

SÉRGIO TEIXEIRA DA SILVA

Análise comparativa entre equipamentos eletrônicos
(GPS) para levantamento de dados topográficos



Monografia apresentada ao Curso de
Especialização em Geoprocessamento da
Universidade Federal de Minas Gerais para a
obtenção do título de Especialista em
Geoprocessamento

Orientador:

Marcos Antônio Timbó Elmiro

2002

Silva, Sérgio Teixeira

Análise comparativa entre equipamentos eletrônicos (GPS) para levantamento de dados topográficos. Belo Horizonte, 2002.

40. p.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais.
Departamento de Cartografia.

1. GPS 2. topografia 3. precisão gps . Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento de Cartografia

AGRADECIMENTOS

A Deus por conceder-me a capacidade de evoluir sempre.

A minha esposa, pelos constantes incentivos e motivação.

A minha filhinha Isabella por toda alegria e ternura que sempre nos proporciona.

A minha mãe e irmãos pela confiança nas minhas jornadas.

Ao meu pai (in memoriam), por ensinar-me a buscar sempre.

Aos colegas Procópio e Rogério pela ajuda no desenvolvimento dos trabalhos.

A colega Lúcia Arcebispo pelo apoio e incentivo.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta conquista.

RESUMO

Com a crescente necessidade de se localizar sobre a superfície da Terra e a popularização dos sistemas de posicionamento via satélites (GPS), muitas pessoas tem feito uso inadequado destes receptores, levando a inúmeros erros de posicionamento e dimensionamento de áreas e perímetros.

Este trabalho visa contribuir para um pouco de esclarecimento sobre a precisão dos receptores GPS de navegação, quanto a coleta de atributos para as feições linhas, polígonos e pontos, na forma de perímetro, poligonal fechada e aferição de posicionamento sobre um marco.

Nas condições dos testes, para as feições linhas e polígonos, os receptores de navegação mostraram-se pouco eficientes se empregados para trabalhos em escalas maiores, mas de resultados aceitáveis em escalas menores, onde o nível de generalização absorva o erro gerado, acima 22.000 m² para uma área total de 558.447,24 m² (4,05%) para o melhor resultado obtido, e chegando a fornecer um perímetro de até 33 metros superior ao real que é de 3.806,49 m (0,87 %).

O posicionamento por ponto forneceu os melhores resultados, onde os erros permaneceram abaixo dos limites indicados nos manuais, com respostas mais coerentes à tecnologia do receptor e deslocamentos aceitáveis para trabalhos desenvolvidos em escalas padrões superiores a 1:5000. Na melhor condição de medição alcançou-se uma diferença de apenas 83 centímetros (GPS 12 XL com antena externa) e um valor próximo a 4 metros na condição mais desfavorável (GPS III plus), para os receptores de 12 canais, e de 13 metros para os receptores de 8 canais.

Em todas as situações no entanto, este tipo de receptor demonstrou ser pouco adequado para elaborar levantamentos que requeiram maior precisão e acurácia.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
RESUMO	4
SUMÁRIO	5
LISTAS DE FIGURAS	6
LISTAS DE TABELAS	8
SIGLAS E TERMOS	9
LISTA DE ANEXOS	11
1 – Introdução	12
1.1 – Justificativa	13
1.2 – Objetivo	14
1.2.1 – Geral	14
1.2.2 – Específico	14
2 – Sistema GPS	15
2.1 – Histórico	15
2.2 – Composição do sistema GPS	16
2.2.1 – Segmento espacial	16
2.2.2 – Segmento de controle	18
2.2.3 – Segmento de Usuários	19
2.3 – Funcionamento do sistema GPS	20
2.4 – Funcionamento do receptor GPS	22
2.5 – Limitações no emprego do GPS	24
3 – Revisão de literatura	29
4 – Metodologia	33
5 – Desenvolvimento	38
5.1 – Área de estudo	38
5.2 – Obtenção dos dados	40
6 – Resultados	47
7 – Conclusões	56
8 – Referências Bibliográficas	58
9 – Anexos	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação dos três segmentos que compõe o sistema NAVSTAR-GPS .	16
Figura 2 – Fotografia de um satélite GPS do bloco II em órbita terrestre	17
Figura 3 – Esquema das órbitas da atual constelação de satélites do sistema NAVSTAR-GPS.	18
Figura 4 – Representação da localização das estações de controle terrestre do sistema NAVISTAR-GPS.	18
Figura 5 – Diagrama esquemático dos principais componentes de um receptor GPS .	23
Figura 6 – Ilustração dos equipamentos Estação Total Topcom modelo GTS 212, GPS Trimble Pró XR, GPS Garmin 12 XL e antena externa, GPS Garmin 45 XL.	35
Figura 7 – Ilustração dos equipamentos GPS Garmin III plus; GPS Garmin II e GPS Garmin eTrex Summit.	37
Figura 8 – Área desobstruída próxima à localização do vértice 24.	38
Figura 9 – Trecho do Anel Rodoviário, próxima ao vértice 14, com barranco obstruindo parcialmente a face norte.	39
Figura 10 – Vértice 10, localizado sob cobertura arbórea.	39
Figura 11 – Obstruções próximas ao vértice 2, localizado na Rua Prof José Vieira de Mendonça.	40
Figura 12 – Marco IGC II, utilizado como base de referência comparativa.	40
Figura 13 – Poligonal determinada pela Estação Total, sem os vértices 9, 10 e 11 sobre imagem aérea da área de estudo.	41
Figura 14 – Receptores GPS eTrex Summit e GPS II estacionados sobre o marco IGC II	46
Figura 15 – Representação gráfica do cálculo de áreas obtidas por receptores GPS, tomando como base verdadeira a área da estação total.	48
Figura 16 – Representação gráfica da diferença entre a área obtida por cada receptor e a área calculada pela estação total, tomada como verdadeira.	49
Figura 17 – Representação gráfica do cálculo dos perímetros obtidos pelos receptores GPS e estação total, calculado pelo software Spring versão	51

3.6.03, tomando como base verdadeira a poligonal levantada pela estação total.

- Figura 18 – Representação gráfica do cálculo das diferenças entre perímetros obtidos pelos receptores GPS e estação total, calculado pelo software Spring versão 3.6.03, tomando como base verdadeira a poligonal levantada pela estação total. 52
- Figura 19 – Variação nos posicionamentos obtidos pelos receptores GPS, sobre o marco IGC II. 54
- Figura 20 – Diferença (erro) de posicionamento entre as coordenadas obtidas e a posição do marco IGC II, em metros. 55
- Figura 21 – Variação dos deslocamentos de posição entre os valores dos vértices obtidos pelos receptores e o marco IGC II. 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos erros GPS em função da fonte geradora.	24
Tabela 2 – Variação em metros na estimativa dos erros GPS.	25
Tabela 3 – Relação de coordenadas dos 25 vértices das poligonais obtidos pela Estação Total e receptores GPS.	44
Tabela 4 – Relação de áreas da poligonal obtidas com software Spring, versão 3.6.03. A estação total Topcom modelo GTS 212 foi tomada como base verdadeira.	47
Tabela 5 - Relação dos perímetros da poligonal obtidos com a estação total e receptores, calculados no software Spring, versão 3.6.03. A estação total Topcom modelo GTS 212 foi tomada como base verdadeira.	50
Tabela 6 – Relação de coordenadas obtidas pelos receptores sobre o marco IGC-II, e respectivas diferenças de posicionamento por eixo e deslocamento total.	53

SIGLAS E TERMOS

Almanaque: Informação sobre todos satélites GPS: elementos orbitais, correções dos relógios, parâmetros de atraso atmosférico e estado de saúde transmitido por cada satélite. O almanaque da constelação completa é transmitido por cada satélite.

Ambigüidade: número inteiro inicial (desconhecido) de ciclos na medição da fase da portadora. Este valor deve ser calculado para cada satélite e assim poder deduzir a distância aos satélites

Banda L: gama de frequências eletromagnéticas entre 390 e 1550 MHz. A transmissão GPS se localiza nesta banda, razão da denominação das portadoras L1 e L2

Código C/A: Código bruto/Aquisição. Código de ruídos pseudo-aleatório (PRN) modulado em L1 de um satélite GPS. Permite calcular sem ambigüidades as pseudo-distâncias aos satélites. S repete a cada 1 ms, com frequência de 1,023 MHz, resultando em um comprimento de onda de 300 metros. Este é o código do serviço de posicionamento padrão – SPS para uso civil de posicionamento autônomo e DGPS.

Código P: código preciso ou código protegido para uso militar modulado em L1 e L2. É uma seqüência binária diferente para cada satélite que é repetida a cada 7 dias, com frequência de 10,23 MHz, que resulta num comprimento de onda de 30 metros. É o código do serviço de Posicionamento Preciso – PSP para uso militar. Quando encriptado (Anti Spoofing) é gerado o código Y.

Código Y: Forma encriptada do código P quando ativado o processo Anti Spoofing. Isto garante o acesso somente a usuários autorizados como os militares.

db: Símbolo de decibel. Unidade de intervalo de potência associada a movimentos periódicos, tal que a razão entre as potências extremas sejam igual a 1,259.

DOP: fator de contribuição puramente geométrica à incerteza de uma posição GPS. A DOP reflete a qualidade geométrica instantânea de uma constelação. As DOPs mais empregadas são: GDOP – geométrica (três coordenadas da posição mais o desvio do relógio na solução, PDOP – posição (três coordenadas), HDOP – (duas coordenadas horizontais), VDOP – vertical (altura), TDOP – tempo (desvio do relógio e RDOP – relativa (normalizada a 60 segundos).

E.G.: Erro Gráfico. É o limite da acuidade visual humana. É aceitável um E.G.=0,2 mm da escala da carta.

GPS: Sigla de “Global Positioning System”. Sistema de posicionamento global com finalidade de navegação global. É constituído pelos satélites NAVSTAR, suas estações terrestres e os receptores GPS.

Mhz: abreviatura padrão de megahertz. Representa a frequência “f” de uma onda em ciclos por segundo, em que $f=c/\lambda$, onde c é a velocidade da luz e λ é o comprimento de onda.

Milha náutica: unidade linear usada em navegação marítima e aérea que equivale a 1.852,0 metros.

P.E.C.: Padrão de Exatidão Cartográfica. Indicador de dispersão relativo a 90% de probabilidade que define a exatidão de trabalhos cartográficos. Pelo Decreto 89.817 de 20/07/1984 tem valor de 0,5 mm para as cartas classe A.

Portadora: onda de rádio que transmite informações por modulação, em frequências, amplitude ou fase, de um valor de referência conhecido

Portadora L1: portadora primária da banda L utilizada pelos satélites GPS para transmitir dados próprios. Sua frequência é 1.575,42 MHz. É modulada pelos códigos C/A , P e por uma mensagem de navegação.

