, -1);
- w_1 é a frequência a portadora L1;
- w_2 é a frequência a portadora L2;
- $\sigma_{n,L1,i}$ é o ruído da fase acompanhado do estado do oscilador; e
- i representa o satélite em questão.

Figura 12 - Estrutura dos sinais GPS (CISNEROS, 2004)

Como parte do programa de modernização do sistema NAVSTAR/GPS um novo código de uso civil denominado L2C está sendo implantado a partir da geração de satélites do bloco IIR-M. Este código possibilita uma maior atenuação dos efeitos da ionosfera, entre outras vantagens em relação ao código CA. Além disso, uma nova frequência denominada L5 está

sendo incorporada aos satélites do bloco IIF e uma nova geração de satélites (GPS III), prevista com lançamentos a partir de 2012, completará o ciclo de modernização.

3.4 Posicionamento com código (pseudodistância)

Os receptores de navegação pessoal utilizados pela comunidade civil baseiam-se na aquisição do código C/A e na solução da trilateração (cálculo de X, Y e Z) por meio do cálculo das pseudodistâncias. Devido à falta de sincronismo dos relógios do receptor e do satélite incorpora-se mais uma incógnita, os erros dos relógios, ao sistema de equações sendo necessários um mínimo de quatro satélites para a obtenção da solução de posicionamento.

O modelo matemático, apresentado por LEICK (2004) para a pseudodistância (ρ_u^i) entre o satélite i e a antena receptora u tem a forma (1):

$$\rho_u^i = D_u^i + c(b_u - B^i) + T_u^i + I_u^i + \varepsilon_{\rho,u}^i \quad (1)$$

- onde $D_u^i = |R_i - r_u|$ é a distância geométrica;
- R_i é a posição do satélite i ;
- r_u é a posição da antena do receptor u ;
- b_u é o desvio do relógio do receptor u ;
- B^i é o desvio do relógio do satélite i ;
- T_u^i é o erro troposférico;
- I_u^i é o erro ionosférico;
- $\varepsilon_{\rho,u}^i$ representa os outros erros; e
- c é a velocidade da luz, 299792458 Km/s.

A medida de tempo se dá pela comparação entre o código enviado pelo satélite e a réplica do código gerado internamente no receptor, na Figura 13 apresenta-se a comparação dos códigos.

Figura 13 - Medição de tempo baseado no código (adaptado de SEGANTINE, 2005)

3.5 Posicionamento usando a fase da portadora

A medida da fase é a diferença entre a fase da onda portadora recebida do satélite e a fase gerada internamente no receptor (frequência do oscilador interno). Esta medida não leva em conta o número do comprimento de ondas entre a antena receptora e o satélite, sendo desta forma uma medida ambígua. A fase da portadora (ϕ_u^i) é descrita por LEICK (2004) na expressão a seguir (2):

$$\phi_u^i = \frac{1}{\lambda} \left[D_u^i + c(b_u - B^i) + T_u^i - I_u^i \right] + N_u^i + \varepsilon_{\rho,u}^i \quad (2)$$

- onde $D_u^i = |R_i - r_u|$ é a distância geométrica;
- R_i é a posição do satélite i ;
- r_u é a posição da antena do receptor u ;
- λ é o comprimento de onda da portadora;
- T_u^i é o erro troposférico;
- I_u^i é o erro ionosférico; e
- N_u^i denota a ambigüidade no número de comprimentos de onda.

O termo I_u^i troca de sinal em relação à pseudodistância via código, pois a fase sofre um avanço enquanto que o código sofre um atraso ao atravessar a ionosfera devido aos elétrons livres, e $\varepsilon_{\rho,u}^i$ representa um erro aleatório na media e é menor que o erro da pseudodistância via código.

3.6 Método de posicionamento relativo

Neste caso são necessários dois receptores a fim de possibilitar o cálculo da diferença da simples diferença (de fase ou código) de um mesmo satélite para cada uma das estações de rastreo, como ilustrado na Figura 14.

Figura 14 - Simples diferença (SEGANTINE, 2005)

Pode-se utilizar a diferença entre duas simples diferenças para o caso de dupla diferença como ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Dupla diferença (SEGANTINE, 2005)

Ou ainda a diferença entre duas observações (duas épocas distintas) de duplas diferenças para o caso de tripla diferença como ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Tripla diferença (SEGANTINE, 2005)

Uma das antenas receptoras (base) é instalada para a coleta de dados em uma estação cujas coordenadas são previamente conhecidas. Simultaneamente, o outro receptor (“móvel”) coleta os dados em uma estação cujas coordenadas pretende-se determinar. Os cálculos podem ser realizados por meio de pós-processamento ou em tempo-real (RTK). No caso do RTK as correções diferenciais são enviadas do receptor base para o receptor “móvel” por meio de um link de comunicação de rádio entre os dois receptores.

Uma vez que a medida de fase é mais precisa que a medida do código (SEGANTINE, 2005), os levantamentos que requeiram maior acurácia e precisão devem ser realizados pelo método relativo utilizando-se a medida de fase da portadora.

Entretanto, é sabido que a medida de fase é ambígua e possui baixo ruído, já o código possui um ruído maior que a fase, mas não possui a ambigüidade. Assim, uma alternativa usualmente utilizada é a determinação de uma estimativa inicial para a resolução da ambigüidade da fase por meio da dupla diferença da pseudodistância calculada com o código suavizado pela fase da portadora (KAPLAN, 1996). O filtro de Kalman complementar para a

suavização do código é apresentado por Kaplan (1996, apud VAN GRASS e BRAASCH, 1992, p 297-316) conforme as equações (3) a (7).

$$DD_{s_n}^- = DD_{s_{n-1}}^+ + (DD_{cp_n} - DD_{cp_{n-1}}) \quad (3)$$

$$p_n^- = p_{n-1}^+ + q \quad (4)$$

$$k_n = p_n^- (p_n^- + r)^{-1} \quad (5)$$

$$DD_{s_n}^+ = DD_{s_n}^- + k_n (DD_{pr_n} - DD_{s_n}^-) \quad (6)$$

$$p_n^+ = (1 - k_n) p_n^- \quad (7)$$

Em que:

- DD_s^- = Código suavizado
- DD_{cp} = Dupla diferença da fase
- DD_{pr} = Dupla diferença da pseudodistância
- q = Variância das medidas de fase
- r = Variância das medidas da pseudodistância
- k = Ganho de Kalman
- p^- = Variância do erro na estimativa
- $+$ denota uma estimativa e n está relacionado à época da medida

Segundo Hill (2002) a suavização do código pela fase da portadora é muito útil para a suavização do código medido com os receptores da Garmin.

3.7 Fontes de erros nos levantamentos com GPS

Uma série de fatores influencia a precisão e acurácia em um levantamento com GPS. A contribuição de cada erro pode variar de alguns centímetros na solução até mesmo algumas dezenas de metros.

Existe um variado material na literatura a respeito destas fontes erros tais como: SEEBER (2003), LEICK (2004), MONICO (2000, 2007) entre outros. Aqui faremos apenas um resumo das principais fontes de erros.

- Erros devidos ao satélite: órbita e relógios.
- Erros devidos à propagação do sinal: atraso ionosférico, atraso troposférico e multicaminhamento.
- Erros devidos ao receptor: centro de fase da antena, ruídos no sinal e qualidade de hardware.

3.7.1 Efemérides

Em bases curtas o efeito do atraso ionosférico e troposférico é eliminado pela solução da dupla diferença, assim como os erros relativos aos relógios do satélite e do receptor (SEGANTINE, 2005).

Para o presente trabalho, tratando-se de bases curtas, as efemérides utilizadas foram as do tipo transmitidas pelos satélites durante a coleta dos dados. Com base nas Tabelas 2 e 3 é possível verificar que não existiu a necessidade da utilização das efemérides precisas uma vez que a acurácia fornecida pelas efemérides transmitidas já é apropriada para linhas base curtas.

Tabela 2 - Comprimento da linha base para um erro de 1 cm em função do erro da órbita (adaptado de Seeber, 2003)

Comprimento da linha base	Erro admissível na órbita
0,1 km	2500 m
1 km	250 m
10 km	25 m
100 km	2,5 m

Tabela 3 - Acurácia dos tipos de efemérides fornecidas pelo IGS (adaptado de IGS, 2008 - <http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>)

Efemérides		Acurácia	Latência
Broadcast	Órbita	~160 cm	Tempo real
	Relógio satélite	~7 ns	
Ultra-Rápida (predita)	Órbita	~10 cm	Tempo real
	Relógio satélite	~5 ns	
Ultra-Rápida (observada)	Órbita	<5 cm	3 horas
	Relógio satélite	~0.2 ns	
Rápida	Órbita	<5 cm	17 horas
	Relógio satélite	0.1 ns	
Final	Órbita	<5 cm	~13 dias
	Relógio satélite	<0.1 ns	

3.7.2 Tempo de rastreo

O tempo de rastreo das sessões é uma variável muito discutida na literatura, entretanto não existe um valor de consenso. Sabe-se que ele é dependente do comprimento da linha base. Além disso, também possui uma dependência quanto ao número de satélites disponíveis no horizonte do observador, vide Tabela 4.

Tabela 4 - Tempo mínimo (em minutos) recomendado de coleta em função do comprimento da linha base e do número de satélites disponíveis (adaptado de USAGE GPS Field Review Group, 2002)

Comprimento da Linha Base	4 satélites	5 satélites	6 ou mais satélites
1 – 10 km	60 min	36 min	24 min
10 – 20 km	75 min	45 min	30 min
20 – 50 km	105 min	75 min	60 min

No Brasil existem duas normas para levantamentos realizados por GPS. Nestas normas são apresentados valores de tempo de rastreo mínimo. A norma do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) denominada Especificações e Normas Gerais para

levantamentos GPS, publicada preliminarmente em 1993, ressalta a falta de experiência naquela época para a determinação de um valor, entretanto apresentou os valores constantes da Tabela 5.

Tabela 5 - Tempo mínimo recomendado de coleta em função do comprimento da linha base (IBGE, 1993)

Comprimento da Linha de Base	Duração da Sessão
< 2 km	1 hora
< 50 km	2 horas
< 100 km	4 horas

Já a norma do Instituto de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), publicada em 2003 para servir de apoio ao cadastramento de imóveis rurais, preconizado pela Lei 10.267 de 2001, apresenta os valores da Tabela 6.

Tabela 6 - Relação entre tempo de ocupação e distância entre estações para levantamentos de controle (INCRA, 2003)

Distância entre estações	Ocupação mínima em minutos	Observáveis	Tipo de solução esperada
Até 20 km	30	L1 ou L1/L2	DD Fix
20 – 50 km	120	L1/L2	DD Fix
Acima de 100 km	240	L1/L2	DD Float

Este trabalho tinha como objetivo avaliar uma metodologia para atender a norma do INCRA e para tanto as coletas nas bases variáveis foram realizadas em sessões de até 1 hora.

Neste trabalho, por conta da utilização de um receptor de navegação pessoal para a coleta das observáveis, os erros referentes ao receptor devem influenciar sobremaneira a solução, já que a eletrônica dos mesmos não foi desenvolvida para aplicações que exijam melhores precisões.

Ambigüidades na medição de fase conhecidas por *half-cycle ambiguities* estão associadas com receptores antigos que utilizam a técnica de quadratura para a correlação do sinal. Este processo afeta a medição da fase do sinal L1 em meio ciclo (KAPLAN, 1996) e é

um dos problemas na utilização de observáveis coletadas com receptores de navegação pessoal para pós-processamento (HILL, 2000).

3.8 Protocolos de comunicações GPS

A interface entre o receptor GPS e o computador se dá por meio de protocolos de comunicações. Estes protocolos gerenciam a troca de dados entre o receptor e o computador permitindo o *download* e *upload* das informações. A partir dos protocolos são estabelecidas regras de comunicação que permitem a tradução das mensagens transmitidas. Em se tratando de receptores GPS cada fabricante estabelece o seu próprio formato para o protocolo de comunicação, entretanto existem dois formatos padrões de mensagens que também são utilizados na comunicação GPS: o NMEA-183 e o RTCM-104, descritos a seguir.

As mensagens NMEA-183, cujo formato é normatizado pela US National Marine Electronics Association, definem requisitos dos sinais elétricos, protocolos e taxas de transmissão de dados e formatos específicos de mensagens. O objetivo é a transmissão de dados como soluções de posição GPS, rumo, velocidade etc, possibilitando manter uma navegação em tempo real. Os dados são transmitidos através de *strings* e possuem formato ASCII, com um comprimento máximo de 82 caracteres, subdivididas em campos delimitados por vírgulas, contendo os identificadores da mensagem, os dados específicos para cada tipo de mensagem e os caracteres de término da string.

Outro tipo de comunicação implementada é o padrão de mensagens RTCM – 104. A Radio Technical Commission for Maritime Service (RTCM) é uma organização internacional científica, profissional e educacional, sem fins lucrativos e constituída por mais de cem organizações participantes, governamentais ou não, engajadas no desenvolvimento de padrões internacionais para sistemas de radionavegação e radiocomunicação. Composta de Comitês Especiais (SC), responsáveis pela disseminação de relatórios denominados Padrões RTMC

recomendados nas diversas áreas comuns de radionavegação e radiocomunicação. O Comitê Especial 104 (SC-104) é responsável pela disseminação dos padrões para os sistemas diferenciais GNSS, utilizados mundialmente para navegação por satélite, tanto marítima quanto terrestre.

Os padrões RTCM são compostos por mensagens numericamente identificadas, de acordo com o tipo de informação transmitida, visando a correção de um determinado erro inerente aos sistemas GNSS. O formato das mensagens segue a mesma estrutura das mensagens de navegação do sistema GPS, com palavras de 30 bits e taxa de transmissão de 50 bps. São muito utilizadas para o envio de correções DGPS.

Os receptores da marca Garmin operam com estes tipos de interface adicionalmente ao protocolo proprietário. Em 1998 foi divulgada pela empresa fabricante do receptores Garmin uma série de instruções referentes ao seu protocolo a fim de permitir aos desenvolvedores de software para navegação em tempo real a comunicação e transferência de dados dos receptores para os programas e vice-versa. A interface Garmin divulgada, baseada em um protocolo serial RS232, descreveu funções e regras que permitem a transferência de *waypoints*, rotas, trajetos e o almanaque do satélite (mensagens de navegação). Uma série de mensagens deixou de ser documenta pela Garmin, sendo exatamente as que contêm as informações referentes às observáveis L1. A publicação destas especificações de protocolo da Garmin é atualizada a cada modificação implementada, a última versão disponível data de maio de 2006, na qual já constam informações referentes ao protocolo baseado em conexão USB. Nesta versão a Garmin ressalva quanto à utilização de dados obtidos das mensagens não documentadas, relatando tratar-se de dados restritos para testes pela própria Garmin e que essas mensagens podem sofrer modificações a qualquer tempo (GARMIN, 2006). Neste trabalho utilizou-se receptores de navegação pessoal da Garmin já que os softwares de coleta

auxiliar dos dados das observáveis só trabalham com o protocolo de comunicação de dados da Garmin.

4 Revisão Bibliográfica

Neste tópico são apresentados trabalhos que estão correlacionados com o assunto em foco nesta dissertação, apresentando os testes realizados e os resultados encontrados por seus autores.

4.1 Uso de receptores de navegação pessoal para obtenção de coordenadas acuradas

A idéia de utilização de observáveis coletadas a partir de receptores de navegação pessoal já suscitou a elaboração de alguns trabalhos e motivaram a elaboração de dois softwares específicos para a captura de observáveis para estes tipos de receptores.