PRN: abreviação de “Pseudo Randon Noise” - Ruído pseudo-aleatório. Sequência de dígitos binários de aparência aleatória, que podem ser reproduzidos. Cada satélite GPS transmite um PRN singular e exclusivo tanto para o código C/A quanto para o código P. Os receptores GPS utilizam-se do PRN para identificar os satélites, fazer a sintonia e calcular as pseudo-distâncias.

SPS: abreviatura de “Standart Positioning Service” – Serviço de posicionamento padrão. Nível de precisão de posicionamento proporcionado pelo GPS aos usuários civis, baseado no código C/A de frequência simples.

LISTA DE ANEXOS

Anexo I – Relatório de planejamento com constantes de degradação do posicionamento GPS em função do tempo.	62
Anexo II – Carta comparativa entre poligonais, escala 1:10.000.	64
Anexo III – Carta comparativa entre poligonais, escala 1:5.000.	65
Anexo IV – Carta comparativa entre poligonais, escala 1:1.000.	66
Anexo V – Carta comparativa entre poligonais, escala 1:500.	67
Anexo VI – Relatório da poligonal obtida com estação total Topcom GTS 212 e software topoGRAPH 98SE v. 2.68.	68

1 - INTRODUÇÃO

O homem, desde os primeiros tempos, tem demonstrado duas características quanto ao lugar onde habita – a Terra: é territorialista e nômade. Estas características sempre o levaram a demarcar sua propriedade, seu espaço sobre a terra, bem como a empreender “cruzadas” para conquista de novos territórios passíveis de exploração, quer seja pelo domínio de um povo, quer seja para implantar suas culturas e criações.

Assim, desde o homem das cavernas, passando pelos grandes exploradores de novos mundos do século XV , XVI aos dias atuais, sempre houve a necessidade de ter referências para que pudesse se localizar.

Montanhas, rios, posição das estrelas, etc., foram os primeiros marcos orientadores destes “andarilhos”.

Hoje a tecnologia permite que a cada instante o homem se localize no globo terrestre, identificando qualquer ponto sobre a superfície e também na atmosfera, através de sinalizadores que se intercomunicam.

Alguns países detentores de alta tecnologia eletrônica e espacial vêm desenvolvendo sistemas para localização de objetos na superfície terrestre. Estes objetos podem estar fixos ou em movimento (localização estática ou dinâmica), sendo neste caso conhecido como sistema de navegação, uma vez que possibilita acompanhar, prever e estabelecer rotas de deslocamento ou de navegação.

Dentre os principais países que desenvolvem seu próprio sistema, alguns para uso restrito em seu território e/ou parceiros de desenvolvimento, outros de uso aberto a todo globo, podemos citar a China, a Rússia, o Japão com seu sofisticado sistema de visualização em três dimensões, os Estados Unidos e um consórcio de países europeus.

O sistema mais empregado no Brasil para uso civil e militar é o “Navigation Satellite With Time And Ranging – Global Positioning System”, cujo acrônimo é NAVSTAR – GPS, ou simplesmente GPS como é mais divulgado e conhecido. O sistema pode ser chamado e compreendido como um Sistema de Posicionamento Global e Navegação via Satélite Empregando Tempo e Distância.

1.1 - JUSTIFICATIVA

Com a popularização do sistema GPS e redução dos custos dos equipamentos, muitos profissionais têm se utilizado desta tecnologia para identificação, determinação de áreas e desenvolvimento de projetos, tanto no meio urbano como no meio rural.

O emprego indiscriminado desta tecnologia sem as devidas observações de critérios técnicos quanto aos limites de cada equipamento, tem levado a inúmeros erros em processos, pareceres e projetos, muitas das vezes comprometendo o resultado final dos trabalhos desenvolvidos.

Assim considera-se relevante um comparativo de desempenho entre diferentes equipamentos disponíveis no mercado, de forma a compreender qual o limite de precisão e qual erro esperado para cada categoria de equipamento em suas diferentes formas de utilização contribuindo, assim, para uma redução do emprego inadequado destes equipamentos quando de sua utilização como fonte de dados para alimentação de sistemas geográficos de informações – SGI.

1.2 – OBJETIVO

1.2.1 - Geral

Comparar o desempenho entre diferentes equipamentos eletrônicos de levantamentos topográficos de precisão e expeditos (autônomos ou de navegação), baseados na tecnologia GPS e com intercomunicação com sistemas informatizados de processamento de dados.

1.2.2 - Específico

- Indicar os limites de erros por classe de equipamento em função de sua utilização;
- Verificar a influência do fator escala na aceitação dos dados coletados e processados em um SGI;
- Indicar o melhor emprego dos equipamentos em função de suas limitações.
- Analisar a variação na estimativa de área obtida com os diversos equipamentos testados.
- Analisar a variação na determinação de coordenadas entre os equipamentos testados, comparando com referências precisas (marcos geodésicos).

2 – SISTEMA GPS

2.1 – Histórico

O emprego de sinais de rádio para determinar posições de objetos apareceu por volta de 1912, quando se tem notícia dos primeiros sistemas de rádio-navegação empregados pela marinha norte-americana. O sistema não possuía boa precisão mas era um grande avanço, principalmente como auxiliar nos sistemas tradicionais de posicionamento pelos astros, já dominado desde os primórdios da navegação marítima (Gorgulho 2001).

Este sistema teve uma grande utilização até a segunda grande guerra mundial, quando iniciou-se o uso de radar (Radio Detection and Ranging).

Após a segunda guerra no entanto, a marinha norte americana se preocupou em desenvolver um sistema mais preciso e absoluto para localizar e posicionar seus navios.

Já na década de 1960, apoiados nos fenômenos de variação de frequência do efeito doppler observado nos sinais transmitidos pelo primeiro satélite artificial a orbitar a terra – o SPUTNIK 1, cientistas norte americanos iniciaram os estudos para desenvolvimento de um sistema de localização baseado em satélites artificiais denominado “Navy Navigation Satellite System” – NNSS, mais conhecido como sistema Transit (Timbó 2000; Monico 2000).

O sistema empregava as frequências de 150 a 400 MHz transmitidas por uma constelação composta por 6 satélites de órbitas polares baixas (1.100 km de altura), com um período orbital de 107 minutos, o que resultava em um longo tempo de espera para posicionamento, ainda assim com precisão de várias centenas de metros (Relato GPS 1997).

Mesmo com estas limitações, em 1967 já se podia fazer uso civil desta tecnologia.

Para se realizar levantamentos mais precisos, eram necessários longos períodos em um mesmo ponto – 4 a 6 dias, onerando muito tais levantamentos, visto a logística necessária era grande, especialmente em locais remotos.

Ainda no final de década de 1960, a Força Aérea norte americana também já iniciava seus estudos em um sistema para posicionamento de aeronaves, o “612B Project”.

Outras instituições, especialmente universidades, também desenvolviam estudos sobre formas de localização, orientação e navegação empregando técnicas de rádio navegação e satélites artificiais.

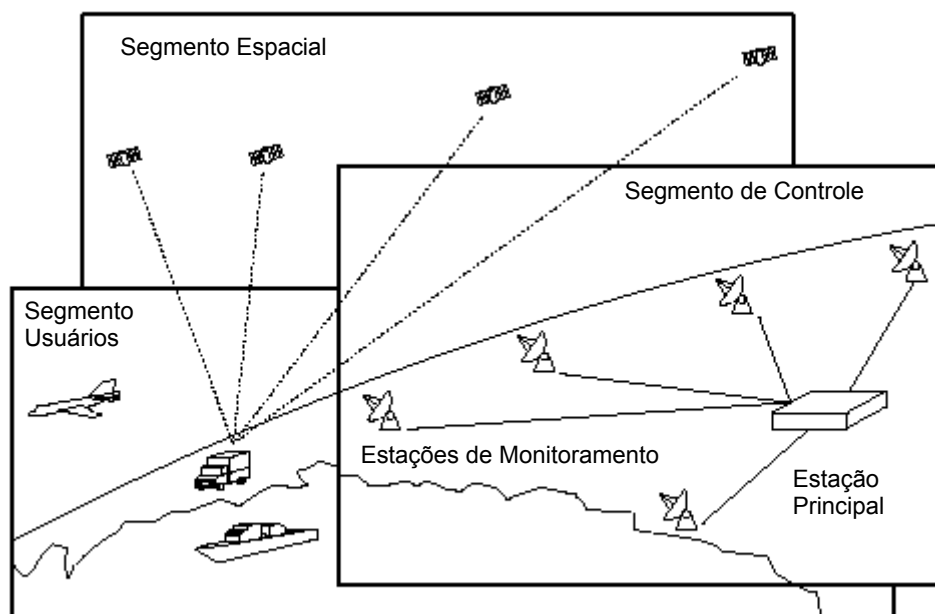
Assim, em 1973, buscando um esforço conjunto entre as diversas instituições, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD–Department of Defense), tornou-se o principal responsável pela coordenação deste novo sistema, que possibilitasse o posicionamento contínuo em tempo real, fornecesse uma precisão de centímetros e que permitisse a determinação instantânea de velocidade e tempo, suprimindo desta forma a necessidade do exército, da marinha e da aeronáutica. Este sistema recebeu o nome de NAVSTAR – GPS (Corrêa 2001).

2.2 – Composição do sistema GPS

Para uma melhor administração do sistema GPS, realizou-se uma divisão deste sistema em 3 componentes básicos, os quais são identificados por:

- Segmento Espacial
- Segmento de Controle
- Segmento de Usuários

A figura a seguir ilustra a interação entre estes 3 segmentos



Adaptado de http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol4 - 2003

Figura1: Representação dos 3 segmentos que compõem o sistema NAVSTAR-GPS

2.2.1– Segmento Espacial

Em 1978 foram lançados os 4 primeiros satélites que comporiam o sistema, denominados Bloco I, considerados protótipos para teste do sistema. Na primeira

metade da década de 1980 foram lançados os 7 satélites restantes do programa. Hoje, todos estão desativados. Em fevereiro de 1989 foi lançado o primeiro satélite do chamado Bloco II (figura 2), com seqüências de lançamentos de forma a compor uma constelação de 24 satélites até dezembro de 1993 (figura 3). Ao final deste período o sistema foi considerado operacional – IOC - Initial Operational Capability (Ferguson 1998)



Figura 2 – GPS Bloco II em órbita terrestre (www.dtic.mil/)

O componente espacial opera portanto com 24 satélites ativos mais 4 satélites reservas, conforme observado nos relatórios de planejamento do software “Planner” da Trimble Navigation (Anexo 1), e mencionado por Monico quando descreve o “status” dos satélites em junho de 2000 (Monico 2000).

Já outros autores como a Garmin (2000) e Baio (1999) citam 21 satélites mais 3 reservas. Ferguson (1998) cita 24 satélites mais 2 reservas. Exceto pelo documento da Garmin, esta discrepância entre autores pode ser explicada pela dinâmica do projeto GPS, uma vez que o programa continua em constante modernização do segmento espacial, com novos lançamentos, o último realizado em maio de 2000, posterior às publicações citadas.

Os 24 satélites ativos estão distribuídos em 6 planos orbitais distintos (da A até F), contendo 4 satélites em cada plano, a uma altitude aproximada de 20.200 km da superfície da terra (11.000 milhas náuticas). Tais planos estão distanciados entre si a 60° de longitude e inclinados 55° em relação ao plano equatorial terrestre. O período de revolução orbital é de 12 horas siderais, fazendo com que cada satélite antecipe sua posição em 4 minutos por dia, em relação ao dia anterior (Monico 2000, Ferguson 1997, The Aerospace Corporation 1997, Guerreiro 2002, Relato GPS 1997, Araújo 2001).

Da forma como foi concebido o sistema, fica garantido uma visibilidade mínima de 4 satélites a qualquer hora do dia em qualquer ponto do globo terrestre. Não havendo

obstruções e considerando a área de visão de horizonte a horizonte, pode-se considerar em 6 o número básico de satélites disponíveis em 100% do tempo.

Entretanto, o quesito mínimo de 4 satélites é assegurado para que se possa obter 3 dimensões nos dados obtidos a qualquer tempo.

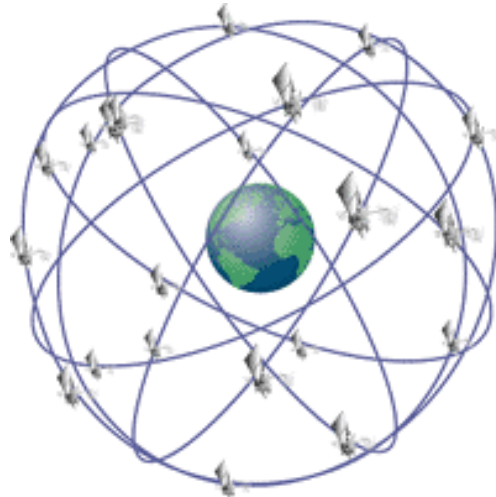


Figura 3 – Esquema da atual constelação de satélites (<http://gps.faa.gov>)

2.2.2– Segmento de Controle

Pode ser considerado o alicerce do sistema NAVSTAR-GPS, sendo composto por uma rede de 5 estações para monitoramento distribuídas ao longo da linha do equador (Hawaii, Kwajalein, Ascencion Island, Diego Garcia), e uma estação de controle central – MCS: Master Control Station, sediada em Colorado Springs, no estado de Colorado nos EUA. (figura 4) (Monico 2000, Ferguson 1998, Guerreiro 2002, Relato GPS 1997, Timbó 2000).

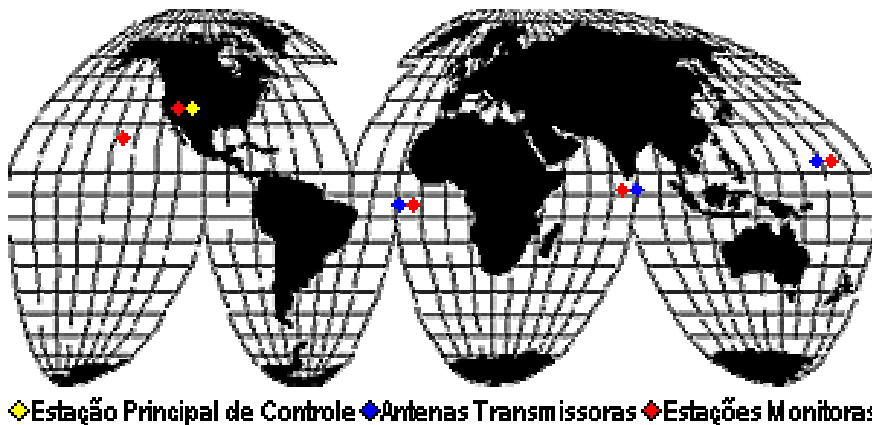


Figura 4 – Representação da localização das estações de controle terrestre do sistema GPS

Dentre estas estações, três tem a função de transmitir dados aos satélites — Ascencion Island, Diego Garcia e Kwajalein — de forma a corrigir o sistema de tempo, determinar as órbitas dos satélites (efemérides), atualizando as mensagens de navegação.

Estas informações são transmitidas pelos satélites aos receptores do segmento de usuários, compondo seu almanaque, permitindo assim a correta navegação.

2.2.3 – Segmento de Usuários

É composto pelos receptores de sinais de satélites em suas várias modalidades.

Os usuários podem ser separados inicialmente em dois grupos: de uso militar e de uso civil. Os militares têm alguns privilégios na utilização do sistema, principalmente quanto a precisão e exatidão do posicionamento, pois mesmos os receptores portáteis têm permissão de receber e processar códigos que garantem elevada precisão aos receptores. Além dos receptores portáteis, a utilização militar do sistema GPS é muito extensa, incluindo posicionamento de tropas, de veículos bélicos, aeronaves, programar manobras de treinamento ou de combate, além de poder ser empregado em armamentos teleguiados como mísseis, foguetes e aeronaves ditos inteligentes.

No uso civil, a gama de usuários é ainda maior, pois as aplicações desta tecnologia têm se mostrado ilimitadas. Pode-se encontrar receptores portáteis de diferentes graus de precisão e acurácia, dependendo da utilização ao qual é destinado: topografia, geodésia, controle de minas, monitoramento de estabilidades de grandes obras civis, aviação comercial, marinha mercante, rastreamento de veículos e frotas, controle de máquinas agrícolas, mapeamento ambientais, fonte de dados para sistema de informações geográficas – SIG, ou simplesmente para recreação, como pesca esportiva, caminhada, camping, vôo livre ou de aeroclubes, ralis automobilísticos entre tantas outras aplicações. Estas diferentes formas de uso exigem diferentes modelos de receptores que variam em precisão e conseqüentemente em preço.

Além do receptor, o componente usuário compreende ainda todos os sistemas que permitam receber e converter o sinal GPS em posição, velocidade e tempo, empregando para isso diversos tipos de antenas, softwares de comunicação PC/GPS e pós-processamento. Muitas das vezes há uma integração entre o sistema GPS e outros sistemas de comunicação, como sinais de rádio e de telefonia, sempre buscando elevar a precisão do posicionamento.

2.3 – Funcionamento do sistema GPS

O princípio básico de funcionamento do GPS é a obtenção da distância entre 2 pontos (receptor e satélite), sendo que um deles tem sua posição conhecida, sendo utilizada como referência. A determinação de um objeto (veículo, alvo, vértice etc) na superfície terrestre segue o princípio da triangulação, onde com um mínimo de 3 referências se obtém seu posicionamento, como suas coordenadas. Uma quarta referência adiciona a componente altitude, permitindo maior precisão na identificação e localização do objeto. (Guerreiro 2002).

Os satélites enviam sinais de rádio-freqüência baseado em uma freqüência fundamental (f_0) de 10,23 MHz. Desta se obtém 2 novas freqüências operacionais, multiplicando-se a f_0 pelas constantes 154 e 120, gerando as ondas portadoras na pertencentes a banda L, quais sejam: L1 e L2 respectivamente. Estas portadoras atuam com as seguintes características:

Portadora	Multiplicador	Freqüência operacional (Mz)	Comprimento de onda (λ)
L1	154	1575,42	$\cong 19,04$ cm
L2	120	1227,60	$\cong 24,44$ cm

Estas duas ondas portadoras são moduladas em fases, gerando códigos chamados de PRN – Pseudo Randon Noise – ruído falsamente aleatório, sendo únicos e empregados para identificação dos satélites. (Timbó 2000; Monico 2000; Relato GPS 1997).

Os códigos que formam o PRN são basicamente os códigos C/A e P.

O código C/A (Coarse Aquisition – fácil aquisição), é gerado por um algoritmo pseudo-aleatório, empregando o tempo dado pelos relógios atômicos dos satélites. Possui uma freqüência de 1,023 MHz ($f_0/10$) com comprimento de onda por volta de 300 metros. É o principal componente do Serviço de Posicionamento Padrão (SPS – Standart Positioning Service) disponibilizado para uso civil.

É este código que todos receptores de pequeno porte, chamados de “receptores de navegação”, utilizam para o posicionamento de modo autônomo.

O código P, sigla de Precise ou Protect – preciso ou protegido, é transmitido na mesma frequência da frequência fundamental: $f_0 = 10,23 \text{ MHz}$, gerando um comprimento de onda da ordem de 30 metros. (Monico 2000; Timbó 2000; Relato GPS 1997; Gorgulho 2001; Aerospace 1997).

A maior frequência e o menor comprimento de onda torna este código muito mais preciso que o código C/A, por isso ele é reservado ao uso militar e aos usuários autorizados. É conhecido como Precision Positioning Service – PPS. Sua geração segue algoritmos matemáticos complexos, de forma que sua frequência binária se repete a cada 266,4 dias, arranjados de forma a produzir 37 seqüências de códigos exclusivos, com duração de 7 dias, proporcionando a existência de 37 PRN's que identificarão cada um dos satélites transmissores.

Como segurança na sua utilização, é tratado com a técnica conhecida como AS – Anti-Spoofing (ante fraude), sendo também criptografado, transformando-se então no código Y.

Uma terceira modulação é realizada sobre as ondas portadoras L1 e L2, dando origem às mensagens de navegação, que são seqüências de dados transmitidos a uma razão de 5° bps (bits por segundo) e duração de 30 segundos, formando os quadros de dados. Cada quadro por sua vez é subdividido em 5 sub-quadros ou partes de 6 segundos cada, contendo mensagens conforme quadro a seguir:

Subquadro ou parte	Mensagem
1	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficiente ou parâmetros para correção do satélite transmissor; - Número da semana GPS; - Saúde do satélite transmissor; - Idade dos dados;
2	<ul style="list-style-type: none"> - Parâmetros orbitais – efemérides difundidas ou transmitidas, descrevendo a posição prevista e calculada para cada satélite, seus elementos orbitais kleperianos e suas correções. É composto por 16 parâmetros.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Mesma função do sub-quadro ou parte 2
4	<ul style="list-style-type: none"> - Informações dos almanaques dos satélites 25 a 32; - Modelos da ionosfera, possibilitando a correção do retardo causado na transmissão das ondas.

	<ul style="list-style-type: none"> - Modelos para conversão do tempo GPS em hora universal coordenada (GPST- UTC); - Informações do sistema anti-fraude (AS – Anti Spoof Flag) e configuração dos 32 satélites; - Saúde dos satélites 25 a 32; - Reserva para mensagens especiais
5	<ul style="list-style-type: none"> - Informações dos almanaques dos satélites 1 a 24; - Condições de operacionalidade dos satélites 1 a 24; - Informações para ajuste de tempo dos satélites.