Galan (2001), da Universidade de Barcelona e sua equipe desenvolveram o software ASYNC que roda em plataforma DOS gerando um arquivo binário com as observáveis GPS posteriormente convertidas para o formato RINEX pelo software GAR2RNX que também roda em plataforma DOS.

Hill (1999) e a equipe do IESSG da Universidade de Nottingham desenvolveram o aplicativo GRINGO funcionando em plataforma Windows para a geração de arquivos RINEX com as observáveis GPS. Alguns testes já foram realizados com estes softwares, os resultados encontrados até o presente momento são satisfatórios e em alguns casos até surpreendentes.

Hill et al (1999) estabeleceu uma base zero com dois receptores Garmin 12 XL conectados por meio de um *splitter* a uma antena externa para receptores de navegação pessoal cujos dados de observáveis foram coletados com o software GRINGO durante uma sessão com uma hora de duração. Os dados foram processados em um software desenvolvido na própria Universidade de Nottingham chamado de P3. Foram testadas soluções com base no processamento do código tendo sido encontrado uma discrepância de 80 cm com RMS de

85 cm. Ressalta-se que os testes foram realizados no período em que o efeito SA ainda encontrava-se ativado.

Hill et al (2000) realizou testes em bases cujos comprimentos variaram de aproximadamente 1 km até 230 km, tendo utilizado um par de receptor Garmin 12 XL e o software GRINGO para a coleta das observáveis. Foram processados os dados da fase para pontos estáticos. As soluções *float* apresentaram discrepâncias variaram da ordem de 3 cm para as bases curtas até 32 cm para a base de 230 km. Uma outra base de 3,2 km foi ocupada por um período de 3 horas a uma taxa de 1 Hz sendo os dados processados em sessões de 10, 15 e 30 minutos. Não foram fixadas as ambigüidades para as sessões de 10 e 15 minutos. As soluções *float* apresentaram discrepâncias da ordem de até 50 cm para sessões de 10 minutos, 20 cm para sessões de 15 minutos e 5 cm para sessões de 30 minutos. As soluções *fix* para as sessões de 30 min alcançaram acurácia de 1 cm. Estes testes também foram realizados na época em que o efeito SA estava ativo.

Hill et al (2002) utilizou o software GRINGO e o receptor Garmin 12 XL para realizar um mapeamento rápido com pós-processamento dos dados adquiridos com este equipamento conseguindo alcançar acurácias melhores que 10 cm usando os dados da fase em mensurações estáticas. Como resultado do trabalho apresentou um mapa cadastral na escala de 1:2500.

Santos et al (2002) analisou o assunto sob a ótica do cadastro que exige um rigor demasiado já que está diretamente relacionado com a questão pecuniária do imóvel, para isso utilizou o software ASYNC e o receptor de navegação GPS Garmin 12 comparando-os com resultados obtidos com receptor geodésico de uma frequência apontando resultados semelhantes. Foram realizadas observações em ponto na UFPE formando uma linha base de aproximadamente 400 metros com a estação RCFE da Rede Brasileira de Monitoramento

Contínuo (RBMC), as observações foram realizadas em 12 sessões de 30 minutos em dias consecutivos cujas soluções foram comparadas com uma observação com receptor GPS de dupla frequência. As soluções encontradas apresentaram um desvio padrão da ordem de 10 cm e uma acurácia de 15 cm.

Schwieger (2003) realizou testes com o receptor Garmin Etrex Vista e o software GRINGO para a coleta das observáveis. Foram testados os softwares de pós-processamento Ski-Pro da Leica e o software P4 da Universidade de Nottingham, tendo sido processados soluções absoluta baseada no código e relativas baseadas na fase. Os resultados apontaram para melhores soluções baseadas no código com o software P4 e baseadas na fase com o Ski-Pro. Adicionalmente, realizou uma calibração da antena para o receptor EtrexVista, uma série de medidas em pontos da rede de Stutgard e um levantamento cinemático. As acurácias encontradas para os pontos estáticos foram compatíveis com as descritas por Hill et al (2000) e para o caso cinemático foram encontradas acurácias da ordem de 5 metros.

Palmeros et al (2003) utilizou o software GRINGO e o receptor Garmin 12 XL para realizar mapeamentos de baixo custo integrando estes equipamentos com um teodolito e uma câmera digital não métrica tendo apontado indícios positivos para a sua utilização em mapeamentos que não requeiram grande acurácia. Quanto aos resultados obtidos na comparação de coordenadas cartesianas de pontos de controle com os medidos com o receptor de navegação pessoal o vetor erro variou de 4 cm até 15 cm.

Camargo et al (2003) realizou testes com o software ASYNC e o receptor Garmin 12 XL variando a linha base entre 5 km e 100 km e comparando os resultados com os encontrados por um receptor Ashtech Z XII. Os resultados encontrados foram satisfatórios, com discrepâncias da ordem de 5 cm para as linhas base até 20 km, sendo que além desta distância os valores de discrepância apresentaram uma tendência de aumento. Em 2004

realizou estudos para o modo relativo cinemático tendo apresentado uma perspectiva favorável para esta aplicação salientando os problemas devidos a perdas ciclo.

Cosser et al (2004) avaliou o monitoramento de pontes com o uso do software GRINGO e do receptor Garmin 76 em comparação à utilização do receptor GPS de uma frequência Leica System 500, conectados por um *splitter*, foram realizados dois experimentos sendo um estático e outro cinemático no qual os receptores sofreram oscilações no plano vertical. Os resultados apontaram que, apesar do ruído encontrado nas medições com o equipamento de navegação pessoal ser muito maior que o instrumento geodésico (os resíduos do receptor da Leica variaram até um máximo de 10 cm e os resíduos com o receptor Garmin variaram até 8 metros), a técnica pode ser utilizada para o monitoramento de estruturas como pontes em conjunto com acelerômetros, entretanto, a taxa de rastreamento de 1 Hz mostrou-se ineficiente para a detecção das oscilações provocadas.

Souza Silva e Câmara (2005) estudaram o assunto relacionando-o com a sua utilização para atender a Lei nº 10.267 / 2001 do INCRA. Para isso utilizou o software ASYNC e o receptor Garmin III Plus com uma antena externa para receptores de navegação pessoal para medir cinco pontos de perímetro de uma propriedade. As distâncias da base ficaram em torno de 3 km, os resultados alcançados variaram entre os pontos, mas obteve-se valores melhores que um metro de acurácia para 80 % das medições. Entretanto, segundo as conclusões dos autores, a metodologia não atenderia os requisitos da norma do INCRA.

Schwieger (2005) novamente realizou testes com o receptor Garmin Etrex vista e o software GRINGO para a coleta das observáveis. Linhas base variando de 100m a 8 km foram pós-processadas com o software Ski-Pro. Os resultados apontaram valores máximos de 8 cm de acurácia para coletas de 30 minutos para as coordenadas do vetor tridimensional.

Beran et al (2005) realizou experimentos utilizando o receptor Garmin 12 XL com antena externa GA27 e o software ASYNC para a coleta das observáveis e processamento de ponto preciso com coleta de 3 horas e meia. Os resultados encontrados apontaram um erro médio quadrático da ordem de 50 cm na solução 3D.

Krueger e Tranches (2006) estudaram o uso do software ASYNC e do receptor Garmin III Plus conectado a uma antena externa do receptor Ashtech Promark 2 para medição de bases variando entre 10 e 125 km visando a aplicação da metodologia para o posicionamento de marcos classe P3 conforme a Lei 10.267/2001 do INCRA. Foram encontradas discrepâncias da ordem de 2,4 cm para a base de 10,35 Km e de 22,46 cm para a base de 125,7 Km. Neste trabalho o tempo de ocupação foi de 2 a 4 horas dependendo da distância da base, o que é maior que o recomendado pela norma do INCRA.

Ainda que outros trabalhos já tenham se dedicado ao estudo em tela, restam lacunas a serem testadas e aplicações que podem ser supridas com esta metodologia desde que se consiga estabelecer procedimentos que favoreçam a melhor forma de alcançar a acurácia desejada dentro da capacidade que os aparelhos para navegação pessoal permitam face as suas limitações.

5 Materiais

Neste tópico são apresentados os materiais, softwares e equipamentos utilizados para a execução dos testes desta dissertação, bem como os cuidados que foram necessários para o bom andamento dos mesmos.

5.1 Receptores de navegação pessoal

Neste trabalho foram utilizados dois modelos de receptores de navegação pessoal distintos para a coleta das observáveis com os softwares ASYNC e GRINGO. Trata-se de dois equipamentos muito utilizados para a navegação e disponíveis a preços acessíveis no mercado, sendo eles dois modelos da marca Garmin: o Etrex Vista (lançado no mercado em 2001) e o G12 Map (lançado no mercado em 1999).

Além destes, outros dois modelos também da marca Garmin foram testados para a verificação de comunicação com os softwares auxiliares para a coleta das observáveis, sendo eles o 60 Map CSx (lançado no mercado em 2006) e o Etrex H (lançado no mercado em 2007), cuja tecnologia proporciona alta sensibilidade para o rastreamento dos satélites e por tratarem-se de receptores lançados recentemente por esta empresa.

Características do receptor Garmin Etrex Vista (Figura 17):

- Receptor: 12 canais paralelos, atualizando continuamente a posição a cada 1 segundo;
- Tempo de Aquisição: quente/frio 15 seg./45 seg;
- Taxa de Atualização: 1 segundo, contínua;
- Interface: RS232 com NMEA 0183, RTCM 104 DGPS *data format* e formato GARMIN;
- Antena: Interna;

Figura 17 - Receptor de navegação EtrexVista (GARMIN)

Características do receptor Garmin Etrex H (Figura 18):

- Receptor: 12 canais paralelos, atualizando continuamente a posição;
- Tempo de Aquisição: quente/frio 03 seg./ 32 seg;
- Taxa de Atualização: 1 segundo, contínua;
- Interface: RS232 com NMEA 0183, RTCM 104 DGPS *data format* e formato GARMIN;
- Antena: Interna;
- Receptor com nova tecnologia de alta sensibilidade² Garmin

Figura 18 - Receptor de navegação Etrex H (GARMIN)

Características do receptor Garmin 12 Map (Figura 19):

- Receptor: 12 canais paralelos, atualizando continuamente a posição
- Tempo de Aquisição: quente/frio 15 seg./45 seg

² receptor GPS de alta sensibilidade que rastreia sinais via satélite com rapidez e precisão mesmo em condições adversas (GARMIN, 2008)

- Taxa de Atualização: 1 segundo, contínua
- Interface: RS232 com NMEA 0183, RTCM 104 DGPS data format
- Antena: Interna com possibilidade de uso de antena externa acoplada.

Figura 19 - Receptor de navegação 12 Map (GARMIN)

Características do receptor Garmin 60 Map CSx (Figura 20):

- Receptor: 12 canais paralelos, atualizando continuamente a posição com receptor de alta sensibilidade SiRFstar III
- Tempo de Aquisição: quente/frio 03 seg./ 32 seg
- Taxa de Atualização: 1 segundo, contínua
- Interface: RS232 com NMEA 0183, RTCM 104 DGPS data format
- Antena: Interna com possibilidade de uso de antena externa acoplada.

Figura 20 - Receptor de navegação 60 Map CSx (GARMIN)

Para o presente trabalho estavam disponíveis três receptores Etrex Vista, três receptores 12 Map, um receptor Etrex H e um receptor 60 Map CSx.

5.2 Receptores geodésicos

Para a determinação das coordenadas dos pontos da rede de controle foi utilizado o receptor geodésico de dupla frequência da Leica, modelo System 1200 (Figura 21). As características principais deste equipamento são apresentadas a seguir:

- Tecnologia GNSS SmartTrack
- Canais: 12 L1 + 12 L2 GPS 2 SBAS
- Precisão Planimétrica: 5 mm + 0.5 ppm
- Precisão Altimétrica: 10 mm + 0.5 ppm

Figura 21 - Receptor geodésico Leica System 1200 (LEICA)

Na estação base, localizada na cobertura do prédio do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, foi utilizado o receptor L1 Pro Pack da Novatel.

Características do receptor L1 Pro Pack 3151RM da Novatel (Figura 22):

- Taxa de aquisição: até 20 Hz
- Canais: 12 L1 GPS
- Acurácia: CEP < 1.25 metros, SEP < 1.85 metros

Figura 22 - Receptor geodésico Pro-Pack 3151RM (NOVATEL)

Para o trabalho estavam disponíveis três receptores Leica System 1200 e um receptor Novatel Pro-Pack.

5.3 Softwares

Existem duas categorias de softwares disponíveis para o processamento de dados GPS, os softwares chamados comerciais e os softwares chamados científicos (SEEBER, 2003).

O software GPS Leica Geo Office esta enquadrado na categoria de software comercial. Este software é baseado em uma interface gráfica intuitiva no ambiente multitarefas do Windows. A Figura 23 mostra uma tela do software. É um programa para gerenciamento de dados de GPS, estações totais e de níveis bem como os respectivos processamentos para os equipamentos da Leica, entretanto também possibilita o processamento de dados no formato RINEX.

Figura 23 - Tela do software LGO

O Leica Geo Office inclui as seguintes funcionalidades:

- Gerenciamento dos dados
- Edição e visualização
- Relatórios
- Importação e exportação
- Ferramentas para GPS, estações totais e níveis
- Transformação de coordenadas
- Pós-processamento de GPS
- Processamento de dados de níveis
- Ajustamento de rede
- Exportação GIS/CAD

O software P4, que acompanha o software GRINGO, desenvolvido na Universidade de Nottingham está enquadrado na categoria de software científico. Este software, que possui uma interface para Windows é de fácil operação (7 etapas básicas) e permite o processamento de arquivos no formato RINEX para soluções de código absoluto ou relativo e soluções de fase relativo. Permite ainda a opção de arquivos de pontos estáticos ou cinemáticos. Possui saída em relatórios texto e gráficos das análises dos resultados. A Figura 24 mostra uma tela do software.

Figura 24 - Tela do software P4

Para a coleta das observáveis nos receptores de navegação são utilizados dois softwares específicos desenvolvidos na Espanha e na Inglaterra.

O software ASYNC / GAR2RNX da Universidade Politécnica de Madri desenvolvido pelo professor Antonio Tabernero Galán para captura dos dados brutos da portadora L1 e código CA dos receptores de navegação pessoal da Garmin em formato binário através da porta serial RS 232. Os dados binários são posteriormente transformados para o formato padrão RINEX por meio do conversor GAR2RNX também de sua autoria. Este software opera no padrão DOS por meio de linhas de comando. Uma descrição de seus comandos e funcionalidades operacionais constam do Anexo 1. A Figura 25 mostra a interface DOS do software.

```

G:\>cd programa
G:\Programa>async
=====
* Async Software to log raw GPS data from some Garmin handhelds *
* Version 1.20 Copyright 2000,2001 Antonio Tabernero Galan *
=====
Usage:
  async -h or async -h1 show this help
  async command [options]

----- ASYNC COMMANDS -----

  async -c ! only checks port availability
  async -i ! only tries to get the GPS ID (default)
  async -a $xxxxx : Enable async events with hex mask xxxxx
  async -r $xxxxx : Sends request type xxxxx
  async -rinex : by enabling only those records relevant to the
                  generation of a RINEX file you avoid missing
                  observations (that can happen when there are too
                  many async events coming). Use this option when you
                  plan to generate a RINEX file from the collected data
  async +doppler: if you're using the latest version (1.2 or newer) of
                  async you can get Doppler shift data in addition to
                  pseudoranges and phase using this flag instead of -rinex.
                  Be warned that since there is now more data coming from
                  the serial port you might start missing some observations.

----- ASYNC OPTIONS -----

  async -p port_name : Selects serial comm port (comx, ttySx)
                      Default is com1 (Win) or ttyS0 (Linux)

  async -t ttt : Sets log time to ttt seconds. Default 20 sec.
  async -o filename : Save received packets in filename
                      By default the output goes to week_second.g12

-----

The usual procedure would be to find an unused comm port using
  async -p com1 -c or async -p com2 -c (ttyS0,ttyS1 in Linux)
Once you find the port, connect your GPS and check if the program sees it
  async -p comN -i
If your GPS is identified you can start logging data using the
  async -a -r -rinex or +doppler commands.
=====

```

Figura 25 - Tela da interface DOS do software ASYNC

O software GRINGO (GPS Rinex Generator) foi desenvolvido no Instituto de Engenharia de Levantamento e Geodésia Espacial (IESSG) da Universidade de Nottingham na Inglaterra. Assim como o software ASYNC, ele permite a extração e gravação dos dados brutos da portadora L1 e código C/A para posterior processamento. Este software está disponível para plataforma Windows sendo sua saída um arquivo texto no formato RINEX. A Figura 26 mostra a tela inicial deste software.