Os dados das partes ou sub-quadros 1 a 3 se repetem nos quadros seguintes até que os dados sejam renovados, o que ocorre a cada 4 horas.

As partes 4 e 5 carregam dados diferentes em cada quadro, permitindo identificar e calcular as posições aproximadas dos satélites, informação fundamental para o planejamento dos trabalhos com GPS, compondo a base de dados de onde o receptor deve “procurar” o Satélite. Após a sintonia, a posição verdadeira é processada e o almanaque, assim como todos os demais dados transmitidos, são atualizados.

2.4 – Funcionamento do receptor GPS

Com o veloz avanço da tecnologia, especialmente da eletrônica, a cada dia novos receptores GPS são lançados no mercado com novas funções, assim como outros equipamentos vêm adotando a tecnologia GPS. Assim temos GPS integrado aos sistemas eletrônicos de automóveis, em telefones celulares, com rádio transmissores etc. No entanto, as funções básicas e a configuração física mínima para o funcionamento de um receptor GPS pode ser resumida em um esquema como o apresentado na figura 5.

Além dos componentes físicos, atualmente os receptores GPS devem apresentar um maior número de canais para recepção dos sinais dos satélites. O número e tipo de canais são considerados primordiais para o funcionamento do receptor, podendo ser divididos basicamente em três tipos: multicanais (canais dedicados ou paralelos), sequenciais e multiplexados.

Os multicanais rastreiam continuamente os satélites visíveis, necessitando de no mínimo quatro canais ativos para se obter uma posição em 3 dimensões e realizar a

correção do relógio em tempo real. Os receptores mais novos possuem até 12 canais para cada frequência.

Nos receptores seqüenciais, o canal alterna entre satélites em intervalos regulares. São de baixo custo, mas, devido a baixa velocidade de operação ficam restritos à aplicações estáticas ou quando muito, de baixa velocidade se operando em modo cinemático.

A técnica multiplex utiliza-se de velocidades muito altas para captura e processamento das seqüências de ondas recebidas, permitindo que elas sejam obtidas simultaneamente. Os receptores de canais multiplex necessitam de aproximadamente 30 segundos para obter a primeira posição, tal como os receptores multicanais, porém têm a vantagem de não considerar os efeitos sistemáticos existentes entre os canais.

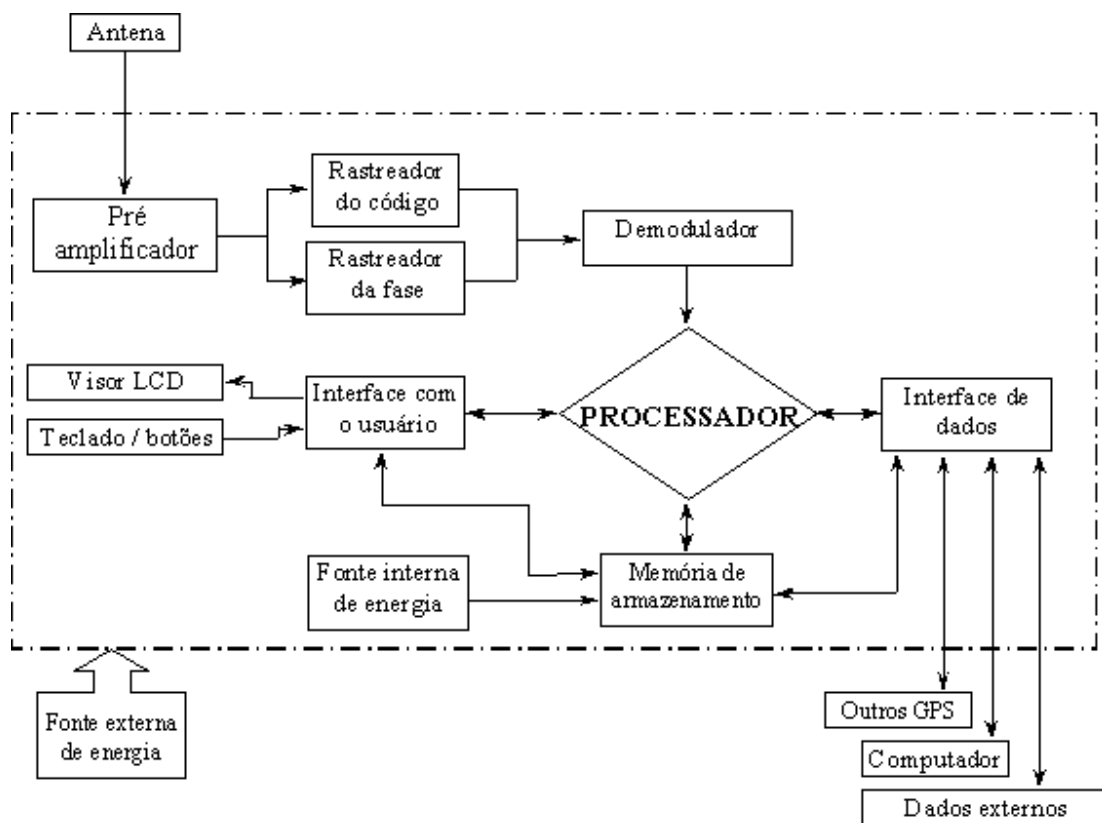


Figura 5 – Diagrama esquemático dos principais componentes de um receptor GPS.

2.5 – Limitações no emprego do GPS

O emprego dos receptores GPS está sujeito a uma série de interferências e desvios, podendo ser aleatórios ou sistemáticos, alterando a sua precisão e acurácia. Algumas destas interferências podem ser propositais e outras são de ocorrência natural. Estudos das diversas formas de interferências ou erros ocorridos, levou a um agrupamento destes erros em função de sua fonte (MONICO 2000), como pode-se observar na tabela 1 a seguir:

Fonte de erro	Erros
1 - Satélite	<ul style="list-style-type: none">- Erro de órbita- Erro do relógio- Atraso entre as portadoras
2 - Propagação do sinal	<ul style="list-style-type: none">- Refração troposférica- Refração ionosférica- Perda de ciclos- Multicaminhamento ou sinais refletidos
3 - Receptor e antena	<ul style="list-style-type: none">- Erro do relógio- Erro entre canais- Centro de fase da antena
4 - Estação	<ul style="list-style-type: none">- Erro nas coordenadas- Multicaminhamento- Marés terrestres- Movimento dos pólos- Pressão atmosférica
5 - Operador	<ul style="list-style-type: none">- Ajuste e configuração do equipamento- Estacionamento do equipamento- Planejamento das missões- Processamento e análise dos dados coletados

Tabela 1 – Classificação dos erros GPS em função de sua fonte.

Cada uma destas fontes e seus efeitos contribuem de forma diferenciada na totalização do erro de posicionamento. As 4 primeiras fontes são passíveis de correção automática ou semi-automática, uma vez que podem ser mensuradas e sistematizadas, realizando a correção no próprio receptor ou posteriormente, através de programas

computacionais especialmente desenvolvidos para esta finalidade, técnica que é conhecida como pós-processamento ou através da correção diferencial, quando são empregados dois receptores, sendo um considerado base ou de referência.

Estas fontes podem ter seus erros combinados gerando o UERE (User Equivalent Range Error), atuando sobre o cálculo das pseudodistâncias. Vários autores têm demonstrado valores médios estimados para estas fontes de erros, podendo ser resumida conforme exposto na Tabela 2:

Fonte de erro	Intervalo do erro típico (m)
Propagação do sinal (ionosfera, troposfera)	4,0 a 8,0
Relógio e efemérides	2,0 a 3,8
Receptor	0,5 a 1,5
Multicaminhamento	1,0 a 1,5

Tabela 2 – Variação na estimativa de erros GPS.

O operador poderá causar um efeito multiplicador sobre estes erros caso realize uma configuração inadequada ao receptor ou esteja desatento quanto as técnicas de coleta e armazenamento dos dados recebidos.

No período compreendido entre março de 1990 e maio de 2000 havia uma grande fonte de erro intencional conhecida por SA (Selective Availability – disponibilidade seletiva), que atuava sobre o código C/A, reduzindo propositalmente a qualidade dos dados de posicionamento para os usuários não autorizados, fazendo com que a acurácia horizontal e vertical obtida no SPS fosse degradada, gerando um erro final da ordem de 100 e 156 metros respectivamente, cujos valores eram aleatórios e variáveis a cada segundo.

Após a retirada da SA, em maio de 2000, o DoD implementou um novo tipo de controle da acurácia para os receptores de uso civil, conhecido como SD – Selective Denial (proibição seletiva), onde uma base terrestre regional realiza alterações nos sinais transmitidos pelos satélites, sempre que julgarem existir uma ameaça à segurança norte americana.

A quinta fonte de erro, ou seja, o operador do equipamento, é a mais imprevisível das fontes pois atua de forma aleatória podendo levar a perda total dos dados obtidos.

Uma necessidade premente para o bom funcionamento do GPS é que o receptor e satélite tenham intervisibilidade, ou seja, que não exista obstáculos entre ambos, ou que estes sejam mínimos. Os sinais de radiofrequência transmitidos pelos satélites têm

capacidade de ultrapassar nuvens, fuligem, poeira e outros materiais menos densos, cuja porosidade permita a penetração da onda. No entanto, obstáculos de alta densidade como dosséis de florestas, prédios, montanhas, telhados, tornam-se obstáculos intransponíveis aos sinais, impedindo sua recepção e conseqüentemente tornando impossível o posicionamento.

Os sinais de rádio transmitidos pelos satélites têm que atravessar todas as camadas da atmosfera terrestre até alcançar o receptor GPS. Nesta trajetória, os sinais sofrem diversas influências que trazem alterações em suas características pois a atmosfera terrestre tem um comportamento dinâmico, que varia ao longo do dia. A troposfera causa variações que variam de acordo com a densidade da massa gasosa que estiver concentrada nesta camada, acentuando-se em sinais provenientes de ângulos de elevação mais baixos. Seus efeitos já são bem conhecidos, havendo diversos modelos matemáticos que procuram corrigir sua interferência sobre as ondas eletromagnéticas. A refração ionosférica depende do número de elétrons presentes ao longo da trajetória da onda, sendo que este varia conforme as atividades solares, estação do ano, posição do operador, podendo levar a perda de sinal pelo receptor devido ao grande enfraquecimento do sinal. Esta atividade também é mensurável e previsível, já existindo alguns modelos matemáticos que buscam equacionar seus efeitos no intuito de eliminá-los.

Quando se trabalha com o receptor GPS em locais abertos, cujos ângulos de horizonte a horizonte são de grandes proporções, dificilmente ocorre a perda de ciclos. Esta falha ocorre quando algum obstáculo impede que os sinais de um ou mais satélites cheguem à antena do receptor quando este está rastreando os ciclos inteiros de ondas, ocasionando a perda da contagem deste número pelo receptor, necessitando então de reiniciá-la. Neste intervalo, o processamento é interrompido pela perda de sinal ou ciclo, não realizando o posicionamento.