Figura 26 - Tela do software GRINGO

Foi utilizado um software de autoria de Schaal (1998) para organização dos arquivos RINEX coletados de forma a se extrair as épocas para cada satélite observado. Este software roda em ambiente DOS por meio de linhas de comando.

5.4 Antenas

O receptor Garmin 12 Map possui entrada para antena externa, assim para as coletas com este receptor foi utilizada uma antena Garmin GA29 (Figura 27). Trata-se de uma antena para recepção de sinal L1.

Figura 27 - Antena externa para receptores de navegação pessoal Garmin GA29 (GARMIN)

Na estação base (STTN) no prédio do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos foi necessário a utilização de um *splitter* de antena para a divisão do sinal promovendo a conexão simultânea do receptor Pro-Pack e do receptor Garmin 12 Map. O *splitter* utilizado foi o modelo LDCBS1X2 da GPS Networking Inc (Figura 28). Trata-se de um *splitter* passivo, porém é possível encontrar no mercado *splitters* amplificadores com até 20 dB de ganho.

Figura 28 - Splitter de antena passivo LDBS1X2 (GPS Networking Inc, 2008)

Um aspecto importante a ser ressaltado é que os conectores da antena GA29 e do *splitter* são do tipo BNC e o receptor Garmin 12 Map possui uma entrada fêmea do tipo MCX para a entrada da antena externa. Trata-se de um conector muito específico e de difícil aquisição no mercado. Foi necessária a confecção de um cabo do tipo *Pig Tail* com conectores BNC e MCX, com cabo do tipo RG174, conforme se pode observar na Figura 29. Este cabo foi criado, pelo autor, especialmente para o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 29 - Cabo adaptador Pig Tail com detalhe do conector MCX

Outro aspecto importante recai sobre o fato do receptor Garmin Etrex Vista operar somente com antena *patch* interna como podemos observar na Figura 30.

Figura 30 - Antena interna *patch* do receptor Garmin Etrex Vista

A fim de garantir que as coletas com este receptor ocorressem sempre nas mesmas circunstâncias quanto a sua disposição sobre o ponto a ser medido, Schwieger (2003) propôs a utilização de um dispositivo de fixação do aparelho, posteriormente adaptado para a minimização do multicaminhamento (Schwieger, 2003) conforme a Figura 31, e adaptado para este trabalho (vide Figura 32). Este dispositivo foi confeccionado na oficina mecânica do Instituto de Química da USP em São Carlos sob a orientação do autor desta dissertação.

Figura 31 - Ilustração do dispositivo para fixação do receptor Etrex Vista (SCHWIEGER, 2003)

Figura 32 - Dispositivo para fixação do receptor Etrex Vista adaptado de Schwieger

5.5 Equipamentos diversos

Para a realização da coleta de dados com os receptores de navegação com o auxílio dos softwares ASYNC e GRINGO se fez necessário a integração de um notebook ao receptor GPS. Para isso, foram necessários além do computador um conjunto de cabos para as conexões e suprimentos de energia. Foi necessário a utilização de inversor de voltagem para adaptação da alimentação do notebook a bateria de um veículo. Neste caso foi utilizado um inversor com capacidade de 150 W, além de pilhas recarregáveis para os receptores de navegação pessoal. Para a coleta em um dos pontos sem condições de acesso com veículo foi utilizado um gerador portátil da marca Blitzzer com capacidade para 750 W, saída 110 V e autonomia de 6 horas. Este gerador pesa da ordem de 21 kg.

O notebook utilizado tinha uma configuração com processador de 200 MHz, memória RAM de 32 MB, sistema operacional Windows 98. Como os arquivos são gerados em formato texto não se faz necessário grande capacidade de armazenamento.

A Figura 33 mostra o conjunto dos equipamentos necessários.

Figura 33 - Conjunto de equipamentos necessários à coleta dos dados

Um teste com os equipamentos integrados foi realizado para a verificação de eventuais problemas. Os equipamentos integrados são visualizados na Figura 34.

Figura 34 - Teste de integração dos equipamentos

6 Metodologia

6.1 Base zero

Foram realizadas coletas de uma base zero³ estabelecida na antena situada na cobertura do prédio do Departamento de Transportes, tendo sido esta antena conectada por meio de *splitter* aos receptores Garmin 12 Map e Novatel Pro-pack. Este experimento possibilitou a comparação destes receptores examinando os dados gravados por cada um deles, uma vez que o sinal recebido era exatamente o mesmo a cada época.

Estabeleceu-se a nomenclatura STTN para descrever o receptor Novatel Pro-Pack e STTG(1,2,3) para cada um dos receptores Garmin 12 Map disponíveis para o trabalho (estes receptores foram identificados de acordo com o *serial number* de cada um). Pelo fato do receptor Garmin Etrex Vista não possuir entrada para antena externa este receptor não foi avaliado na base zero.

Na Figura 35 mostra-se o esquema das conexões estabelecidas para a base zero.

Figura 35 - Esquema da configuração da base zero

³ Conexão de dois receptores a uma única antena por meio de *splitter* que compartilha o sinal

Foram realizadas duas fases de medições para a base zero. A primeira constituiu-se de sessões de longa duração com 5 horas de rastreio e a segunda abrangeu sessões de curta duração com sessões de 30 minutos ambas para os três receptores Garmin 12 Map conjuntamente com o receptor Novatel Pro-Pack para cada um dos softwares de coleta (GRINGO e ASYNC).

As sessões de longa duração fora realizadas nos dias 11/12/2007 (semana GPS 1457, dia GPS 345), 13/12/2007 (semana GPS 1457, dia GPS 347) e 14/12/2007 (semana GPS 1457, dia GPS 348) com o software GRINGO (Figura 36) e nos dias 14/11/2007 (semana GPS 1453 dia GPS 318), 21/11/2007 (semana GPS 1454, dia GPS 325) e 04/12/2007 (semana GPS 1456, dia GPS 338) com o software ASYNC (Figura 37).

Figura 36 - Tempo de rastreio das sessões de longa duração para a base zero com o software GRINGO

Figura 37 - Tempo de rastreio das sessões de longa duração para a base zero com o software ASYNC

As sessões de curta duração foram realizadas no dia 08/03/2008 (semana GPS 1469, dia GPS 068).

Coletas com o software GRINGO (Figuras 38 a 44):

Figura 38 - Tempo de rastreio das sessões de curta duração para a base zero com o software GRINGO

Figura 39 - Coleta da sessão STTG3 com o software GRINGO

Figura 40 - Coleta da sessão STTG2 com o software GRINGO

Figura 41 - Coleta da sessão STTG1 com o software GRINGO

Coletas com o software ASYNC (Figuras 42 a 44):

Figura 42 - Tempo de rastreo das sessões de curta duração para a base zero com o software ASYNC

Figura 42 - Coleta da sessão STTG3 com o software ASYNC

Figura 43 - Coleta da sessão STTG2 com o software ASYNC

```
D:\SLOG
D:\Async>asyno -p com2 -rinex -t 1800 -o 83Mar2008STTG10.g12
* Asyno Software to log raw GPS data from some Garmin handhelds *
* Version 1.21. Copyright 2000.2001 Antonio Tabernero Galan *
Serial port: com2. Command: Log asyno events for Rinex.
Log-time 1800 sec. Output binary file 83Mar2008STTG10.g12
-----
Position : Lat -22.8849 Long -47.8992
Civil Date: 08/03/2008 20:00:10
GPS Time : GPS Week 1469 ToW 598983 sec. Garmin Weekdays 6636
Product ID: 129 <GPS 12 Map Software Version 2.85 >. Firmware 2.85
Waiting for a 3D fix <10 secs at most>
05 secs: 5 packets with 0x33 ID received. 5 with a 3D fix
Comm Stats: Chars 1347319 <5.8 Kbits/s>: 58079 OK records. 0 failed reads
D:\Asyno>
```

Figura 44 - Coleta da sessão STTG1 com o software ASYNC

O valor do vetor solução foi utilizado como comparação já que se sabia ser nulo o valor da solução.

6.2 Base variável

6.4.1 Estabelecimento de uma rede de pontos de controle

Foram determinados pontos de controle para servirem como estações para os testes realizados, levando em consideração à distância ao ponto STTN (Figura 45) localizado no prédio do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da USP que foi utilizado como ponto de referência para as irradiações executadas.

Figura 45 - Estação STTN no Departamento de Transportes EESC USP

Os pontos escolhidos foram devidamente monumentos (Figuras 46 a 49) e foram distribuídos no município de São Carlos (SP). As distâncias de cada um dos pontos até a estação STTN estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Distâncias dos pontos de controle ao ponto STTN

Ponto	Distância da base (m)
FED1	3.315,60
USP2	3.594,28
AVM	11.620,85
CHREA1	18.338,20

Alguns detalhes importantes foram considerados para a escolha dos pontos, além das distâncias, como locais livres de obstruções que interferissem no recebimento dos sinais GPS, bem como proximidades a superfícies refletoras ou materiais que pudessem interferir os sinais de alguma forma, acessibilidade e preservação dos mesmos. As sessões de medições foram realizadas no dia 18/05/2007 (semana GPS 1427, dia GPS 138).

Figura 46 - Marco FED1 – UFSCar – Medição com Leica System 1200

Figura 47 - Marco USP2 – Área 2 Campus USP São Carlos - Medição com Leica System 1200

Figura 48 - Marco AVM – Rotatória Rodovia SP 318 - Distrito de Água Vermelha - Medição com Leica System 1200

Figura 49 - Marco CRHEA1 – Estação Meteorológica CRHEA USP - Medição com Leica System 1200

Nestes pontos foram realizadas medições em sessões de aproximadamente uma hora (vide Figura 50), com o receptor geodésico Leica System 1200 de dupla frequência, com exceção do marco STTN onde se utilizou um receptor L1 Pro-Pack da Novatel. Estes pontos estabeleceram uma rede que foi ajustada tendo como pontos de referência (fixos) os marcos da rede IBGE SAT93668 e SAT93670, cujos relatórios constam do Anexo 2, e que estão nomeados neste trabalho por WILD e FED1, respectivamente. O marco FED1, homologado pelo IBGE, também foi ocupado nas irradiações com o receptor de navegação pessoal.

Figura 50 - Tempo de rastreio para o estabelecimento da rede

Com o ajustamento da rede GPS os pontos utilizados nos testes foram considerados os valores de coordenadas constantes da Tabela 8 como verdadeiros com os respectivos desvios constante da Tabela 9, a título de comparação com valores medidos com os receptores de navegação pessoal.

Tabela 8 - Coordenadas geodésicas ajustadas dos marcos (WGS 84)

ID Ponto	Latitude	Longitude	Altura eElipsoidal (m)
AVM	21° 54' 00.53509" S	47° 54' 13.18663" W	812.658
CRHEA1	22° 10' 13.54527" S	47° 53' 55.72856" W	726.974
FED1	21° 58' 54.13200" S	47° 52' 44.31880" W	848.910
STTN	22° 00' 17.78072" S	47° 53' 57.08932" W	823.531
USP2	22° 00' 01.03633" S	47° 56' 01.01208" W	842.635
WILD	21° 59' 43.25000" S	47° 54' 27.11000" W	842.350

Tabela 9 - Desvios das coordenadas geodésicas ajustadas dos marcos

ID Ponto	Desvio padrão Lat (m)	Desvio padrão Lon (m)	Desvio pPadrão h (m)
AVM	0.011	0.012	0.027
CRHEA1	0.016	0.016	0.036
FED1	0.002	0.002	0.000
STTN	0.004	0.004	0.010
USP2	0.0044	0.005	0.019
WILD	0.0014	0.001	0.000

Adicionalmente podemos observar estes valores convertidos para coordenadas planas UTM (Tabela 10) e coordenadas cartesianas (Tabela 11) com os respectivos desvios padrões (Tabela 12), bem como a precisão final planimétrica e altimétrica (Tabela 13).

Tabela 10 - Coordenadas UTM ajustadas dos marcos (WGS 84)

ID Ponto	Coor E (m)	Coor N (m)	Altura elipsoidal (m)
AVM	199978.762	7575387.859	812.658
CRHEA1	201049.026	7545453.221	726.973
FED1	202700.742	7566400.768	848.910
STTN	200660.866	7563787.055	823.531
USP2	197094.590	7564234.482	842.635
WILD	199779.109	7564833.359	842.350

Tabela 11 - Coordenadas cartesianas ajustadas dos marcos

ID Ponto	Coor X (m)	Coor Y (m)	Coor Z (m)
AVM	3969564.695	-4393768.947	-2364460.995
CRHEA1	3962354.381	-4385041.930	-2392174.384
FED1	3969216.502	-4389580.108	-2372852.062
STTN	3967005.745	-4390247.707	-2375228.535
USP2	3964508.555	-4392786.681	-2374758.110
WILD	3966645.167	-4391133.272	-2374250.686

Tabela 12 - Desvios das coordenadas cartesianas ajustadas dos marcos

ID Ponto	σ Coor X (m)	σ Coor Y (m)	σ Coor Z (m)
AVM	0.016	0.022	0.017
CRHEA1	0.025	0.0296	0.019
FED1	0.002	0.001	0.002
STTN	0.007	0.008	0.005
USP2	0.014	0.0135	0.009
WILD	0.001	0.001	0.001

Tabela 13 - Precisão final da posição dos marcos (m)

ID Ponto	Horizontal	Vertical	Hor + Vert
AVM	0.016	0.027	0.032
CRHEA1	0.023	0.036	0.042
FED1	0.003	0.000	0.003
STTN	0.005	0.010	0.011
USP2	0.007	0.019	0.020
WILD	0.0011	0.000	0.001

O relatório do processamento da rede GPS ajustada consta no Anexo 3. A Figura 51 mostra um esboço da rede com os pontos e vetores.

Figura 51 - Esboço da rede GPS ajustada

6.4.2 Medições com os receptores de navegação pessoal nos pontos de controle

Após o estabelecimento destes pontos de referência cada um deles foi ocupado pelos receptores de navegação pessoal em sessões de aproximadamente 1 hora para cada um dos modelos de receptores (Garmin Etrex Vista e Garmin 12 Map), ora com coleta de dados com o software ASYNC, ora com o software GRINGO (para fins de nomenclatura EA, EG, 12G e 12A).

As coletas com o receptor Garmin Etrex Vista apresentaram problemas, isto restringiu as coletas para este modelo de receptor. Estes problemas são apresentados no item 6.3.

No marco FED1 as coletas foram realizadas nos dias 09/03/2008 (semana GPS 1470, dia GPS069), 11/03/2008 (semana GPS1470, dia GPS 071) e 15/03/2008 (semana GPS 1470, dia GPS 075) conforme as Figuras 52 e 53.

Figura 52 - Tempo de rastreamento das sessões no marco FED1

(a)

(b)

Figura 53 - Coletas no marco FED1 com GPS Garmin: (a) 12 Map e (b) Etrex Vista

No marco USP2 as coletas foram realizadas no dia 16/03/2008 (semana GPS 1471, dia GPS 076) conforme as Figuras 54 e 55.

Figura 54 - Tempo de rastreio das sessões no marco USP2

(a)

(b)

Figura 55 - Coletas no marco USP2 com GPS Garmin: (a) 12 Map e (b) Etrex Vista

No marco CHREA/USP as coletas foram realizadas no dia 18/03/2008 (semana GPS 1471, dia GPS 078) conforme as Figuras 56 e 57.

Figura 56 - Tempo de rastreio das sessões no marco CHREA

(a)

(b)

Figura 57 - Coletas no marco CHREA com GPS Garmin: (a) 12 Map e (b) Etrex Vista

No marco AVM as coletas foram realizadas no dia 19/03/2008 (semana GPS 1471, dia GPS 079) conforme as Figuras 58 e 59.

Figura 58 - Tempo de rastreamento das sessões no marco AVM

(a)

(b)

Figura 59 - Coletas no marco AVM com GPS Garmin: (a) 12 Map e (b) Etrex Vista

6.3 Parâmetros dos processamentos

Todos os levantamentos foram realizados para a determinação de ponto estático. Para os processamentos o ponto de referência utilizado foi o ponto STTN cujas coordenadas são as ajustadas pela rede estabelecida. Adicionalmente, estas mesmas sessões puderam ser processadas tendo como referência o ponto STTG (base com o receptor Garmin 12 Map) já que o mesmo estava coletando dados conjuntamente com o receptor Novatel Pro-Pack por meio do *splitter* de antena.

Foram utilizados os softwares Leica Geo Office e P4 para os processamentos. Todos os pontos foram calculados no sistema de referência WGS84. A máscara de elevação para os satélites foi de 15°, conforme o preconizado pela norma do INCRA. Não foram utilizados modelos troposféricos e ionosféricos por tratar-se de bases curtas e também não foi realizada a exclusão de nenhum satélite ou período de coleta tendo-se observado o mínimo de 6 satélites.

Os resultados dos processamentos foram comparados com as coordenadas determinadas para cada marco conforme a Tabela 8 apresentada na sessão 5.4.1.

7 Processamentos, Análises e Resultados

7.1 Testes de comunicação

Inicialmente foram realizados testes para verificar a comunicação entre o receptor e os softwares de coleta de dados. Os receptores foram ajustados para utilizarem o protocolo de comunicação da Garmin, já que possuem a possibilidade de utilizar outros tipos de protocolos. A taxa de transmissão de dados também foi ajustada de acordo com as especificações de cada aparelho e dos softwares ASYNC e GRINGO. O Firmware para cada tipo de receptor testado consta da Tabela 14.

Tabela 14 - Lista de Firmware testado para cada modelo de receptor

Receptor	Firmware testados
Etrex Vista	3.60 e 3.70
Etrex H	2.80
G12 Map	2.05
60 Map Csx	2.5

Os modelos Etrex Vista e G12 Map comunicaram-se com os dois softwares testados sem nenhum tipo de problema. Entretanto, os modelos Etrex H e 60 Map Csx apresentaram problemas, apesar de estabelecerem comunicação com os softwares ambos não gravaram os dados das observáveis GPS.

Os modelos Etrex H e 60 Map Csx são lançamentos recentes da Garmin e utilizam uma nova versão de protocolo de comunicação. Esta empresa informa na sua publicação das características do seu protocolo de comunicação que a parte não documentada do protocolo pode ser alterada a qualquer momento e sem nenhum tipo de aviso prévio. Recentemente o protocolo sofreu alterações e inviabilizou a gravação das observáveis GPS com os seus receptores.

Havia uma grande expectativa quanto à utilização destes modelos, pois utilizam um novo tipo de *chipset* com tecnologia de alta sensibilidade para o rastreo e *lock* com os

satélites. Infelizmente pelos problemas apresentados que inviabilizaram a gravação das observáveis não foi possível realizar testes com estes receptores.

7.2 Particularidades dos arquivos gravados

A seguir são apresentadas algumas particularidades que foram verificadas na gravação dos arquivos RINEX com auxílio dos softwares GRINGO e ASYNC.

O arquivo RINEX gerado a partir da coleta pelo software ASYNC pode ser visualizado na Figura 60.

```

      2              OBSERVATION FILE      GPS NAVSTAR      RINEX VERSION / TYPE
GAR2RNX 1.48      Any GPS12 Owner      Sat Nov 17 08:24:57 PGM / RUN BY / DATE
** gar2rnx (Garmin to Rinex) generates Rinex2 files      COMMENT
** from a GPS12 (or XL) (Copyright Antonio Tabernero)      COMMENT
** Generated from G12 data file: 14nov07sttg1.g12      COMMENT
** options:      COMMENT
STTG1      MARKER NAME
Number of Antenna marker      MARKER NUMBER
Your name here      Your boss here      OBSERVER / AGENCY
129      GPS 12 Map Softwar 2.05      REC # / TYPE / VERS
0      GPS12 Internal Antenna      ANT # / TYPE
** Position from first 3D fix of the receiver      COMMENT
3966997.0645 -4390246.0217 -2375228.2078      APPROX POSITION XYZ
      0.0000      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
      1      0      WAVELENGTH FACT L1/2
      2      C1      L1      # / TYPES OF OBSERV
2007      11      14      12      40      26.003837      GPS      TIME OF FIRST OBS
      1      INTERVAL
      END OF HEADER

07 11 14 12 40 26.0038366 0 7G 1G 3G14G16G19G22G31
21224192.947 8 5755892.176 8
22151846.619 8 6243250.551 8
22105500.497 8 6317051.644 8
26676294.199 5 6035415.139 5
22102828.354 7 5781269.102 7
23796352.664 8 6351293.897 8
24558715.336 6 5308315.944 6

..... Épocas suprimidas .....

07 11 14 19 37 5.3912151 0 9G 4G 8G13G19G20G23G25G27G28
141033826.366 7 230646921.207 7
138823064.798 8 165374420.698 8
138568010.154 8 434895624.193 8
142141298.282 6 37142733.507 6
140299879.373 7 602853661.586 7
139608492.536 8 540136182.820 8
138136256.490 8 351356350.439 8
137916226.066 8 246876159.671 8
140560372.307 7 62939794.243 7

```

Figura 60 - Exemplo de arquivo RINEX gerado com o software ASYNC

Pode-se observar na Figura 60 que os dados gravados de pseudodistância e fase da portadora não são corrigidos do erro do relógio sendo os mesmos acumulados a cada época.

Aproveitando a coleta da sessão STTG1_318 da base zero, com o receptor G12 Map com o software ASYNC conjuntamente com o receptor Pro-pack pôde-se comparar as medidas de pseudodistância (Gráfico 1) e fase da portadora (Gráfico 2).

Gráfico 1 - Pseudodistância ao longo do tempo G12 Map ASYNC

Gráfico 2 - Fase da Portadora ao longo do tempo G12 Map ASYNC

Verifica-se pelos Gráficos 1 e 2 que ambas as medidas tem seu valor acumulado em função da não correção do erro do relógio, o que não acontece para o arquivo gerado a partir das coletas com o receptor da Novatel. Este efeito só é minimizado com a reinicialização (desliga/liga) do receptor a cada nova sessão contínua.

O arquivo RINEX gerados a partir de coleta pelo software GRINGO pode ser visualizado na Figura 61.

```

      2.10      OBSERVATION DATA      GPS      RINEX VERSION / TYPE
GRINGO [2.0.0] My Agency      12-dez-07 23:47:41 PGM / RUN BY / DATE
STTG1      MARKER NAME
My Name      My Agency      2.05      OBSERVER / AGENCY
00000000      GPS 12 Map      REC # / TYPE / VERS
00000000      My Antenna      ANT # / TYPE
      3966496.5754 -4389678.6135 -2374920.1588 APPROX POSITION XYZ
      0.0000      0.0000      0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
      1      0      WAVELENGTH FACT L1/2
      2      C1      L1      # / TYPES OF OBSERV
      2007      12      14      17      51      13.00000000 TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER
      07 12 14 17 51 13.00000000 0 6 13 25 4 23 8 28      -0.004822234
      21197804.373 7 111395213.910 7
      21026957.535 7 110497407.630 7
      24050354.580 6 126385465.881 6
      22613816.140 7 118836405.988 7
      21446990.208 7 112704694.035 7
      22615110.863 6 118843210.184 6
..... Épocas suprimidas .....
      07 12 14 22 51 15.9255171 0 10 10 12 4 15 9 17 8 26 2 28      -0.356779402
      3084432.440 5 16208268.589 5
      2285419.510 6 12010702.860 6
      590157.849 7 3101556.873 7
      -1062589.168 8 -5583910.411 8
      1736616.135 7 9126089.891 7
      -852611.090 7 -4480328.121 7
      1453336.300 7 7637722.361 7
      -1619426.181 7 -8509992.122 7
      1135656.049 7 5968125.295 7
      1392295.267 7 7316586.294 7

```

Figura 61 - Exemplo de arquivo RINEX gerado com o software GRINGO

Pode-se observar na Figura 61 que, diferentemente do software ASYNC, o software GRINGO armazena o valor de *clock off-set*, porém este também vai acumulando a cada época, assim, os dados gravados de pseudodistância e fase da portadora quando corrigidos do erro do relógio sofre um efeito contrário ao que ocorre nas medidas com o software ASYNC.

Aproveitando a coleta da sessão STTG1_348 da Base Zero, com o receptor G12 Map com o software GRINGO conjuntamente com o receptor Pro-pack pôde-se comparar as medidas de pseudodistância (Gráfico 3) e fase da portadora (Gráfico 4).

Gráfico 3 - Pseudodistância ao longo do tempo G12 Map GRINGO

Gráfico 4 - Fase da Portadora ao longo do tempo G12 Map GRINGO

Verifica-se pelos Gráficos 3 e 4 que ambas as medidas tem seu valor decrescendo a cada época, o que não acontece para o arquivo gerado a partir das coletas com o receptor da Novatel. Assim como no caso do software ASYNC, este efeito só é minimizado com a reinicialização (desliga/liga) do receptor a cada nova sessão contínua.

7.3 Testes dos receptores disponíveis

Algumas sessões de coletas foram realizadas para a verificação dos seis receptores disponíveis (três Etrex Vista e três G12 map).

Todos os três receptores Etrex Vista disponíveis apresentaram problemas na gravação de dados em virtude de apresentarem falhas como será visto a seguir.

Uma particularidade que o software ASYNC apresenta é a de rejeitar a gravação de dados quando superado um limite de 50 falhas de leitura dos dados. Os receptores Etrex Vista com coletas superiores a 300 épocas apresentaram falhas superiores a este limite. Ocorre que quando superado o limite de falhas o software ASYNC encerra a sessão sem a gravação de nenhum dado. Este tipo de erro pode ser visualizado na Figura 62.

```
C:\mestrado>async -p com4 -rinex -t 1800 -o etrexglauco30.g12
* Async Software to log raw GPS data from some Garmin handhelds *
* Version 1.21. Copyright 2000,2001 Antonio Tabernero Galan *
-----
Serial port: com4. Command: Log async events for Rinex.
Log-time 1800 sec. Output binary file etrexglauco30.g12
-----
Position : Lat -22.0050 Long -47.8992
Civil Date: 14/03/2008 19:34:17
GPS Time : GPS Week 1470 ToW 502470 sec. Garmin Weekdays 6643
Product ID: 169 ("eTrex Vista Software Version 3.70"). Firmware 3.70
-----
Waiting for a 3D fix (10 secs at most)
06 secs: 5 packets with 0x33 ID received. 5 with a 3D fix
-----
Comm Stats: Chars 476906 (4.9 Kbit/s): 17217 OK records. 50 failed reads
Too many failed packets. Closing connection now
-----
Serial Comm Error 2048 -> 0x00000800:
C:\mestrado>
```

Figura 62 - Erro na coleta com o software ASYNC

Outro problema apresentado pelos três receptores Etrex Vista, tanto para coletas com o software ASYNC (para as sessões que não foram encerradas) como para as coletas com o software GRINGO, foi que várias épocas foram gravadas com apenas um satélite tendo os outros satélites disponíveis como que não visíveis para o receptor, como pode ser visto na Figura 63.

```

20442344,78 5 67001290,033 5
08 03 18 17 26 29,9951476 Q 8 15 17 4 9 2 28 12 5 -0,059793604
20827725,306 6 132450664,413 6
21390957,723 7 115563305,707 7
20509056,430 7 117775882,975 7
20558198,193 9 138034061,042 9
20037015,437 8 135295240,613 8
23510642,535 5 124074121,075 6
21393324,247 9 115575710,369 9
23087547,530 7 121325855,934 7
08 03 18 17 26 30,9951437 0 26 -0,059813154
20440170,552 4 66985825,280 4
08 03 18 17 26 31,9951396 0 26 0,059834705
20439445,399 4 66985817,820 4
08 03 18 17 26 32,9951359 0 26 -0,059854255
20438720,100 5 66982203,475 5
08 03 18 17 26 33,9951320 0 9 26 15 17 4 9 2 28 12 5 -0,059873805
20437934,358 5 66978394,187 5
20824569,540 7 119474062,333 7
21388436,824 7 115550311,274 7
20503811,385 7 137748276,551 7

```

Figura 63 - Problema na coleta com o receptor Etrex Vista

Outro tipo de problema apresentado para os três receptores Etrex Vista, apenas para as coletas com o software GRINGO, é que em dado momento os valores das observáveis assumem os caracteres ##### sem valor significativo. Pode-se aproveitar apenas a parte do arquivo gravado que antecede este ponto. Este tipo de erro pode ser observado na Figura 64.

```

20590011,001 0 127119003,040 0
24825215,058 5 -11328793,402 5
08 03 18 16 40 27,9979509 0 8 26 17 4 9 2 8 12 5 -0,015058356
20211230,190 6 6016800,296 6
21245424,742 8 111550589,341 8
21935057,459 9 115269493,330 9
22883328,036 9 120252721,176 9
22260111,843 7 11697716,504 7
23714055,547 8 124518172,969 8
23688968,847 8 124486390,237 8
24023562,859 5 -11337445,726 5
08 03 18 18 00 46,1389390 0 1 5 #####
##### 5 ##### 5
08 03 18 19 00 26,8059589 0 9 15 17 4 9 2 8 28 12 5 #####
##### 3 ##### 3
##### 8 ##### 8
##### 9 ##### 9
##### 9 ##### 9
##### 7 ##### 7
##### 8 ##### 8
##### 5 ##### 5
##### 8 ##### 8
##### 6 ##### 6
08 03 18 19 00 27,8059550 0 9 26 17 4 9 2 8 28 12 5 #####

```

Figura 64 - Problema apresentado na coleta com o receptor Etrex Vista com o software GRINGO

Como todos os receptores disponíveis do modelo Etrex Vista apresentaram os mesmos tipos de erros, optou-se em utilizá-los assim mesmo, sabendo-se, entretanto, que o tempo de rastreo seria prejudicado.

Dos três receptores G12 Map disponíveis verificou-se que um deles, nomeado por STTG2, apresentou problema na gravação dos dados. Este erro foi detectado tanto para as coletas com o software ASYNC quanto com o software GRINGO.