Um efeito comum e gerador de erros no posicionamento é o chamado multicaminhamento. Este efeito é provocado pela reflexão das ondas em algum obstáculo físico tal como paredes de prédios, paredões de pedra, espelho d'água, entre outros, fazendo que o receptor capte os sinais refletidos nestas superfícies e os processe juntamente com os sinais recebidos dos satélites, provocando então uma duplicidade de informações que resultam no aumento do erro em cerca de 1 metro (GARMIN 2000).

Os erros relacionados ao receptor e sua antena são conseqüência de seu projeto e finalidade. Os receptores são equipados com relógios de quartzo, de custo baixo mas de

boa estabilidade, embora muito inferior à dos relógios atômicos que equipam os satélites. Assim a uma pequena diferença entre a escala de tempo geradas pelos diferentes osciladores poderá existir, sendo previsível e corrigida, contribuindo pouco para o erro final calculado. Atualmente, os receptores são compostos de multicanais. Esta arquitetura pode vir a gerar pequenos erros visto que cada satélite será processado por um canal diferente. A cada início de levantamento, durante a inicialização do equipamento, são efetuados testes internos nos receptores para que esta defasagem seja aferida, porém podem ocorrer erros residuais que serão processados ao longo de toda seção de tomada de dados. O processamento posterior, quando presente, elimina estes erros. O centro de fase da antena é o ponto onde os sinais são referenciados, normalmente não é coincidente com o centro de massa ou o geométrico da antena, pois é eletrônico, sofrendo variações com a intensidade e direção dos sinais recebidos. É diferente para cada comprimento de onda, devendo ser testado e calibrado ainda no projeto da antena, para que seja minimizado após sua construção e operação. Já existem normas para sistematizar e corrigir esta fonte de erro.

Os erros gerados pelas estações são decorrentes de sua alocação. Considerando que uma estação tem suas coordenadas calculadas, estas podem conter erros que são continuamente corrigidos, buscando alcançar o posicionamento perfeito, uma vez que estas estações são utilizadas para monitorar e corrigir o posicionamento, órbita etc, dos satélites. Esta correção contínua sofre interferência das marés que variam constantemente em virtude das atrações gravitacionais da terra, do sol de principalmente da lua, levando também a um monitoramento contínuo de suas variações através dos marégrafos, para os necessários ajustes nos *data* verticais.

Os maiores erros obtidos em posicionamentos e levantamentos em geral, são causados pelos operadores. Durante a calibração dos equipamentos é comum verificar a desatenção quanto ao *Datum* utilizado no receptor e a base cartográfica empregada no levantamento, sem considerar que originalmente os receptores GPS trabalham com o *Datum* WGS 84, ao passo que o *Datum* oficial do Brasil é o SAD 69 e a grande maioria das cartas topográficas oficiais do país estão referenciadas pelo *Datum* Córrego Alegre. O ajuste do fuso horário é outra possível fonte de erro, caso o operador não realize a correta configuração do receptor. No Brasil temos 3 fusos horários, embora a hora oficial civil seja baseada em -03:00 horas, fuso onde se encontra a capital federal. Nos equipamentos de maior precisão, que permitem maiores ajustes e interferências do operador em sua programação, uma série de cuidados deverão ser observados ao serem

estacionados, tais como altura da antena e seu centro de fase, verticalidade, obstáculos, máscara de elevação do horizonte, relação sinal ruído entre outros para que se minimize a possibilidade de coletar dados com erros provenientes de multicaminhamento, perda de ciclo e de sinal, número mínimo de satélites visíveis e em processamento e geometria da constelação de satélites no momento da coleta de dados e posicionamento. Para isso o planejamento das missões GPS é fundamental. É neste instante que pode-se obter uma expectativa com alto grau de confiabilidade do comportamento da constelação de satélites durante a campanha de campo, através do planejamento com programas computacionais ajustados à região de trabalho e um almanaque atualizado da constelação, prevendo com até 30 dias de antecedência o número de satélites visíveis e sua geometria ao longo do dia, evitando o processamento nos momentos em que a degradação do sinal esteja elevada.

3 – REVISÃO DE LITERATURA

Com a crescente popularização do GPS, especialmente dos receptores de baixo custo, ou seja os receptores pessoais de navegação, alguns trabalhos tem sido desenvolvidos buscando testar sua capacidade para executar levantamentos que envolvam traçado de trilhas, demarcação de áreas e perímetros, localização de pontos isolados, muitas das vezes querendo substituir os levantamentos topográficos tradicionais.

BAIO F.H.R. et al (1998) realizou testes de exatidão em um receptor gps sob duas taxas de aquisição de dados para delimitação de área sob cobertura florestal. Comparando seu resultado com a área obtida em levantamento convencional, obteve resultados que indicaram a menor taxa de aquisição (1 s) como apresentando a melhor resposta, visto que obtém um maior número de pontos definindo melhor a poligonal, embora esta poligonal gerada se posicionar deslocada. Assim considera que área não é um bom parâmetro para avaliar receptores pois aproxima-se muito da área verdadeira mas apresenta erro de posicionamento.

Em um outro trabalho também para avaliação de área, BAIO F.H.R. (1999), cita que num comparativo entre o levantamento convencional e o realizado pelo GPS encontrou-se um erro de 0,5% entre áreas sem correção diferencial (330,00 acres contra 328,36 acres da topografia), 0,06% ou 0,2 acres de diferença quando se aplicou a técnica de correção diferencial, confirmando a boa precisão na determinação de área quando se emprega receptores GPS com capacidade de correção diferencial.

ARANA, J.M. et al realizou análise da influência do tempo de rastreamento, comprimento da base e PDOP para solução de ambigüidade GPS. Foi elaborado o procedimento padrão de uma campanha, identificando os pontos a serem rastreados, planejando a missão, os procedimentos de coleta e processamento dos dados. Com base neste planejamento observaram que há uma grande dificuldade de se relacionar tais fatores para o sucesso da solução da ambigüidade, sendo que o RDOP mostrou ser mais indicado para resolver a ambigüidade, porém este parâmetro não consta nos programas de planejamento disponíveis no mercado.

SANTOS, A.A. et al (2002) avaliando receptores de navegação para fins de cadastro, indica a necessidade de manter tais equipamentos conectados a computadores portáteis, empregando softwares de captura, processamento e armazenamento de dados

para se conseguir o resultado desejado. Isto decorre devido ao fato de que alguns equipamentos de navegação embora tenham a capacidade de captar os dados brutos transmitidos pelos satélites, não são capazes de armazená-los, sendo portanto imprescindível o uso dos computadores. Uma vez assim procedido, os resultados obtidos indicam uma precisão semelhante aos equipamentos de monofreqüência.

“Distribuir insumos nos locais corretos e nas quantidades requeridas”. Esta foi a finalidade do teste de acurácia cinemática de um DGPS utilizado na agricultura de precisão desenvolvido por BALESTREIRE, L.A. et al (2000), numa área do Campus “Luiz de Queiroz” da USP, sob condições de um mínimo de 7 satélites disponíveis e PDOP menor que 5. O autor obteve uma distribuição normal dos erros, com acurácia de acordo com as expectativas, com o GPS mostrando-se um equipamento eficaz e com acurácia suficiente para a grande maioria dos trabalhos realizados na agricultura de precisão.

CHAMBERLAIN, K. e MANCEBO S. realizaram análise de 4 receptores GPS de navegação sob cobertura arbórea em Óregon para o Serviço Florestal Americano, visando identificar sua acurácia para o padrão cartográfico americano 1:24000 quando em levantamentos para fins florestais. Os receptores foram testado no Bosque Nacional de Mt. Hood, criado para testar equipamentos GPS de códigos civis (C/A) e militar (P) sob cobertura arbórea densa. Os resultados indicaram uma precisão aceitável em cartografia para dados obtidos a céu aberto e não aceitável como receptores topográficos sob cobertura florestal. Com um maior número de observações por ponto melhora-se muito a precisão mas ainda assim com resultados não aceitáveis sob cobertura vegetal. Os autores consideram que devido ao ajuste de PDOP e SNR de forma a permitir captura de sinal sob qualquer condição elevam em demasia o erro final dos receptores, permitindo que sejam empregados apenas em escalas superiores a 1:24000 para os padrões norte-americanos.

ÂNGULO FILHO, R. e BAIO, F.H.R. avaliaram a exatidão de dois receptores GPS (topográfico e geodésico), sob condições desfavoráveis de PDOP, acima do limite aceitável ($PDOP > 5$). Os receptores atuaram processando códigos L1 e C/A armazenando arquivos em diferentes tempos de aquisição e sob duas condições: livre de obstáculos e com obstáculos que interferiam parcialmente nas recepções. Os seus resultados mostraram que um tempo maior de coleta pode trazer o nível de erro para um limite aceitável, mas o receptor topográfico quando operado com código C/A apresenta erros acima dos limites aceitáveis, não se mostrando eficaz nos cálculos de

posicionamento para os limites estabelecidos de erros neste modo de operação e para este tipo de equipamento, havendo necessidade de se planejar bem as missões, procurando manter os limites de PDOP abaixo do crítico durante a coleta de posicionamento.

KARSKY, D. et al (2000), compararam 4 receptores GPS, sendo dois de navegação, um topográfico monofrequência e um de código C/A mas que aceita pós-processamento, sob cobertura arbórea para o Serviço Florestal Norte-americano, em dois bosques distintos, coletando dados em três parcelas de tamanho e forma diferentes. Os resultados mostraram uma melhoria no posicionamento quando empregado antena externa nos receptores que tinham tal capacidade. A navegação com correção em tempo real pode não melhorar significativamente o erro, uma vez que dependendo da distância da base, os sinais podem ser bloqueados e não são corrigidos levando a uma interpretação errônea dos resultados obtidos. O pós-processamento quando disponível, é mais interessante e seguro. Para um melhor resultado, deve-se observar sempre uma boa qualidade da constelação de satélites (número, geometria, intensidade de sinal). Os receptores de navegação apresentam bons resultados sob céu aberto, cobertura florestal pouco densa e PDOP baixa, chegando a se equiparar com o receptor topográfico sem correção pós-processada. A medida que a cobertura florestal se adensa, o erro aumenta, especialmente nos receptores mais sofisticados cujas máscaras restringem a captura de sinais fracos ou ruidosos.

CORRÊA D.C. et al enfatizam a importância do GPS como coletores de dados para alimentação de um SIG, sendo que consideram que a escolha do modelo de receptor dependerá da aplicação a que se destina o banco de dados a ser formado, uma vez que “nem todos os receptores GPS têm a capacidade de atender plenamente a um SIG e um modelo de receptor não satisfará todo e qualquer projeto de SIG”.