Enquanto os outros dois receptores G12 Map gravaram praticamente 100% das épocas, o receptor STTG2 gravou apenas algo em torno de 60 a 70 % das épocas. Esta comparação pode ser visualizada na Figura 65.

Figura 65 - Comparação das coletas com o receptor G12 Map STTG2

Apesar desta restrição optou-se pela utilização deste receptor nos testes com a base zero a fim de permitir a comparação entre eles.

Aproveitando a coleta da sessão STTG1_318 da base zero, com o receptor G12 Map com o software ASYNC conjuntamente com o receptor Novatel Pro-pack pôde-se comparar os resíduos da derivada segunda das medidas de pseudodistância (Gráfico 5) e fase da portadora (Gráfico 6).

Gráfico 5 - Derivada segunda do código ao longo do tempo - G12 Map ASYNC

Gráfico 6 - Derivada segunda da fase ao longo do tempo - G12 Map ASYNC

Da mesma forma, aproveitando a coleta da sessão STTG1_348 da base zero, com o receptor G12 Map com o software GRINGO conjuntamente com o receptor Pro-pack pôde-se comparar os resíduos da derivada segunda das medidas de pseudodistância (Gráfico 7) e fase da portadora (Gráfico 8).

Gráfico 7 - Derivada segunda do código ao longo do tempo - G12 Map GRINGO

Gráfico 8 - Derivada segunda da fase ao longo do tempo - G12 Map GRINGO

Desta forma, por meio da análise dos Gráficos 5 a 8 procurou-se comparar a qualidade dos receptores de navegação em relação ao receptor geodésico.

7.4 Vantagens e possibilidades do armazenamento e uso dos dados das observáveis de código e fase

Inicialmente, dispondo dos dados de código para cada época foi possível realizar uma análise da quantidade de satélites disponíveis durante a sessão de coleta (Figura 66) e a qualidade em função da geometria dos mesmos (Figura 67). Os receptores de navegação

pessoal informam estas propriedades para cada época de forma instantânea, mas não permitem a sua armazenagem para posterior análise.

Figura 66 - Número de satélites disponíveis

Figura 67 - Qualidade da geometria dos satélites

Além disso, a solução de navegação para cada época não é armazenada nos receptores de navegação pessoal, apenas informada na tela do receptor. Assim, outra vantagem é a verificação da solução de navegação para um determinado período de tempo podendo-se calcular a média das soluções, sem nenhum tipo de pós-processamento. Na Figura 68 estão plotadas as soluções de navegação para cada uma das épocas.

Figura 68 - Solução de navegação

Adicionalmente, dispondo-se dos dados da fase, é possível suavizar o código, já que a medida de fase possui um ruído menor que a medida do código. Com o código suavizado é possível melhorar a solução de navegação, como se pode observar na Figura 69. Observa-se uma redução considerável no espalhamento das soluções do posicionamento.

Figura 69 - Solução de navegação com o código suavizado

Ainda que a média das diversas soluções de navegação seja uma vantagem em relação a uma solução instantânea, o grande avanço e melhora na qualidade das coordenadas se dá com a possibilidade do pós-processamento dos dados de código e fase armazenados. Assim é possível calcular as duplas diferenças, de código ou fase, e obter uma solução relativa (vetor) para uma base partindo-se de uma estação com coordenadas conhecidas.

Para a solução relativa pode-se utilizar o código, o código suavizado pela fase, ou a fase. O processamento usando-se a fase pode obter uma solução de números reais para a ambigüidade da fase (solução *float*) ou uma solução de números inteiros para esta ambigüidade (solução fixa). Nas Figuras de 70 a 75 mostram-se os resultados obtidos para as soluções relativas.

Figura 70 - Solução relativa com o código

Figura 71 - Solução relativa com o código suavizado

Figura 72 - Solução relativa com a fase – solução *float*

Figura 73 - Resíduos da dupla diferença da fase da solução *float*

Figura 74 - Solução relativa com a fase – solução fixa

Figura 75 - Resíduos da dupla diferença da fase da solução fixa

As Tabelas 15 e 16 apresentam os resultados dos processamentos e as diferenças obtidas com a comparação da coordenada conhecida da estação STTN, nestes processamentos foi utilizado o software P4 que acompanha o software GRINGO.

Tabela 15 - Coordenadas processadas da estação STTG1 (cartesianas) e diferenças encontradas

	X (m)	Y (m)	Z (m)	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	Erro 3D (m)
Média Navegação	3967017.369	-4390256.857	-2375234.318	11.624	-9.150	-5.782	15.883
Média Navegação código suavizado	3967017.296	-4390256.750	-2375234.254	11.551	-9.043	-5.718	15.745
Relativo código	3967006.820	-4390248.813	-2375229.021	1.075	-1.106	-0.485	1.617
Relativo código suavizado	3967006.766	-4390248.781	-2375229.104	1.021	-1.074	-0.568	1.587
Relativo Fase - Float	3967005.743	-4390247.714	-2375228.538	-0.002	-0.007	-0.002	0.008
Relativo Fase - Fixo	3967005.748	-4390247.704	-2375228.538	0.003	0.003	-0.002	0.005

Tabela 16 - Coordenadas processadas da estação STTG1 (UTM) e diferenças encontradas

	E (m)	N (m)	H (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔH (m)	DP (m)*	Erro 3D (m)
Média Navegação	200663.355	7563787.204	839.217	2.489	0.149	15.686	2.493	15.883
Média Navegação código suavizado	200663.372	7563787.217	839.075	2.506	0.162	15.544	2.511	15.746
Relativo código	200660.920	7563787.184	825.142	0.054	0.129	1.611	0.140	1.617
Relativo código suavizado	200660.903	7563787.084	825.117	0.037	0.029	1.586	0.047	1.587
Relativo Fase - Float	200660.860	7563787.054	823.535	-0.006	-0.001	0.004	0.006	0.007
Relativo Fase - Fixo	200660.870	7563787.053	823.532	0.004	-0.002	0.001	0.004	0.005

* Diferença em planimetria

7.5 Resultados dos processamentos da base zero

Para os processamentos seguintes optou-se em utilizar o software LGO por sua interface facilitar o processamento simultâneo de vários pontos em uma única sessão de processamento. Isto agilizou os procedimentos para os processamentos e diminuiu o tempo necessário para esta fase. Entretanto ressalta-se que também poderiam ser utilizados outros softwares ou mesmo o software P4 que acompanha o pacote GRINGO.

As Tabelas 17 e 18 apresentam os resultados dos processamentos da base zero com coletas realizadas com o software GRINGO e ASYNC para as coletas de longa duração.

Tabela 17 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Longa Duração – Arquivos totais.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG1	4h 58' 33"	Fase Fixa	0,014	0,006	0,010	0,019	0,000	0,000	0,000
STTN	STTG2	4h 58' 59"	Float	-0,780	1,165	1,186	1,836	0,001	0,001	0,000
STTN	STTG3	5h 00' 03"	Float	0,131	-0,005	0,025	0,134	0,000	0,000	0,000

* Valores em metros

Tabela 18 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Longa Duração – Arquivos totais.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG1	5h 00' 01"	Float	0,003	0,001	-0,001	0,003	0,000	0,000	0,000
STTN	STTG2	4h 59' 42"	Float	1,240	-5,558	-5,847	8,162	0,001	0,001	0,001
STTN	STTG3	4h 58' 47"	Fase Fixa	0,084	0,036	0,007	0,092	0,000	0,001	0,000

* Valores em metros

Estes arquivos foram segmentados e então processados como arquivos independentes, os resultados são apresentados nas Tabelas 19 a 24.

Tabela 19 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Longa Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG1.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG1A	31' 09"	<i>Float</i>	-0,020	-0,001	0,003	0,020	0,009	0,002	0,001
STTN	STTG1B	59' 59"	Fase Fixa	0,005	0,001	-0,004	0,007	0,000	0,000	0,000
STTN	STTG1C	59' 59"	<i>Float</i>	-0,003	0,002	-0,002	0,004	0,003	0,001	0,001
STTN	STTG1D	59' 59"	<i>Float</i>	-0,002	-0,003	-0,003	0,005	0,003	0,001	0,001
STTN	STTG1E	59' 59"	<i>Float</i>	-0,009	-0,009	-0,002	0,013	0,001	0,001	0,001
STTN	STTG1F	27' 23"	Fase Fixa	-0,662	-0,559	-0,064	0,869	0,001	0,000	0,000

* Valores em metros

Tabela 20 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Longa Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG2.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG2A	1h 12' 42"	<i>Float</i>	-0,790	1,166	1,188	1,843	0,001	0,001	0,001
STTN	STTG2B	59' 55"	<i>Float</i>	1,654	0,666	1,670	2,443	0,001	0,002	0,001
STTN	STTG2C	59' 55"	Fase Fixa	-0,184	-0,222	1,074	1,112	0,005	0,005	0,003
STTN	STTG2D	59' 55"	<i>Float</i>	-1,722	2,710	0,393	3,235	0,003	0,003	0,001
STTN	STTG2E	46' 12"	<i>Float</i>	1,409	1,253	1,060	2,163	0,002	0,003	0,002

* Valores em metros

Tabela 21 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Longa Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG3.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG3A	1h 08' 46"	<i>Float</i>	-0,003	-0,006	-0,001	0,007	0,005	0,002	0,001
STTN	STTG3B	59' 59"	<i>Float</i>	-0,001	-0,009	-0,003	0,010	0,001	0,002	0,000
STTN	STTG3C	59' 59"	<i>Float</i>	0,001	0,002	-0,002	0,003	0,003	0,001	0,001
STTN	STTG3D	59' 59"	<i>Float</i>	-0,006	-0,006	-0,002	0,008	0,003	0,001	0,001
STTN	STTG3E	51' 16"	<i>Float</i>	-0,022	-0,013	0,002	0,026	0,002	0,001	0,001

* Valores em metros

Tabela 22 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Longa Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG1.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG1A	1h 19' 33"	Fase Fixa	0,008	-0,005	-0,004	0,010	0,000	0,000	0,000
STTN	STTG1B	59' 59"	Fase Fixa	0,025	0,005	-0,042	0,049	0,001	0,002	0,001
STTN	STTG1C	59' 59"	<i>Float</i>	-0,003	0,063	0,008	0,064	0,001	0,002	0,001
STTN	STTG1D	59' 59"	<i>Float</i>	0,120	0,117	-0,041	0,172	0,002	0,003	0,001
STTN	STTG1E	40' 27"	<i>Float</i>	0,005	-0,004	-0,001	0,007	0,006	0,003	0,002

* Valores em metros

Tabela 23 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Longa Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG2.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG2A	35' 04"	<i>Float</i>	1,267	-5,571	-5,861	8,185	0,002	0,002	0,002
STTN	STTG2B	59' 56"	<i>Float</i>	-3,28	4,009	4,061	6,582	0,002	0,002	0,001
STTN	STTG2C	59' 55"	<i>Float</i>	1,307	-2,115	-0,845	2,626	0,003	0,003	0,001
STTN	STTG2D	59' 55"	<i>Float</i>	-3,359	0,741	-0,401	3,463	0,002	0,002	0,001
STTN	STTG2E	59' 55"	<i>Float</i>	1,22	-0,781	-0,522	1,54	0,002	0,001	0,001
STTN	STTG2F	24' 36"	<i>Float</i>	-1,497	3,326	-1,42	3,914	0,002	0,002	0,001

* Valores em metros

Tabela 24 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Longa Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG3.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG3A	43' 02"	<i>Float</i>	-0,016	-0,007	0,001	0,017	0,001	0,001	0,000
STTN	STTG3B	59' 59"	<i>Float</i>	-0,007	-0,006	0,000	0,010	0,001	0,001	0,000
STTN	STTG3C	59' 59"	<i>Float</i>	0,015	0,007	-0,008	0,018	0,005	0,003	0,002
STTN	STTG3D	59' 59"	Fase Fixa	-0,084	-0,046	0,062	0,114	0,001	0,001	0,001
STTN	STTG3E	59' 59"	<i>Float</i>	0,001	0,021	0,009	0,023	0,002	0,005	0,002

* Valores em metros

As Tabelas 25 e 26 apresentam os resultados dos processamentos da base zero com coletas realizadas com o software GRINGO e ASYNC para as coletas de curta duração.

Tabela 25 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Curta Duração – Arquivos totais.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG1	30' 01"	<i>Float</i>	0,007	-0,010	-0,006	0,014	0,004	0,006	0,002
STTN	STTG2	30' 00"	<i>Float</i>	3,832	-3,016	-2,598	5,525	0,003	0,004	0,002
STTN	STTG3	30' 44"	<i>Float</i>	-0,071	-0,053	-0,005	0,089	0,001	0,001	0,001

* Valores em metros

Tabela 26 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Curta Duração – Arquivos totais.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG1	29' 58"	<i>Float</i>	0,004	0,023	0,004	0,024	0,002	0,004	0,001
STTN	STTG2	29' 54"	<i>Float</i>	0,812	-0,226	-0,652	1,066	0,002	0,002	0,002
STTN	STTG3	29' 58"	<i>Float</i>	-0,009	-0,031	-0,009	0,033	0,001	0,005	0,002

* Valores em metros

Estes arquivos foram segmentados e então processados como arquivos independentes, os resultados são apresentados nas Tabelas 27 a 32.

Tabela 27 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Curta Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG1.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG1A	10' 02"	<i>Float</i>	-0,12	-0,139	0,026	0,182	0,012	0,012	0,004
STTN	STTG1B	09' 59"	<i>Float</i>	0,113	0,254	0,044	0,281	0,016	0,026	0,01
STTN	STTG1C	09' 58"	<i>Float</i>	0,021	-0,043	-0,03	0,055	0,008	0,016	0,007

* Valores em metros

Tabela 28 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Curta Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG2.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG2A	10' 00"	#	#	#	#	#	#	#	#
STTN	STTG2B	09' 59"	<i>Float</i>	2,782	-1,34	-0,74	3,176	0,006	0,008	0,005
STTN	STTG2C	09' 59"	#	#	#	#	#	#	#	#

- Erro no processamento

* Valores em metros

Tabela 29 - Resultado processamento base zero com coleta usando software GRINGO – Curta Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG3.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG3A	10' 01"	<i>Float</i>	0,013	0,04	0,026	0,049	0,021	0,019	0,005
STTN	STTG3B	10' 00"	<i>Float</i>	-0,32	-0,317	-0,01	0,451	0,012	0,013	0,003
STTN	STTG3C	10' 41"	Fase Fixa	0,284	0,272	-0,08	0,401	0,004	0,004	0,003

* Valores em metros

Tabela 30 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Curta Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG1.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG1A	10' 00"	<i>Float</i>	-0,004	0,043	0,017	0,047	0,005	0,009	0,003
STTN	STTG1B	09' 50"	<i>Float</i>	0,017	0,112	0,006	0,113	0,01	0,021	0,006
STTN	STTG1C	10' 06"	<i>Float</i>	0,026	0,057	0,016	0,065	0,008	0,014	0,004

* Valores em metros

Tabela 31 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Curta Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG2.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG2A	10' 00''	#	#	#	#	#	#	#	#
STTN	STTG2B	09' 59''	<i>Float</i>	0,4	-0,467	-0,494	0,789	0,003	0,004	0,003
STTN	STTG2C	09' 53''	#	#	#	#	#	#	#	#

* Valores em metros

Tabela 32 - Resultado processamento base zero com coleta usando software ASYNC – Curta Duração – Arquivos divididos – Receptor STTG3.