BAIO, F.H.R. et al (1998), avaliou a exatidão de dois receptores GPS de navegação para determinação de medidas estacionárias, tomando como base dois marcos localizados no Campus Luiz de Queiroz da USP. Os trabalhos foram planejados pelo software “Mission Planning” da SHTECH, procurando executar as coletas com PDOP menores que 5. Seus resultados indicaram a necessidade de coletar um maior número de coordenadas por ponto para fornecer uma média mais próxima do valor real. A amplitude do erro foi independente dos valores de DOP, desde que esteja abaixo de 5, com grande amplitude de valores, fato que é característico desta classe de equipamento. Os autores não recomendam o emprego dos receptores de navegação para

levantamentos topográficos ou para fins de georreferenciamento, uma vez que estes aparelhos fornecem sempre um valor aproximado das coordenadas.

Como observação às conclusões deste trabalho julgamos necessário lembrar que a avaliação foi realizada num período em que a SA – disponibilidade seletiva, estava em atividade.

Em um trabalho de teste de acuracidade de receptores de navegação para aplicação em trabalhos topográficos sob efeito da SA, BAIO, F.H.R. et al (1998) encontraram erros da ordem de 1/65 e 1/148, ultrapassando a tolerância linear comumente aceita para levantamentos topográficos pouco aprimorados, que é de 1/2000. Mesmo na questão do erro angular, este se apresentou acima de 1', muito acima dos teodolitos mecânicos já em desuso. Portanto à época da influência da SA os equipamentos de navegação eram inadequados para levantamentos topográficos.

SILVA, D.C. et al (2002) realizaram um trabalho com GPS topográfico operando com código C/A e portadora L1 no método estático-rápido, com dados pós processados, em levantamentos de projetos rodoviários. Os resultados mostraram que o emprego do GPS auxilia sensivelmente algumas fases dos procedimentos operacionais empregados nos levantamentos de campo para os projetos rodoviários, com significativos ganhos de produtividade e precisão, quando executados os levantamentos de diretrizes, poligonais de locação e perfis. Assim, consideram que a tecnologia GPS pode substituir inteiramente os procedimentos convencionais em algumas fases como a implantação de poligonal de controle, controle de serviços contratados, suprir deficiência de bases cartográficas, especialmente nos projetos de melhorias e restaurações.

4 – METODOLOGIA

Os trabalhos deste comparativo foram desenvolvidos a partir de especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes de equipamentos eletrônicos de medição e de normas para coleta de dados de campo.

Serão realizados levantamentos sistemáticos em uma área pré-selecionada, de forma a fazer o mesmo levantamento empregando os aparelhos: Estação total Topcon série 210 modelo GTS 212, GPS Trimble Pró XR, GPS de navegação autônomos, modelos Garmin 12 XL, Garmin II, Garmin III plus, Garmin 45 XL e Garmin eTrex Summit.

Serão empregados os softwares para processamento de dados: Pathfinder Office 2.51, Sistema TopoGRAPH, sistemas internos dos aparelhos e o software GPS TrackMaker Professional versão 3.5.

As campanhas de campo serão planejadas com o software Planner da Trimble, emitindo relatórios de valores de DOP e gráficos de PDOP e nº de satélites disponíveis (Anexo I).

Para análise e elaboração de resultados deverão ser empregados os softwares Spring em sua versão 3.6.03 para windows® e a planilha eletrônica Excel®.

Os aparelhos serão submetidos a diferentes formas de ajustes, tais como recepção de sinais da portadora e C/A, apenas C/A, emprego de antena externa e interna, coleta de dados para delimitação de área e demarcação de pontos fixos, tomando como base de referência um marco de coordenadas conhecidas no Campus da UFMG

Os dados deverão ser processados internamente nos aparelhos que permitirem tal operação ou pós processados para correção diferencial através de softwares específicos.

Todos os dados alimentarão um banco de dados gerados no SPRING, ajustados e calculadas as áreas, realizando então uma análise da variação encontrada, assim como da dispersão de pontos em torno de um marco cujas coordenadas sejam conhecidas e verdadeiras.

A base para coleta de dados destinada aos testes será a demarcação de uma poligonal fechada que permita estabelecer sua área e perímetro com precisão, tomando como verdadeira a área e perímetro estabelecidos pela Estação total Topcon, visto que é o aparelho cuja metodologia mais se aproxima dos levantamentos tradicionais, com

critérios bem definidos e aceitos por todos órgãos regulamentadores de serviços topográficos e normas estabelecidas para tal.

Um marco fixo de coordenadas conhecidas será empregado para comparação apenas entre os receptores GPS.

Todos os aparelhos deverão mensurar os mesmos vértices da poligonal e permanecerem estacionados sobre o mesmo marco, para que se possa obter os dados necessários à análise comparativa. Para isso serão empregados 7 equipamentos, cujas características principais e relevantes para este trabalho são:

Estação total eletrônica Topcom, série 210, modelo GTS 212 (Figura 6a) – possui objetiva de 40 mm, aumento de 26x, campo de visão de 1° 30' com resolução de 3". Tem um alcance de medição de 1.000 metros empregando-se um prisma em condições de boa visibilidade. Sua precisão é de $\pm 3 \text{ mm} + 5 \text{ ppm}$. Tem capacidade para armazenar 4.800 coordenadas no modo de coleta de dados, com tempo de medição abaixo de 0,3 segundos. Possui interface com computadores via porta serial RS 232, gerando arquivos compatíveis com o sistema topoGRAPH® e planilha eletrônica Excel®.

GPS Trimble Pró XR (Figura 6b)– é um receptor que atua com o código C/A e portadora L1, rastreando 12 satélites simultâneos e em paralelo, com processamento da portadora. Pode trabalhar com receptor de rádio farol para navegação em tempo real e correção pós processada. Possui uma velocidade de atualização de 1 Hz. Sua precisão é melhor que 1 metro quando operando com o rádio farol. Quando em processamento da portadora, possui precisão de 30 cm + 5 ppm para 5 minutos de rastreo, 20 cm + 5ppm par 10 minutos de rastreo e 1 cm + 5 ppm para 45 minutos de rastreo. A capacidade de armazenamento depende do coletor de dados empregado e suas características. No caso deste trabalho o coletor possui memória de 2 Mb.

GPS Garmin 12 XL (Figura 6c)– trata-se de um receptor de pequeno tamanho, leve e fácil de operar. Está equipado com firmware versão 4.58, possuindo 12 canais paralelos, operando de sob código C/A em modo contínuo e taxas de atualização fixada em 1 segundo. Segundo o fabricante (Garmin, 1998), sua precisão de posição está na faixa de 15 metros utilizando-se a antena interna, podendo alcançar precisões abaixo de 10 metros empregando-se antena externa ativa e de 1 a 5 metros quando em conjunto com um receptor de sinais de rádio farol, como o modelo GBR 21. Este posicionamento poderá ser ainda melhorado se utilizada a função média (average), disponível ao acionar a tecla “mark” durante a coleta de pontos. O emprego da antena

externa ativa proporciona um ganho aproximado de 25 db, no caso das antenas modelos GA 26 ou SM 76, possibilitando uma sensível melhoria na aquisição de sinais e conseqüentemente melhoria no posicionamento. Sua capacidade de armazenamento é de 500 pontos individuais (waypoint), e 1024 pontos em forma de trilhas (tracklog). Outra função importante deste receptor é a capacidade de se calcular área de um polígono formado pelos pontos obtidos na gravação de uma trilha (tracklog).

GPS Garmin 45XL (Figura 6d) – firmware 2.43 – é o receptor mais antigo dos modelos testados, mas também ainda muito utilizado, principalmente por órgãos públicos. Possui 8 canais de recepção em paralelo, rastreamento contínuo e taxa de aquisição de 1 segundo. Tem capacidade de armazenar 250 pontos individuais (waypoint), distribuídos em 20 rotas reversíveis, além de 768 pontos ou vértices de uma trilha (tracklog). Possui antena destacável, aceitando conexão com uma antena passiva, não apresentando portanto nenhum ganho de sinal, apenas reduz a possibilidade de perda do sinal por cobertura do receptor da mesma forma que o GPS II anteriormente mencionado.

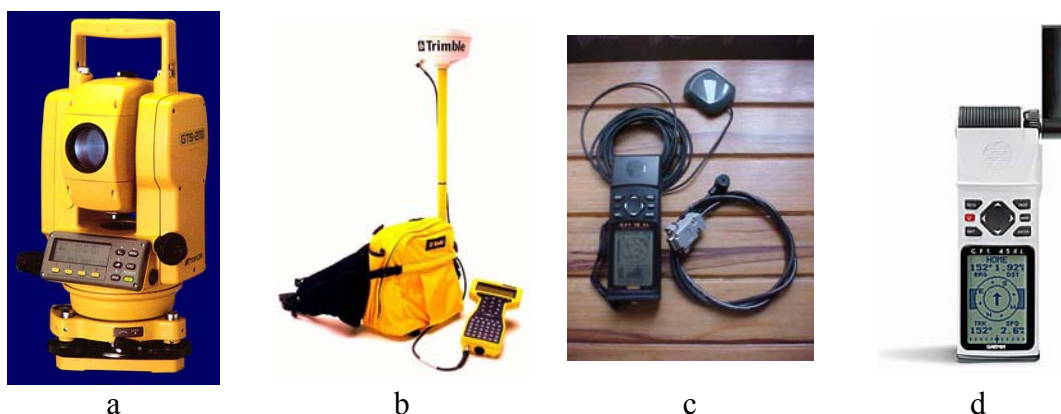


Figura 6 - Ilustração dos equipamentos Estação Total Topcom GTS 212 (a), GPS Trimble PróXR (b), GPS Garmin 12 XL e antena externa (c), GPS Garmin 45 XL (d).

GPS Garmin III plus com firmware versão 2.05 (Figura 7a). Este receptor também possui a tecnologia “Phasetrack 12”, com capacidade de rastreamento de 12 satélites simultânea e continuamente, com taxa de atualização de 1 segundo. Para a função de gravação de trilhas (tracklog), é possível configurar a forma de aquisição dos pontos, podendo ser por distância entre pontos, resolução e por tempo de aquisição, permitindo um ajuste de incremento a cada 1 segundo. É de pequenas dimensões e leve. Sua operação é menos direta que o receptor 12XL, uma vez que possui mais opções de menus. No entanto após a familiarização com suas funções mostra ser um aparelho de

fácil operação. Tem capacidade para armazenar 500 pontos individuais (waypoint), e 1024 pontos para demarcação de trilhas. Possui um mapa eletrônico básico, onde apresenta as principais rodovias, cidades, lagos e outras características de maior relevância disponibilizada e autorizada pelo governo. Sua antena é destacável, podendo ser substituída por uma antena ativa com cabo de maior comprimento, proporcionando ganhos na captura de sinal. Este ganho dependerá do modelo de antena utilizado, sendo mais comuns as antenas de 25db e 36 db. Sua performance em termos de precisão, segundo o fabricante, é semelhante à do 12 XL (Garmin, 1999).