Referência	Rover	Duração	Solução	Dx	Dy	Dz	Erro 3D	Sd Dx	Sd Dy	Sd Dz
STTN	STTG3A	09' 59"	<i>Float</i>	0,019	-0,191	-0,084	0,21	0,007	0,017	0,008
STTN	STTG3B	09' 59"	<i>Float</i>	-0,028	-0,118	-0,036	0,126	0,005	0,019	0,008
STTN	STTG3C	09' 58"	<i>Float</i>	-0,017	-0,067	-0,013	0,071	0,009	0,033	0,013

* Valores em metros

Como notação utilizou-se negrito para indicar resultados de vetores menores que 50 cm e tachado para maiores que este valor.

7.6 Análise dos resultados dos processamentos da base zero

Verifica-se dos resultados encontrados que o receptor denominado como STTG2 possivelmente apresenta algum defeito de hardware, já que os resultados do mesmo estão muito discrepantes dos demais. Desta forma seus valores foram desconsiderados nas análises.

Os resultados encontrados com os dados coletados com o software GRINGO tiveram maior espalhamento que os encontrados com os dados coletados com o software ASYNC. Considerando-se todos os processamentos realizados independentemente do tempo de coleta, ambos ficaram com vetores menores do que 50 centímetros sendo que o melhor resultado foi alcançado por ambos os softwares com valor de 3 milímetros e como pior resultado o software GRINGO alcançou 45,1 centímetros. No Gráfico 9 podemos verificar os vetores encontrados para cada um dos softwares.

Gráfico 9 - Resultados dos processamentos das bases zero coletadas com os Softwares ASYNC e GRINGO (Erro 3D)

Levando-se em conta os tempos de coleta para cada processamento, os melhores resultados foram alcançados com os dados coletados com o software GRINGO com período em torno de uma hora de rastreamento. Para períodos mais curtos, em torno de 10 minutos de rastreamento, os processamentos realizados com dados coletados com o software ASYNC

apresentaram melhores resultados. Esta análise pode ser melhor visualizada por meio do Gráfico 10.

Gráfico 10 - Resultados dos processamentos das bases zero coletadas com os softwares ASYNC e GRINGO em função dos tempos de coleta (Erro 3D)

A maioria dos resultados teve processamentos com solução do tipo *float*. Esporadicamente foi obtida solução fixa da ambigüidade. Pelo tempo de rastreo e característica da base era esperada solução fixa para todos os casos. Não existe uma razão explícita que justifique este problema, mas é possível acreditar que seja realmente em função das características dos aparelhos que não são construídos com esse objetivo de uso.

7.7 Resultados dos processamentos das bases variáveis

Para o processamento dos dados coletados nas bases variáveis também foi utilizado o software LGO. Os resultados encontrados nos processamentos dos dados coletados com o receptor ETREX, são apresentados nas Tabelas 33 a 36.

Tabela 33 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor ETREX, software GRINGO e processados em relação à base STTN

Ponto	Tempo	Solução	X	Y	Z	Sd X	Sd Y	Sd Z	Erro 3D
FED	59' 47"	<i>Float</i>	3969219,132	-4389586,699	-2372854,006	1,062	1,339	1,016	7,357
FED	30' 01"	<i>Float</i>	3969217,228	-4389581,795	-2372851,986	0,145	0,201	0,068	1,838
FED	29' 45"	Fase Fixa	3969210,839	-4389579,275	-2372852,833	0,002	0,003	0,002	5,776
USP	06' 13"	<i>Float</i>	3964504,404	-4392780,204	-2374755,702	1,548	2,367	1,175	8,062
USP	27' 28"	<i>Float</i>	3964507,481	-4392786,372	-2374756,456	2,004	3,543	2,063	1,997
USP	15' 04"	<i>Float</i>	3964504,629	-4392784,124	-2374761,517	1,135	1,351	1,195	5,793
AVM	10' 21"	<i>Float</i>	3969563,300	-4393768,645	-2364461,966	0,058	0,066	0,097	1,726
AVM	04' 27"	Código	3969567,989	-4393770,571	-2364462,593	0,266	0,327	0,241	4,005
CHREA	12' 57"	<i>Float</i>	3962358,289	-4385048,755	-2392172,701	0,040	0,029	0,044	8,042
CHREA	33' 08"	<i>Float</i>	3962357,700	-4385042,093	-2392175,217	2,575	3,208	1,848	3,426

* Valores em metros

Tabela 34 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor ETREX, software GRINGO e processados em relação à base STTG

Ponto	Tempo	Solução	X	Y	Z	Sd X	Sd Y	Sd Z	Erro 3D
FED	59' 48"	<i>Float</i>	3969224,010	-4389589,334	-2372862,189	0,997	1,153	1,103	15,621
FED	30' 01"	<i>Float</i>	3969217,767	-4389581,587	-2372851,804	0,170	0,230	0,080	1,963
FED	29' 46"	<i>Float</i>	3969222,620	-4389589,155	-2372858,938	1,344	1,583	1,416	12,905
USP	06' 13"	<i>Float</i>	3964502,900	-4392778,418	-2374754,963	1,759	2,690	1,335	10,497
USP	27' 28"	<i>Float</i>	3964507,171	-4392785,326	-2374755,728	1,922	3,397	1,978	3,071
USP	15' 04"	<i>Float</i>	3964505,664	-4392786,028	-2374761,351	0,933	1,112	0,983	4,392
AVM	10' 21"	Fase fixa	3969565,693	-4393767,997	-2364461,252	0,003	0,004	0,004	1,402
AVM	04' 27"	Código	3969568,252	-4393771,093	-2364461,620	0,282	0,342	0,260	4,201
CHREA	12' 57"	<i>Float</i>	3962359,784	-4385050,503	-2392172,174	0,004	0,005	0,002	10,371
CHREA	33' 08"	<i>Float</i>	3962360,387	-4385045,910	-2392177,799	1,895	2,338	1,386	7,973

* Valores em metros

Tabela 35 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor ETREX, software ASYNC e processados em relação à base STTN

Ponto	Tempo	Solução	X	Y	Z	Sd X	Sd Y	Sd Z	Erro 3D
FED	04' 54"	Código	3969214,501	-4389579,338	-2372851,013	0,228	0,320	0,240	2,387
FED	04' 29"	Código	3969215,092	-4389578,343	-2372850,734	0,216	0,307	0,199	2,621
USP	04' 58"	Código	3964505,763	-4392785,618	-2374759,786	0,175	0,219	0,175	3,426
USP	09' 58"	<i>Float</i>	3964509,976	-4392791,647	-2374761,585	1,522	1,932	1,346	6,225
AVM	09' 57"	<i>Float</i>	3969570,683	-4393774,121	-2364466,443	2,027	2,219	1,964	9,608
AVM	09' 57"	<i>Float</i>	3969565,392	-4393768,377	-2364460,588	0,011	0,021	0,035	0,988
AVM	14' 58"	<i>Float</i>	3969569,764	-4393775,532	-2364460,722	2,696	2,332	2,247	8,315
CHREA	09' 57"	<i>Float</i>	3962352,628	-4385038,791	-2392170,990	1,784	2,540	1,292	4,945
CHREA	09' 58"	<i>Float</i>	3962354,463	-4385038,431	-2392171,849	0,915	1,381	0,767	4,322

* Valores em metros

Tabela 36 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor ETREX, software ASYNC e processados em relação à base STTG

Ponto	Tempo	Solução	X	Y	Z	Sd X	Sd Y	Sd Z	Erro 3D
FED	04' 54"	Código	3969214,232	-4389579,900	-2372850,257	0,260	0,368	0,278	2,908
FED	04' 29"	Código	3969214,548	-4389577,214	-2372850,715	0,234	0,330	0,216	3,743
USP	04' 58"	Código	3964504,636	-4392785,536	-2374759,955	0,215	0,283	0,229	4,481
USP	09' 58"	Float	3964509,564	-4392792,656	-2374763,381	1,538	2,135	1,511	8,031
AVM	09' 57"	Float	3969569,543	-4393774,190	-2364463,457	2,660	2,912	2,577	7,553
AVM	09' 57"	Float	3969566,028	-4393768,712	-2364461,407	0,011	0,022	0,036	1,415
AVM	14' 58"	Float	3969568,565	-4393774,223	-2364461,946	3,249	2,811	2,708	6,612
CHREA	09' 57"	Float	3962353,541	-4385037,878	-2392172,733	2,339	3,331	1,694	4,456
CHREA	09' 58"	Float	3962356,056	-4385041,451	-2392171,005	2,927	4,417	2,454	3,802

* Valores em metros

Os resultados encontrados nos processamentos dos dados coletados com o receptor G12

MAP, são apresentados nas Tabelas 37 a 40.

Tabela 37 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor G12 MAP, software GRINGO e processados em relação à base STTN

Ponto	Tempo	Solução	X	Y	Z	Sd X	Sd Y	Sd Z	Erro 3D
FED	1h 00' 01"	Float	3969216,548	-4389579,988	-2372852,002	0,001	0,002	0,001	0,142
FED	29' 59"	Float	3969216,563	-4389579,900	-2372851,943	0,002	0,003	0,001	0,248
FED	30' 01"	Float	3969216,528	-4389580,369	-2372852,128	0,001	0,003	0,001	0,270
USP	1h 00' 30"	Float	3964508,535	-4392786,700	-2374758,115	0,001	0,001	0,000	0,028
USP	30' 01"	Float	3964508,476	-4392786,639	-2374758,123	0,003	0,003	0,001	0,091
USP	30' 28"	Float	3964508,491	-4392786,656	-2374758,134	0,003	0,003	0,001	0,073
AVM	1h 00' 02"	Fase Fixa	3969564,838	-4393769,068	-2364461,095	0,001	0,000	0,000	0,212
AVM	30' 01"	Fase Fixa	3969564,784	-4393769,040	-2364461,055	0,001	0,001	0,000	0,142
AVM	30' 00"	Fase Fixa	3969564,921	-4393769,092	-2364461,121	0,002	0,001	0,001	0,297
CHREA	1h 00' 09"	Float	3962354,509	-4385041,866	-2392174,395	0,002	0,001	0,000	0,144
CHREA	30' 02"	Float	3962354,386	-4385041,872	-2392174,419	0,004	0,002	0,001	0,068
CHREA	30' 06"	Float	3962354,619	-4385041,854	-2392174,385	0,006	0,002	0,002	0,250
CHREA	1h 00' 02"	Float	3962354,346	-4385042,112	-2392174,403	0,001	0,002	0,001	0,186

* Valores em metros

Tabela 38 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor G12 MAP, software GRINGO e processados em relação à base STTG

Ponto	Tempo	Solução	X	Y	Z	Sd X	Sd Y	Sd Z	Erro 3D
FED	1h 00' 01"	Float	3969216,565	-4389579,949	-2372851,990	0,001	0,005	0,002	0,186
FED	30' 00"	Float	3969216,601	-4389579,914	-2372851,952	0,003	0,008	0,004	0,244
FED	30' 00"	Float	3969216,531	-4389580,781	-2372852,279	0,002	0,011	0,004	0,707
USP	1h 00' 30"	Float	3964508,546	-4392786,703	-2374758,118	0,001	0,002	0,001	0,025
USP	30' 01"	Float	3964508,528	-4392786,701	-2374758,129	0,004	0,005	0,001	0,039
USP	30' 28"	Fase Fixa	3964508,332	-4392786,530	-2374758,106	0,002	0,001	0,000	0,270
AVM	1h 00' 02"	Float	3969564,897	-4393769,047	-2364461,070	0,030	0,033	0,014	0,238
AVM	30' 01"	Float	3969564,812	-4393769,055	-2364461,052	0,019	0,013	0,002	0,169
AVM	30' 00"	Float	3969564,897	-4393769,047	-2364461,070	0,030	0,033	0,014	0,238
CHREA	1h 00' 09"	Float	3962354,499	-4385041,868	-2392174,388	0,012	0,003	0,003	0,133
CHREA	30' 02"	Float	3962354,616	-4385041,810	-2392174,485	0,015	0,005	0,004	0,283
CHREA	30' 06"	Float	3962354,436	-4385041,894	-2392174,320	0,023	0,005	0,007	0,092
CHREA	1h 00' 02"	Float	3962354,473	-4385041,361	-2392174,347	0,001	0,002	0,001	0,578

* Valores em metros

Tabela - 39 Resultado processamento base variável com coleta usando receptor G12 MAP, software ASYNC e processados em relação à base STTN

Ponto	Tempo	Solução	X	Y	Z	Sd X	Sd Y	Sd Z	Erro 3D
FED	59' 58"	Float	3969216,993	-4389579,620	-2372852,084	0,001	0,002	0,001	0,693
FED	30' 00"	Float	3969217,075	-4389579,637	-2372852,040	0,002	0,004	0,002	0,742
FED	29' 57"	Float	3969216,560	-4389580,078	-2372852,043	0,003	0,003	0,001	0,068
FED	15' 02"	Float	3969216,558	-4389580,037	-2372852,075	0,003	0,006	0,002	0,092
FED	14' 57"	Float	3969216,662	-4389579,950	-2372852,086	0,004	0,007	0,002	0,226
USP	59' 57"	Fase Fixa	3964508,476	-4392786,802	-2374758,106	0,000	0,001	0,000	0,144
USP	30' 00"	Fase Fixa	3964508,465	-4392786,780	-2374758,093	0,001	0,001	0,000	0,135
USP	29' 56"	Float	3964508,563	-4392786,696	-2374758,107	0,005	0,002	0,001	0,017
AVM	59' 57"	Float	3969564,884	-4393769,004	-2364461,066	0,002	0,001	0,001	0,210
AVM	30' 00"	Float	3969564,902	-4393769,056	-2364461,027	0,004	0,003	0,001	0,236
AVM	29' 56"	Float	3969564,654	-4393769,084	-2364461,038	0,004	0,002	0,001	0,149
CHREA	59' 58"	Fase Fixa	3962354,865	-4385041,972	-2392174,540	0,001	0,001	0,001	0,510
CHREA	30' 00"	Fase Fixa	3962354,900	-4385042,021	-2392174,613	0,001	0,000	0,001	0,574
CHREA	29' 57"	Float	3962354,667	-4385041,994	-2392174,563	0,004	0,003	0,002	0,343

* Valores em metros

Tabela 40 - Resultado processamento base variável com coleta usando receptor G12 MAP, software ASYNC e processados em relação à base STTG

Ponto	Tempo	Solução	X	Y	Z	Sd X	Sd Y	Sd Z	Erro 3D
FED	59' 58"	Fase Fixa	3969216,094	-4389580,900	-2372852,074	0,001	0,002	0,001	0,891
FED	30' 00"	Fase Fixa	3969216,093	-4389580,902	-2372852,086	0,001	0,002	0,001	0,893
FED	29' 57"	Float	3969216,555	-4389580,113	-2372852,057	0,008	0,011	0,003	0,053
FED	15' 02"	Float	3969216,546	-4389579,992	-2372852,080	0,005	0,009	0,003	0,126
FED	14' 57"	Float	3969216,650	-4389579,639	-2372852,190	0,007	0,016	0,005	0,508
USP	59' 57"	Fase Fixa	3964508,566	-4392786,857	-2374758,124	0,001	0,001	0,001	0,176
USP	30' 00"	Float	3964508,644	-4392786,643	-2374758,149	0,008	0,004	0,003	0,104
USP	29' 56"	Float	3964508,729	-4392786,654	-2374758,149	0,020	0,005	0,006	0,180
AVM	59' 57"	Fase Fixa	3969564,816	-4393769,039	-2364461,065	0,001	0,001	0,001	0,167
AVM	30' 00"	Float	3969564,946	-4393769,024	-2364461,162	0,015	0,008	0,005	0,311
AVM	29' 56"	Float	3969565,064	-4393768,962	-2364461,158	0,022	0,008	0,007	0,404
CHREA	59' 58"	Fase Fixa	3962354,734	-4385041,822	-2392174,453	0,001	0,001	0,001	0,375
CHREA	30' 00"	Float	3962354,762	-4385042,027	-2392174,540	0,016	0,004	0,006	0,423
CHREA	29' 57"	Float	3962354,075	-4385041,942	-2392174,307	0,011	0,005	0,005	0,316

* Valores em metros

Como notação utilizou-se negrito para indicar resultados de vetores menores que 50 cm e ~~tachado~~ para maiores que este valor.