GPS Garmin II – firmware 2.07 (Figura 7b) - é um receptor de geração anterior ao 12XL e III Plus, mas ainda muito utilizado. Possui 8 canais paralelos de rastreamento simultâneo e contínuo, com taxa de atualização de 1 segundo. É pequeno, leve e muito simples a sua operação, possuindo poucos menus, sendo mais direto o acesso à informação que se deseja. Sua antena é destacável, podendo ser substituída por uma antena externa, porém não aceita antenas ativas. Neste caso não há ganhos de sinal. A única vantagem desta antena é a possibilidade de posicionamento acima de alguns obstáculos como teto de automóvel e copa de árvores não muito altas. Tem capacidade de armazenar 250 pontos individuais (waypoint) e 768 pontos para demarcação de trilhas, com tempo de aquisição programável a incrementos de 1 segundo. Sua precisão está entre 5 e 10 metros se conectado a um receptor de sinais de rádio farol e de 15 metros com antena normal (Garmin, 1996).

GPS Garmin eTrex Summit (Figura 7c) – firmware 2,10 – é um receptor mais recente que, como os demais da Garmin, se caracteriza pelo pequeno porte, leveza e facilidade de operação. Possui 12 canais paralelos para rastreamento simultâneo e contínuo, contando com uma antena interna (inclusa na parte superior do corpo do receptor), não sendo possível a conexão com antena externa. Segundo o fabricante, possui uma precisão de 1 a 5 metros quando operando junto a um receptor de rádio farol e 15 metros em condições normais – apenas com antena interna (Garmin, 2000). Tem capacidade para armazenamento de 500 pontos individuais, distribuídos em 20 rotas reversíveis, além de 3000 pontos ou vértices empregados para demarcação de trilhas. Pode ser configurado quanto ao tempo de aquisição de vértices, com incrementos de 1 segundo e controle de pontos obtidos na estimativa de coordenadas médias. Seu maior diferencial é a presença de bússola magnética eletrônica e gravação de altitude, visto que possui um altímetro barométrico.



a



b



c

Figura 7 – Ilustração dos equipamentos GPS Garmin III plus (a); GPS Garmin II (b) e GPS Garmin eTrex Summit (c).

5 – DESENVOLVIMENTO

5.1 - Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na região noroeste da cidade de Belo Horizonte. É pertencente a UFMG, sendo delimitada pelas avenidas Presidente Carlos Luz (“Av. Catalão”) a nordeste, Av. Professor José Vieira de Mendonça à Oeste e pelo Anel Rodoviário (união das rodovias federais BR 262 e 381), a sudeste (Anexo II).

Como definição de um projeto a ser desenhado os diversos polígonos obtidos com os diferentes receptores GPS, estabeleceu-se as seguintes coordenadas:

	Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
Lim. inferior	7799952.978	606715.421	S 19° 53' 37”	O 43° 58' 50”
Lim. Superior	7801805.492	608035.331	S 19° 52' 37”	O 43° 58' 05”

Datum horizontal: SAD 69

Ao longo do perímetro desta área há uma grande variação de condições de visibilidade do céu, ocorrendo trechos de completa desobstrução, como ocorre nas proximidades do vértice 24 (Figura 8), trechos com obstrução próxima aos vértices no lado norte como nos vértices 13 a 15 localizados no Anel Rodoviário (Figura 9), vértices sob cobertura arbórea (Figura 10) e trechos sem cobertura mas com obstrução próxima de ambos os lados, como na Rua Prof. José Vieira de Mendonça (Figura 11).



Figura 8 – Área desobstruída próxima à localização do vértice 24.



Figura 9 – Trecho do Anel Rodoviário, próxima ao vértice 14, com barranco obstruindo parcialmente a face norte.

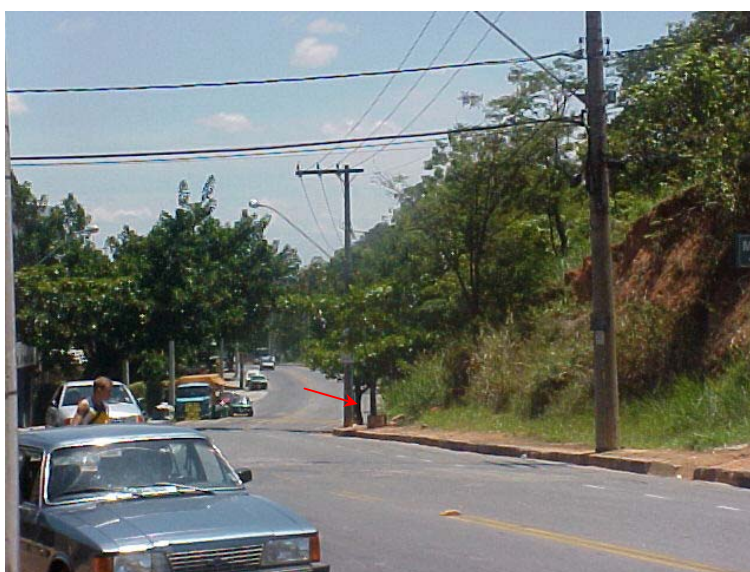


Figura 10 – Vértice 10, localizado sob cobertura arbórea.



Figura 11 – Obstruções próximas ao vértice 2, localizado na Rua Prof José Vieira de Mendonça.

O marco utilizado para determinação de ponto fixo ou vértice, tomado como base de referência comparativa localiza-se no campus da UFMG (Figura 12), próximo ao Instituto de Geociências, cujas coordenadas são:

	<p>Vértice Nº 01</p> <p>Nome: <u>IGC II</u></p> <p>Descrição: <u>Marco de concreto afixado em solo gramado, livre de obstruções</u></p> <p>Longitude: <u>608.839,22</u></p> <p>Latitude: <u>7.802.679,22</u></p> <p>Altitude: <u>820,72</u></p>
--	---

Figura 12: Marco IGC II utilizado como base de referência comparativa.

5.2 – Obtenção dos Dados

Para a delimitação da poligonal foram alocados 25 vértices de forma a envolver a área pertencente à UFMG, como pode ser observado na figura 13.



Figura 13 – Poligonal determinada pela Estação Total, sem os vértices 9, 10 e 11, sobre imagem aérea da área de estudo.

O processo de delimitação teve início com a estação total, realizando visadas no alcance máximo permitido pelo traçado das vias, empregando como objeto de visada um bastão de 1,70 m com um prisma.

O polígono determinado pela estação teve o vértice nº 1 georeferenciado, cujas coordenadas foram obtidas com o GPS Trimble Pró XR estacionado sobre ele, coletando-se dados por 30 minutos, dados estes que foram pós processados no software

Pathfinder Office 2.51, utilizando-se como base a estação da Santiago & Cintra de Belo Horizonte.

O emprego da estação total como primeiro equipamento teve por finalidade determinar os vértices que posteriormente seriam utilizados pelos demais equipamentos. Os vértices foram materializados por piquetes de madeira cravados no solo.

Após a coleta dos dados, estes foram transferidos para um computador e processados com o software topoGRAPH 98 SE, versão 2.68. O relatório gerado pode ser observado no Anexo VI.

O segundo equipamento a ser utilizado foi o GPS Trimble Pró XR, configurado para uma máscara de 15° ao horizonte, DOP máximo igual a 5, número mínimo de satélites visíveis igual a 5. A antena foi ajustada para 1,70 metros de altura do solo.

Nos vértices previamente demarcados pela estação total foram realizadas observações com 2 minutos para coleta de dados, por vértices.

Este receptor teve dificuldades em captar e processar o sinal GPS nos vértices onde havia obstrução por cobertura da antena, mesmo que parcial, provocada por copa de árvores de pequeno porte (figura 10). Assim, nos vértices 9, 10 e 11 não foram determinadas as coordenadas sendo desconsiderados no comparativo do cálculo das áreas.

Os dados coletados foram transferidos para um computador e processados pelo software Pathfinder Office 2.51, considerando os dados da antena instalada pela Santiago & Cintra em Belo Horizonte como base para pós processamento.

Ainda nesta mesma campanha de campo foram coletados dados com o GPS Garmin 12 XL, utilizando antena externa ativa modelo SM 76, cujos ganhos de sinal estão em torno de 25 db. Todos os 25 vértices tiveram suas coordenadas demarcadas, colocando-se a antena sobre o piquete e aguardando 2 minutos de processamento de sinal antes de demarcar o ponto, esperando que desta forma houvesse uma correta atualização do posicionamento e permitindo uma marca de maior confiança.

Após a coleta de posição dos 25 vértices, os dados foram transferidos para o computador com o software GPS TrackMaker Professional versão 3.5. O arquivo gerado foi exportado no formato DXF versão R12, para posterior importação pelo software Spring.

Na segunda campanha de campo foram empregados os receptores Garmin 12 XL sem antena externa, GPS Garmin 45 XL com antena padrão e o GPS Garmin 2 com

antena externa passiva, ou seja, que não apresenta ganhos de sinal mas minimiza as perdas deste por cobertura pouco densa.

Da mesma forma que os equipamentos anteriores, os receptores foram posicionados sobre os piquetes que representam os vértices da poligonal, 2 minutos foram aguardados e só então os procedimentos de demarcação das coordenadas foram feitos. Os 25 pontos coletados foram transferidos ao computador, empregando-se o software GPS TrackMaker Professional versão 3.5, e exportados no formato DXF R12 para posterior importação pelo software Spring.

Estes três receptores não acusaram perda de sinal (ou ciclo), durante todo levantamento, como era de se esperar para um receptor atuando sob o código C/A e sem barreiras físicas densas especialmente por cobertura das antenas.

Uma terceira campanha de campo foi realizada para coleta das coordenadas, empregando-se os receptores Garmin3 plus com antena padrão e GPS Garmin eTrex Summit, também com antena padrão. Neste caso, integrada ao corpo do receptor.

No receptor 3 plus também é possível conectar uma antena externa ativa, não realizado neste teste por não possuímos tal antena com o conector adequado ao modelo de receptor (conector BCN).

Estes dois receptores também não apresentaram perda de sinal.

Os dados coletados sofreram o mesmo procedimento dos demais receptores, sendo transferidos ao computador pelo software GPS TrackMaker Professional versão 3.5 e exportado no formato DXF.

Devido à limitação de vértices imposta pelo GPS Trimble Pró XR, o qual não capturou dados nos vértices 9, 10 e 11, estes vértices foram eliminados da poligonal de todos receptores para efeito de cálculo da área e perímetro.

Na tabela 3 são apresentados os valores de longitude e latitude em UTM dos vértices demarcados, obtidos com a estação total e todos os receptores GPS analisados.