7.8 Análise dos resultados dos processamentos das bases variáveis

Verifica-se por meio dos resultados encontrados que o receptor ETREX VISTA não apresentou resultados satisfatórios, já que os resultados do mesmo são de acurácias superiores a 1 metro. Estes resultados diferem em muito dos encontrados por SCHWIEGER, 2005. O

fato deste receptor não possuir conexão para uso de antena externa pode ter contribuído para estes resultados insatisfatórios. Desta forma não serão realizadas análises pormenorizadas a respeito das coletas com este receptor.

Já os resultados encontrados utilizando-se o receptor G12 MAP ficaram menores que 1 metro de acurácia, o que é um fato considerável. Assim, as análises que se seguem dizem respeito às coletas realizadas com o receptor G12 MAP.

Os resultados dos processamentos realizados com dados do receptor base coletados utilizando o receptor Novatel Pro-pack foram melhores do que quando utilizados os dados coletados com o receptor G12 MAP como pode ser visualizado no Gráfico 11. Para as bases variáveis as coletas com o software auxiliar GRINGO comportaram-se sensivelmente melhores do que quando utilizado o software auxiliar ASYNC o que também pode ser visualizado no Gráfico 12.

Gráfico 11 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com o software GRINGO (Erro 3D)

Gráfico 12 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com o Software ASYNC (Erro 3D)

Os resultados encontrados utilizando-se os dados coletados com o software auxiliar GRINGO e processados em relação aos dados da base coletados com o receptor Novatel Pro-pack apresentaram-se dentro de uma faixa de até 30 cm de acurácia, não tendo os mesmos apresentados uma tendência de crescimento com o aumento da distância da linha base, o que pode ser visualizado no Gráfico 13.

Gráfico 13 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com o software GRINGO em função da distância da base (Erro 3D)

As coletas realizadas com o software auxiliar ASYNC apresentaram uma tendência de redução da acurácia com o aumento da distância da linha base, e os resultados foram piores em relação aos encontrados com o software GRINGO, como pode ser visto no Gráfico 13 em comparação com o Gráfico 14, sendo que as coletas com o software GRINGO processadas em relação a base STTN não passaram de 30 cm de discrepância.

Gráfico 14 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com o software ASYNC em função da distância da base (Erro 3D)

Quanto ao tempo de coleta de dados pode-se acreditar que o tempo de 30 minutos é suficiente, como pode ser visto no Gráfico 15, já que independente das distâncias e do tempo de 30 ou 60 minutos os resultados não tiveram discrepâncias significativas. Estatisticamente, encontrou-se um valor de 57% de semelhança entre as variâncias dos resultados de 30 e 60 minutos pelo teste de F de Snedecor. Nos gráficos 16 e 17 apresentamos os vetores de discrepâncias encontrados para cada tempo de coleta, verificando-se visualmente a semelhança encontrada no teste estatístico.

Gráfico 15 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com os softwares GRINGO e ASYNC em função dos tempos de coleta e da distância da base (Erro 3D)

Gráfico 16 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com os softwares GRINGO e ASYNC divididos em série de dados em função dos tempos de coleta (Erro 3D)

Gráfico 17 - Resultados dos processamentos das bases variáveis coletadas com os softwares GRINGO e ASYNC divididos em série de dados em função dos tempos de coleta (Erro 3D)

8 Conclusões e Recomendações

Como se pode observar a coleta de dados de código e fase por meio de software auxiliar, como é o caso dos softwares GRINGO e ASYNC, com receptores de navegação pessoal permite uma série de processamentos que não seriam possíveis apenas com as informações de display para estes tipos de receptores.

Além da possibilidade de cálculo de média para as diversas soluções de navegação a grande vantagem é a possibilidade da solução relativa por meio da dupla diferença. A solução relativa utilizando o código permitiu alcançar uma acurácia em planimetria de ordem centimétrica (conforme apresentado na Tabela 16) para o caso de uma base zero e coleta de longa duração. Já a solução relativa utilizando a fase permitiu alcançar a acurácia de ordem milimétrica (conforme apresentado na Tabela 16) mesmo para a solução 3D, para a base zero.

A base zero mostrou-se uma boa alternativa para a verificação do processamento, já que o tamanho do vetor encontrado é a própria indicação de acurácia.

Tratando-se das bases variáveis pôde-se obter coordenadas com a solução L1 dos dados coletados com receptores de navegação pessoal em linhas base curtas com acurácia melhor que 1 metro em todas as sessões processadas, e melhores que 50 cm em 84% dos processamentos, para as coletas realizadas com o receptor Garmin G12 MAP.

Levando-se em conta uma expectativa hoje que estes receptores possuem uma acurácia da ordem de 3 a 15 metros quando utilizados no modo de navegação absoluta, os resultados mostram um ganho significativo, abrindo um leque de possibilidades de uso deste tipo de receptor, em atividades que requeiram uma maior acurácia. Pode-se citar entre outras aplicações: Cadastramento e/ou locação de placas de sinalização em vias de transporte, medições para planejamento de vias de transportes, locação de estações meteorológicas, etc.

Os softwares de coleta das observáveis de receptores de navegação GRINGO e ASYNC apresentaram resultados semelhantes e mostraram-se boas alternativas para a coleta. O software GRINGO apresenta uma interface mais intuitiva (com janelas, menus e botões ao invés de linhas de comando) e opera no sistema operacional Windows, o que o coloca em vantagem, apesar de ter um custo de aquisição (em torno de R\$ 550,00), além disso, é fornecido conjuntamente o software P4 para pós-processamento. Já o software ASYNC ainda que não tenha um custo de aquisição tem o desconforto de operar apenas por linha de comando em ambiente DOS.

Os níveis de acurácia alcançados não sofreram grandes variações em função do tempo de coleta das observáveis e das distâncias da linha base. Percebeu-se que o tempo de 30 minutos pareceu razoável e suficiente para alcançar acurácia da ordem de 50 cm.

O receptor ETREX Vista não apresentou desempenho satisfatório, não se conseguiu acurácias significativas quando utilizado este receptor, diferente do receptor G12 MAP. Este possui conexão para antena externa o que pareceu ser o diferencial.

Quando também foi utilizado o receptor G12 MAP para a coleta dos dados na base para posterior pós-processamento os resultados foram ligeiramente piores que os coletados com o receptor Novatel Pro-pack, mas também se conseguiu acurácias inferiores a 1 metro. Desta forma, no sentido de melhorar os níveis de acurácia na utilização de receptores de navegação pessoal esta configuração, utilizando um par de receptores G12 MAP, seria uma alternativa possível.

De forma geral não se conseguiu verificar um padrão para a solução das ambigüidades. Em sua maioria os resultados encontrados foram de soluções *float* e esporadicamente solução fixa.

Ainda que os resultados encontrados sejam promissores este tipo de levantamento de coordenadas não substitui os métodos e equipamentos já existentes. Uma vez que a maioria das soluções encontradas foram soluções do tipo *float*, segundo a norma técnica para o georreferenciamento de imóveis rurais do INCRA, este método de levantamento não poderia ser utilizado para o georreferenciamento de imóveis rurais.

O fato da empresa Garmin ter alterado o seu protocolo de comunicação não permitindo testes com equipamentos mais modernos, desencoraja novos trabalhos nesta linha. Entretanto novos experimentos poderiam ser realizados no sentido de encontrar alternativas para a solução das ambigüidades para estes dados coletados com os receptores de navegação pessoal. Como os testes realizados neste trabalho foram direcionados a coleta de pontos estáticos outros testes poderiam ser realizados para a solução cinemática, o que estaria mais próximo da finalidade principal deste tipo de equipamento.

9 Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, P C G; DOS SANTOS, C C; GPS para iniciantes; Mini Curso XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; Belo Horizonte; 2003.

BERAN, T; LANGLEY, R B; BISNATH, S B; SERRANO, L; High-Accuracy Point Positioning with Low-Cost GPS Receivers: How Good Can It Get? ; ION GNSS 2005; Long Beach; 13-16 Setembro 2005.

BRASIL, LEI Nº 10.267; Altera dispositivos das Leis nºs 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. D.O.U. de 29.8.2001

CAMARGO, P O; REDIVO, I A C; FLORENTINO, C; Posicionamento com Receptores GPS de Navegação. In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte, 29 de Setembro a 03 de Outubro, 2003, CD ROM - CBC, Belo Horizonte, 2003.

CISNEROS, L F V; Receptor GPS por software, Tese, Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 117 p. , 2004

COSSER, E; HILL, C J; GETHIN, W R; MENG, X; MOORE, T e DODSON, A H; Bridge Monitoring with Garmin Handheld Receivers, 1ºt FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering Nottingham, United Kingdom, 28 Junho – 1 Julho 2004

CUNNINGHAM, J.; SWIFT, E.; MUELLER, F; Improvement of the NIMA precise orbit and clock estimates. In: International Technical Meeting of the Satellite Division of the Satellite Division of the Institute of Navigation; Nashville. Presented paper. Alexandria: ION, 1998, p. 1587.

GALAN, A T; Obtaining Raw Data Form Some Garmin Units. www.artico.lma.fi.upm.es/numerico/miembros/antonio/async, acesso em 10/07/2007.

GARMIN CORPORATION: GARMIN GPS Interface Specification. Garmin Corporation, Olathe, Kansas, USA, 1998.

GARMIN CORPORATION: GARMIN GPS Interface Specification. Garmin Corporation, Olathe, Kansas, USA, 2006.

HILL, C J e MOORE, T; GRINGO Software; Online User Manual." [online]. IESSG, University of Nottingham. Available at: <http://www.nottingham.ac.uk/iessg> [20 março 2007]

HILL, C J; MOORE, T; DUMVILLE, M; A RINEX logger for hand-held GPS receivers; ION GPS 1999; Nashville; 14-17 Setembro 1999

HILL, C J; MOORE, T e DUMVILLE, M; GRINGO: Recording RINEX Data from Handheld GPS Receivers, Proc GNSS 2000, 4th European Conference on Global Navigation Satellite Systems, pp 12, Edinburgh, Maio 2000.

HILL, C J; MOORE, T e DUMVILLE, M; Carrier Phase Surveying with Garmin Handheld GPS Receivers; ION GPS 2000, 19-22 Setembro; Salt Lake City; Utah; 178-182.

HILL, C J; MOORE, T; NAPIER, M E; Rapid Mapping with Post Processed Data from Garmin Handheld Receivers, Proc ION GPS 2002, The 15th Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation; Portland; USA; Setembro 2002.

HOFMANN-WELLENHOF, B; LICHTENEGGER, H; COLLINS, J; GPS: theory and practice. 3.ed. Wien: Springer, 2001.

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária; Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 1ª edição, Novembro de 2003.

KAPLAN, E D;. Understanding GPS – Principles and Applications. Artech House – Boston, London, 1996. ISBN:0-89006-793-7.

KREBS, G D; Gunter's Space Page; Disponível em http://www.skyrocket.de/space/index_frame.htm?http://www.skyrocket.de/space/doc_sdat/tra nsit-1.htm; Acesso em: 2008.

KRUEGER C P e TRANCHES S J; Verificação da possibilidade em se realizar georreferenciamento de imóveis rurais através de observações da onda portadora L1 coletadas por meio de receptores GPS de navegação, COBRAC 2006, Florianópolis

LEICK, A; GPS: Satellite surveying. 2. ed. New York: J.Wiley, 2004.

MOORE, T; HILL, C J e NAPIER, M E; Rapid Mapping with Post-Processed Data from Garmin Handheld Receivers. ION GPS 2002, 24-27 Setembro; Portland, Oregon. 1414-1422.

MONICO, J F G: Posicionamento pelo NAVSTAR - GPS: Fundamentos, Definição e Aplicação. Ed. Unesp, São Paulo, 2000.

MIGUENS, A P; Navegação: A Ciência e a Arte, Volume III, DHN, Rio de Janeiro, 2000.

NGS; Information Services Branch. RINEX-2.10 Format. Disponível em: <<http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Rinex2.html> >. Acesso em: março 2007

OLIVEIRA, E B; Loran C – Seminários Pós Graduação em Ciências Geodésicas; UNESP; São Paulo; 2001.

PALMEROS, T; SMITH, M J; MOORE, T; BINGLEY, R M; Low Cost Surveying Using GPS and Ground- Based Digital Photogrammetry, IESSG, The University of Nottingham, 2003

REDIVO, I A C; Posicionamento Preciso Utilizando Receptor GPS de Navegação. Iniciação Científica (PIBIC/CNPq), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2003.

SANTOS, A A; FLOR, C D R V; LINS, F J C C; Avaliação de precisão de receptores GPS de navegação, através da portadora L1 para fins de cadastro. In: Congresso, Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, CD do COBRAC, Florianópolis, 2002.

SCHAAL R E; (1998) [S.l:s.n.] RINEX5. Programa desenvolvido no STT, EESC, USP

SCHWIEGER, V; Using Handheld GPS Receivers for Precise Positioning – 2º FIG Regional Conference, Marrakech, Morocco, Dezembro, 2003.

SCHWIEGER, V; GLÄSER, A; Possibilities of Low Cost GPS Technology for Precise Geodetic Applications - Proceedings on FIG Working Week, 2005

SEEBER, G; Satellite Geodesy. Berlin: de Gruyter, 2003.

SEGANTINE, P C L; GPS: Sistema de Posicionamento Global, São Carlos, EESC USP, 381p, 2005.

SOUZA SILVA, L H E; CÂMARA M J C; Avaliação da acurácia das coordenadas pós-processadas com dados Rinex obtidos por meio de um receptor GPS de navegação (monografia), Universidade Católica Dom Bosco, 2005

ANEXO 1

Descrição dos comandos e funcionalidades do software Async Tradução do arquivo readme.txt, de autoria de Antonio Tabernero Galán.

Por Luiz Henrique Souza Silva e Mario Jorge Costa Câmara
PROGRAMA PARA REGISTRO E UTILIZAÇÃO DOS DADOS BRUTOS DE UM
GARMIN PORTÁTIL.
(GPS12, 12XL, II+, III+, Etrex, Emap)

Aviso usual:

Este é o programa que temos para apresentar. Não é dada qualquer garantia. Utilize-o assumindo todos os riscos. Os comandos não documentados que este programa utiliza podem ocasionar perdas ou estragos nos dados armazenados no seu GPS. Garmin é marca registrada da Empresa Garmin. A garantia da Garmin não cobre problemas resultantes da utilização de produtos não vendidos pela própria empresa. Este é o caso deste programa.

CONTEÚDO

Há dois pacotes diferentes, um para Linux e outro para Windows. A versão Linux utiliza algumas funções modificadas da biblioteca Jeeps para implementar a comunicação serial de baixo nível. O código fonte é fornecido em ambos os casos (VC++ para Windows, gcc para Linux).

Cada pacote contém:

- * async.c e async.exe: registrador de eventos async do GPS12 (ou XL).
- * gar2rxn.c e gar2rxn.exe: fonte e executável para converter do formato proprietário Garmin para rinex. Também serve como ferramenta para estudar as mensagens async.
- * Arquivo README: este arquivo.

A última versão foi a 1.20 (para async) e 1.3 (para gar2rxn).

Foi acrescentada a capacidade para registrar o efeito Doppler e algumas mudanças no funcionamento da comunicação serial, em relação à versão anterior (async 1.10). Eu acredito que estas modificações irão evitar (ou reduzir) os problemas que alguns usuários estão tendo e me reportaram (agradeço a todos, BTW). Entretanto, só foi possível testar o novo código no meu próprio receptor GPS12 (no qual foi tudo testado); e, dada minha falta de experiência em programação de porta serial, eu mantive a versão anterior nesta página, de forma a possibilitar voltar atrás caso a modificação não funcione bem no seu caso.

Explorando o ASYNC

Você pode obter ajuda digitando async -h

- * Programa Async para registrar os dados brutos do receptor Garmin portátil
- * Versão 1.20 Copyright 2000,2001 Antonio Tabernero Galan *

Comandos:

async or async -h: mostra esta ajuda
async -command [argumentos]

----- ASYNC COMMANDS -----

async -c : apenas verifica a porta serial disponível
async -i : procura obter a identificação do GPS (default)

async -a 0xn timer : habilita o evento async com máscara hex timer

async -r 0xn timer : envia requisição tipo timer

async -rinex : habilita somente aqueles registradores relevantes para geração do arquivo RINEX, evitando a perda de observações (que podem ocorrer quando há muitas requisições async chegando). Utilize esta opção quando se deseja gerar arquivo RINEX dos dados coletados.

async -doppler: caso seja a última versão (1.2 ou mais recente) do async é possível obter dados do efeito Doppler, além dos dados de pseudodistância e fase da portadora, utilizando este parâmetro ao invés do -rinex. Esteja atento que em razão de haver mais dados chegando pela porta serial, pode se perder alguma observação.

----- ASYNC OPTIONS -----

async -p port_name : seleção da porta serial (comx, ttySx) O padrão é com1 (Win) ou ttyS0 (Linux)

async -t ttt : estabelece o tempo de registro em ttt segundos. O padrão é 30 s.

async -o filename : salva o pacote de dados recebidos no arquivo de nome filename

Por padrão a saída é gravada como week_second.g12

O procedimento usual para encontrar uma porta serial livre é async -p com1 -c ou async -p com2 -c (ttyS0, ttyS1 in Linux) Uma vez encontrada a porta serial, conecte o GPS e verifique se o programa o identifica:

async -p comN -i

Se o GPS for identificado você pode iniciar o registro dos dados utilizando o comando async -a -r -rinex ou -doppler

GERANDO ARQUIVOS RINEX

Simples, o procedimento para obter um arquivo RINEX é:

- * Ligue o GPS12 num local que tenha boa visada para o céu.

- * Espere até que um posicionamento 3D seja obtido (caso você não espere, o programa o fará esperar).

- * Execute o programa async com o argumento -rinex (ou -rinex2):

async -p your_port -rinex -t 300 -o bindata.g12 que deverá gerar um arquivo bindata.g12 depois de cinco minutos de registro.

- * Execute o programa gar2rnx (GARmin to RiNeX) e direciona a saída para um arquivo:

gar2rnx bindata.g12 > data.00o

Espera-se que o arquivo criado data.00o seja um arquivo de observáveis GPS em RINEX.

- * O pós-processamento dos dados brutos envolve a comparação com dados gerados por outro receptor do MESMO tipo. Pode-se utilizar outro G12 ou obter dados coletados de uma estação de referência nas proximidades. Usuários norte-americanos encontram dados de estação de referências em <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Data.html>

Para usuários europeus há a EUREF: <ftp://igs.ifag.de/gpsdata/>

- * Há necessidade de se obter as efemérides broadcast (transmitidas) ou precisas correspondentes à data de registro dos dados coletados do GPS.

ANEXO 2

Relatório das Estações Geodésicas ST 93668 e ST93670

Estação :	93668	Nome da Estação :	93668	Tipo :	Estação Planimétrica - SAT
Município :	SÃO CARLOS			UF :	SP
Última Visita :	15/06/2004	Situação Marco Principal :	Bom		

DADOS PLANIMÉTRICOS			DADOS ALTIMÉTRICOS			DADOS GRAVIMÉTRICOS		
Latitude	21° 59' 41,5264 " S	Altitude Ortométrica(m)	849,15	Gravidade(mGal)				
Longitude	47° 54' 25,4588 " W	Altitude Geométrica(m)	849,67	Sigma Gravidade(mGal)				
Fonte	GPS Geodésico	Fonte	GPS Geodésico	Precisão				
Origem	Ajustada	Data Medição	15/06/2004	Datum				
S Datum	SAD-69	Data Cálculo	16/11/2004	Data Medição				
A Data Medição	15/06/2004	Sigma Altitude Geométrica(m)		Data Cálculo				
D Data Cálculo	11/10/2004	Modelo Geoidal	MAPGEO2004	Correção Topográfica				
S Sigma Latitude(m)	0,010			Anomalia Bouguer				
9 Sigma Longitude(m)	0,022			Anomalia Air-Grav				
UTM(N)	7 564 878,891			Densidade				
UTM(E)	199 824,404							
MC	-45							
Latitude	21° 59' 43,2500 " S	Altitude Ortométrica(m)	849,04	Gravidade(mGal)				
S Longitude	47° 54' 27,1108 " W	Altitude Geométrica(m)	842,25	Sigma Gravidade(mGal)				
I Fonte	GPS Geodésico	Fonte	GPS Geodésico	Precisão				
R Origem	Ajustada	Data Medição	15/06/2004	Datum				
C Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	23/11/2004	Data Medição				
A Data Medição	15/06/2004	Sigma Altitude Geométrica(m)		Data Cálculo				
S Data Cálculo	23/11/2004	Modelo Geoidal	MAPGEO2004	Correção Topográfica				
2 Sigma Latitude(m)	0,001			Anomalia Bouguer				
0 Sigma Longitude(m)	0,001			Anomalia Air-Grav				
0 UTM(N)	7 564 833,359			Densidade				
0 UTM(E)	199 779,110							
MC	-45							

* Último Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996

** Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006

*** Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

Descrição
Estação materializada por uma barra cilíndrica de 0,60 mm de diâmetro. Possui em sua parte superior, mecanismo de centragem forçada.
Itinerário
Av. Cestano Mirabelli n.410, Bairro Parque Santa Marta, São Carlos/SP.

Foto(s)

Estação :	93670	Nome da Estação :	93670	Tipo :	Estação Planimétrica - SAT
Município :	SÃO CARLOS			UF :	SP
Última Visão :	15/06/2004	Situação Marco Principal :	Bom		

DADOS PLANIMÉTRICOS			DADOS ALTIMÉTRICOS			DADOS GRAVIMÉTRICOS		
Latitude	21° 58' 52,4084" S	Altitude Ortométrica(m)	855,71	Gravidade(mGal)				
Longitude	47° 52' 42,6686" W	Altitude Geométrica(m)	856,27	Sigma Gravidade(mGal)				
Fonte	GPS Geodésico	Fonte	GPS Geodésico	Precisão				
Origem	Ajustada	Data Medição	15/06/2004	Datum				
S Datum	SAD-69	Data Cálculo	16/11/2004	Data Medição				
A Data Medição	15/06/2004	Sigma Altitude Geométrica(m)		Data Cálculo				
D Data Cálculo	11/10/2004	Modelo Geoidal	MAPGEO2004	Correção Topográfica				
Sigma Latitude(m)	0,011			Anomalia Bouguer				
Sigma Longitude(m)	0,022			Anomalia Airy				
UTM(N)	7.566.446,295			Densidade				
UTM(E)	202.746,034							
MC	-45							
Latitude	21° 58' 54,1320" S	Altitude Ortométrica(m)	855,60	Gravidade(mGal)				
Longitude	47° 52' 44,3188" W	Altitude Geométrica(m)	848,91	Sigma Gravidade(mGal)				
Fonte	GPS Geodésico	Fonte	GPS Geodésico	Precisão				
Origem	Ajustada	Data Medição	15/06/2004	Datum				
S Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	23/11/2004	Data Medição				
A Data Medição	15/06/2004	Sigma Altitude Geométrica(m)		Data Cálculo				
D Data Cálculo	23/11/2004	Modelo Geoidal	MAPGEO2004	Correção Topográfica				
Sigma Latitude(m)	0,002			Anomalia Bouguer				
Sigma Longitude(m)	0,002			Anomalia Airy				
UTM(N)	7.566.400,768			Densidade				
UTM(E)	202.700,743							
MC	-45							

* Último Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996

** Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006

*** Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

Localização
Campus da Universidade Federal de São Carlos
Descrição
Pilar de concreto de forma cilíndrica, medindo 1,16 m de altura por 0,31m de diâmetro e chapa metálica em seu topo. Possui dispositivo de centragem forçada padrão USP.
Itinerário
seguir pela Rodovia Washington Luiz até a saída 235 a no km 234 , com 600 m acesso a portaria principal da Universidade
Observação
A autorização deve ser solicitada no Departamento de Engenharia Civil tel (16)3351-8262.

Foto(s)

ANEXO 3

Relatório da rede GPS ajustada adaptado

M O V E 3 Version 3.2.7

Design and Adjustment of

3D 2D and 1D Geodetic Networks

(c) 1993-2004 Grontmij Geo Informatie bv

Licensed to Leica Geosystems AG

3D constrained network on WGS 84 ellipsoid

STATIONS

Number of (partly) known stations 2

Number of unknown stations 4

Total 6

OBSERVATIONS

GPS coordinate differences 24 (8 baselines)

Known coordinates 6

Total 30

UNKNOWN

Coordinates 18

Total 18

Degrees of freedom 12

ADJUSTMENT

Number of iterations 1

Max coord correction in last iteration 0.0000 m

TESTING

Alfa (multi dimensional) 0.3362

Alfa 0 (one dimensional) 0.0500

Beta 0.80

Critical value W-test 1.96

Critical value T-test (3 D) 1.89

Critical value T-test (2 D) 2.42

Critical value F-test 1.12

Results based on a-posteriori variance factor

ELLIPSOID CONSTANTS

Ellipsoid	WGS 84
Semi major axis	6378137.0000 m
Inverse flattening	298.257223563

COORDINATES (CONSTRAINED NETWORK)

	Station	Coordinate	Sd
AVM	Latitude	21 54 00.53507 S	0.0122 m
	Longitude	47 54 13.18664 W	0.0125 m
	Height	812.653	0.0289 m
CRHEA1	Latitude	22 10 13.54458 S	0.0104 m
	Longitude	47 53 55.72854 W	0.0100 m
	Height	726.891	0.0229 m
FED1	Latitude	21 58 54.13200 S*	fixed m
	Longitude	47 52 44.31880 W*	fixed m
	Height	848.910*	fixed m
STTN	Latitude	22 00 17.78071 S	0.0037 m
	Longitude	47 53 57.08931 W	0.0040 m
	Height	823.511	0.0102 m
USP2	Latitude	22 00 01.03643 S	0.0040 m
	Longitude	47 56 01.01202 W	0.0046 m
	Height	842.632	0.0173 m
WILD	Latitude	21 59 43.25000 S*	fixed m
	Longitude	47 54 27.11000 W*	fixed m
	Height	842.350*	fixed m

ABSOLUTE STANDARD ELLIPSES

Station	A	B	A/B Phi	Sd Hgt	
AVM	0.0130	0.0116 m	1.1	52 deg	0.0289 m
CRHEA1	0.0104	0.0100 m	1.0	4 deg	0.0229 m
FED1	0.0000	0.0000 m	0.0	-78 deg	0.0000 m
STTN	0.0040	0.0037 m	1.1	-67 deg	0.0102 m
USP2	0.0046	0.0040 m	1.2	-84 deg	0.0173 m
WILD	0.0000	0.0000 m	0.0	-78 deg	0.0000 m

ADJUSTED OBSERVATIONS

	Station	Target	Adj obs	Resid	Resid(ENH)	Sd
DX	FED1	USP2	-4707.955	-0.005	-0.002	0.013 m
DY			-3206.562	0.003	-0.003	0.013 m
DZ			-1906.075	-0.001	-0.005	0.009 m
DX	FED1	STTN	-2210.776	0.001	0.001	0.009 m
DY			-667.577	0.000	-0.003	0.010 m
DZ			-2376.495	-0.003	0.002	0.007 m
DX	FED1	CRHEA1	-6862.173	-0.001	0.0006	0.016 m
DY			4538.236	0.002	-0.002	0.019 m
DZ			-19322.291	-0.002	-0.002	0.013 m
DX	FED1	AVM	348.185	0.003	0.000	0.017 m
DY			-4188.832	-0.002	-0.005	0.024 m
DZ			8391.053	-0.007	0.006	0.018 m
DX	WILD	USP2	-2136.605	0.005	0.001	0.013 m
DY			-1653.413	-0.003	0.003	0.012 m
DZ			-507.405	0.001	0.005	0.009 m
DX	WILD	STTN	360.573	-0.001	-0.001	0.008 m
DY			885.572	-0.000	0.002	0.009 m
DZ			-977.825	0.002	-0.001	0.006 m
DX	WILD	CRHEA1	-4290.823	0.001	-0.008	0.017 m
DY			6091.385	-0.002	0.003	0.019 m
DZ			-17923.622	0.002	0.002	0.0129 m
DX	WILD	AVM	2919.535	-0.005	-0.003	0.018 m
DY			-2635.683	0.003	0.009	0.024 m
DZ			9789.723	0.012	-0.010	0.018 m

GPS BASELINE VECTOR RESIDUALS

	Station	Target	Adj vector	Resid	Resid ppm
DV	FED1	USP2	6006.663	0.007 m	1.1 ppm
DV	FED1	STTN	3313.747	0.004 m	1.1 ppm
DV	FED1	CRHEA1	21000.856	0.003 m	0.1 ppm
DV	FED1	AVM	9384.952	0.008 m	0.8 ppm
DV	WILD	USP2	2748.876	0.006 m	2.0 ppm
DV	WILD	STTN	1367.623	0.002 m	1.6 ppm
DV	WILD	CRHEA1	19410.625	0.003 m	0.2 ppm
DV	WILD	AVM	10550.317	0.014 m	1.3 ppm

TEST OF OBSERVATIONS

	Station	Target	MDB	Red	BNR	W-test	T-test
DX	FED1	USP2	0.039 m	44	3.8	-0.73	0.37
DY			0.039 m	31	4.1	0.15	
DZ			0.031 m	35	4.0	-0.92	
DX	FED1	STTN	0.036 m	26	4.1	-0.03	0.26
DY			0.039 m	36	3.7	0.42	
DZ			0.030 m	35	3.8	-0.84	
DX	FED1	CRHEA1	0.068 m	42	3.2	-0.03	0.02
DY			0.078 m	44	3.2	0.16	
DZ			0.063 m	43	3.2	-0.23	
DX	FED1	AVM	0.078 m	30	4.1	0.03	0.12
DY			0.097 m	34	4.0	0.28	
DZ			0.078 m	34	4.0	-0.57	
DX	WILD	USP2	0.039 m	37	4.2	0.73	0.37
DY			0.039 m	26	4.6	-0.15	
DZ			0.031 m	30	4.4	0.92	
DX	WILD	STTN	0.036 m	20	5.3	0.03	0.26
DY			0.039 m	23	4.9	-0.42	
DZ			0.030 m	20	5.3	0.84	
DX	WILD	CRHEA1	0.068 m	48	2.9	0.03	0.02
DY			0.078 m	50	2.8	-0.16	
DZ			0.063 m	49	2.8	0.23	
DX	WILD	AVM	0.078 m	61	2.2	-0.03	0.12
DY			0.097 m	62	2.1	-0.28	
DZ			0.078 m	63	2.1	0.57	