Para o teste de posicionamento (Figura 14) colocou-se os receptores GPS de navegação ligados sobre o marco geodésico IGC II, permanecendo 5 minutos rastreando sinais antes de iniciar a coleta de dados, no intuito de ter um boa estabilidade no processamento e renovação do almanaque. Os receptores 45 XL e GPS II tiveram coordenadas obtidas apenas de forma simples, uma vez que tais receptores não possuem recursos que permitam uma melhoria do posicionamento.

Tabela 3 – Relação de coordenadas UTM dos vértices das poligonais, determinados pela estação total e receptores GPS.

Vértice	Estação		Trimble Pró XR		GPS II		GPS III plus		Obs.
	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte	
1	607134,661	7801500,594	607134,661	7801500,594	607134,183	7801515,900	607087,852	7801454,061	
2	607133,330	7801460,032	607133,330	7801460,032	607126,504	7801453,607	607087,632	7801417,846	
3	607123,438	7801405,327	607123,438	7801405,327	607117,208	7801402,604	607074,339	7801356,180	
4	607083,433	7801295,152	607083,433	7801295,152	607081,190	7801298,329	607035,492	7801248,360	
5	607050,430	7801236,303	607050,430	7801236,303	607051,604	7801235,575	607004,818	7801191,550	
6	607052,350	7801107,334	607052,350	7801107,334	607053,068	7801106,730	607007,435	7801067,448	
7	607103,997	7800876,874	607103,997	7800876,874	607111,728	7800870,077	607059,358	7800831,428	
8	607145,542	7800803,961	607145,542	7800803,961	607144,520	7800813,475	607097,670	7800758,763	
9	607103,931	7800601,724			607071,887	7800598,398	607054,867	7800554,191	Não processado
10	607055,529	7800316,169			607059,001	7800325,962	607011,038	7800273,037	Não processado
11	607044,438	7800225,741			607035,902	7800221,609	607002,624	7800182,250	Não processado
12	607099,038	7800157,169	607099,038	7800157,169	607102,487	7800180,832	607056,112	7800111,866	
13	607338,935	7800285,076	607338,935	7800285,076	607318,834	7800293,509	607275,824	7800223,930	
14	607422,198	7800340,814	607422,198	7800340,814	607408,943	7800334,521	607374,499	7800288,044	
15	607499,575	7800405,891	607499,575	7800405,891	607477,860	7800400,003	607437,749	7800345,249	
16	607869,525	7800671,879	607869,525	7800671,879	607855,196	7800663,090	607807,853	7800619,661	
17	607836,103	7800842,811	607836,103	7800842,811	607841,125	7800841,884	607794,924	7800801,417	
18	607784,675	7800897,532	607784,675	7800897,532	607788,757	7800911,668	607739,654	7800855,783	
19	607714,905	7800941,958	607714,905	7800941,958	607702,528	7800954,942	607664,031	7800888,305	
20	607609,993	7800980,605	607609,993	7800980,605	607607,274	7800991,740	607566,037	7800936,401	
21	607474,192	7801026,309	607474,192	7801026,309	607477,785	7801032,902	607428,131	7800978,801	
22	607334,491	7801149,595	607334,491	7801149,595	607316,451	7801194,187	607271,318	7801144,809	
23	607224,965	7801571,839	607224,965	7801571,839	607245,135	7801473,666	607255,580	7801568,918	
24	607194,955	7801659,803	607194,955	7801659,803	607198,395	7801638,408	607163,430	7801598,468	
Ré	607138,376	7801635,829	607138,376	7801635,829	607134,898	7801646,707	607097,138	7801595,902	

Tabela 3 - continuação...

Vértice	GPS 45 XL		GPS eTrex Summit		GPS 12 XL sem antena externa		GPS 12 XL com antena externa		Obs.
	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte	
1	607128,103	7801531,967	607130,922	7801503,377	607137,085	7801531,319	607130,158	7801500,490	
2	607128,801	7801461,905	607129,258	7801464,935	607132,207	7801467,821	607136,090	7801460,081	
3	607118,316	7801400,222	607117,832	7801401,310	607125,607	7801398,397	607123,953	7801403,752	
4	607078,386	7801298,940	607081,006	7801291,066	607083,948	7801290,000	607084,537	7801294,748	
5	607044,328	7801239,775	607049,041	7801232,678	607043,665	7801223,155	607052,714	7801233,788	
6	607056,413	7801102,554	607047,519	7801111,987	607053,634	7801107,321	607054,748	7801106,127	
7	607102,209	7800874,884	607104,949	7800880,972	607098,937	7800890,934	607107,823	7800874,850	
8	607133,281	7800812,356	607143,416	7800799,177	607141,140	7800811,714	607147,834	7800804,548	
9	607096,641	7800605,372	607098,451	7800599,897	607103,899	7800598,204	607102,805	7800603,552	Não processado
10	607055,660	7800330,732	607056,909	7800318,312	607061,715	7800310,509	607055,560	7800313,513	Não processado
11	607039,880	7800229,303	607043,331	7800229,597	607058,348	7800218,504	607046,609	7800226,885	Não processado
12	607109,546	7800141,010	607097,114	7800160,112	607108,502	7800154,078	607100,666	7800157,685	
13	607323,265	7800283,389	607322,662	7800276,519	607332,236	7800280,960	607341,252	7800286,245	
14	607405,613	7800341,072	607400,308	7800337,486	607415,124	7800335,077	607425,851	7800344,508	
15	607485,758	7800405,892	607481,260	7800392,032	607477,758	7800383,380	607502,051	7800406,977	
16	607854,645	7800664,874	607850,885	7800667,124	607871,540	7800672,489	607872,108	7800673,077	
17	607840,034	7800847,234	607836,073	7800853,947	607836,092	7800845,477	607840,011	7800843,076	
18	607784,257	7800910,508	607780,630	7800904,297	607780,851	7800904,592	607790,361	7800898,002	
19	607721,703	7800967,887	607716,887	7800936,561	607720,457	7800947,708	607719,857	7800941,180	
20	607606,143	7800990,560	607612,309	7800981,292	607618,466	7800985,141	607611,714	7800982,807	
21	607470,477	7801031,759	607465,858	7801034,292	607475,549	7801034,697	607477,764	7801029,340	
22	607308,595	7801195,422	607313,331	7801189,132	607317,009	7801193,590	607338,623	7801145,962	
23	607246,867	7801481,374	607238,678	7801573,890	607256,364	7801473,004	607227,766	7801572,924	
24	607207,925	7801635,382	607203,540	7801647,329	607210,229	7801644,867	607196,847	7801660,981	
Ré	607138,897	7801644,707	607136,446	7801635,547	607139,999	7801641,138	607143,347	7801637,558	



Figura 14 – Receptores GPS eTrex Summit e GPS III estacionados sobre marco ICG II.

Com o GPS III plus houve duas variações. Primeiramente coletou-se a coordenada de forma normal (pressionando a tecla “Mark” e armazenando o dado obtido), e um segundo posicionamento empregando-se o recurso da média, tomando 60 posições para o cálculo da posição média armazenada.

Para o GPS 12 XL foi possível estabelecer 4 condições de coleta de dados, sendo duas com antena externa e 2 sem antena externa. Nas duas condições tomou-se uma coordenada de forma normal (tecla “Mark” e armazenando o dado), e outra através da média. Ao acionar a função média, aguardou-se 2 minutos antes de armazenar o resultado obtido, visto que o receptor não permite acompanhar o número de coordenadas que está sendo coletado para processar a média.

Com o GPS eTrex Summit foi obtido a coordenada de posicionamento apenas da forma normal.

6 – RESULTADOS

Uma vez coletados, transferidos e exportados, os dados das coordenadas foram importados para o software Spring, versão 3.6.03. Conforme características do programa, as poligonais foram importadas para a categoria “limites”, sendo que o modelo de cada receptor serviu para nomear o plano de informação ao qual foram importados os dados. Na seqüência de procedimentos foi realizado e adição vetorial de cada poligonal. Empregando-se as funções de “ajuste” e “poligonalização” para se certificar que cada poligonal fosse reconhecida e fechada, possibilitando o cálculo posterior das áreas e perímetros através da função “operações métricas” do programa.

A tabela 4 contém a relação das áreas das poligonais em metros quadrados, sendo a área da estação total considerada como verdadeira. Esta área foi calculada em 55,84 ha.

Equipamento	Área		Diferença (ha)
	(m2)	(ha)	
Estação Topcom GTS 212	558.447,2422	55,8447	—
GPS 12 XL com antena externa	582.451,9844	58,2452	2,4005
GPS 12 XL sem antena externa	586.464,6641	58,6465	2,8017
GPS 3 plus	587.560,1563	58,7560	2,9113
GPS 45 XL	586.397,5234	58,6398	2,7950
GPS 2	581.891,7344	58,1892	2,3444
Trimble Pró XR	558.759,8281	55,8760	0,0313
eTrex Summit	581.057,5313	58,1058	2,2610

Tabela 4 – Relação de áreas da poligonal obtidas com software Spring, versão 3.6.03. A estação total Topcom modelo GTS 212 foi tomada como base verdadeira.

Como se pode observar, todas as áreas obtidas foram superiores à área da estação. O receptor GPS Trimble Pró XR foi quem mais se aproximou da área real, apresentando um desvio de 0,0313 ha para maior, equivalente a 0,056% da área real.

A 2ª área mais próxima da verdadeira foi obtida com o GPS Garmin eTrex Summit, calculada em 58,1058 ha, valor que apresenta uma diferença a maior de 2,2610 ha, correspondendo a 4,0487% em relação à área calculada para a estação total.

Em termos de área, o GPS II apresentou um comportamento interessante pois, apesar de ser um receptor de 8 canais, possibilitou obter a 3ª área mais próxima da verdadeira, 58,1892 ha, equivalente a 2,3444 ha maior ou 4,198% de erro.

O GPS 12XL parece como 4º e 5º valor de área, sendo que para o 12 XL com antena externa obteve-se 58,2452 ha com 2,4005 ha a maior (4,2985%), enquanto que o mesmo receptor sem antena externa apresenta uma área de 58,6465 ha (2,8017 ha maior), correspondendo a 5,0169% da área real. O uso da antena externa proporcionou uma redução do erro em 0,4013 ha (0,7185%), área considerável se comparada a um lote urbano.

Como era esperado, o receptor 45XL apresentou um erro de área dos mais elevados, com 58,6398 ha, correspondendo a 2,7950 ha ou 5,0049 % maior que a área verdadeira. Esta diferença no entanto ainda é menor que a apresentada pelo GPS 12 XL sem antena externa, resultado que, tal como no caso do GPS II, não permite evidenciar uma melhoria dos dados obtidos entre receptores de 8 ou 12 canais. Esta consideração é reforçada quando o receptor III plus de fabricação mais recente e incorporando tecnologia de 12 canais apresentou a área mais distante da real, ou seja, 58,7560 ha, com uma diferença de 2,9113 ha, área correspondente a 5,3132 % da real.

As figuras 15 e 16 contêm a representação gráfica dos valores encontrados para área e respectivas diferenças em hectares.

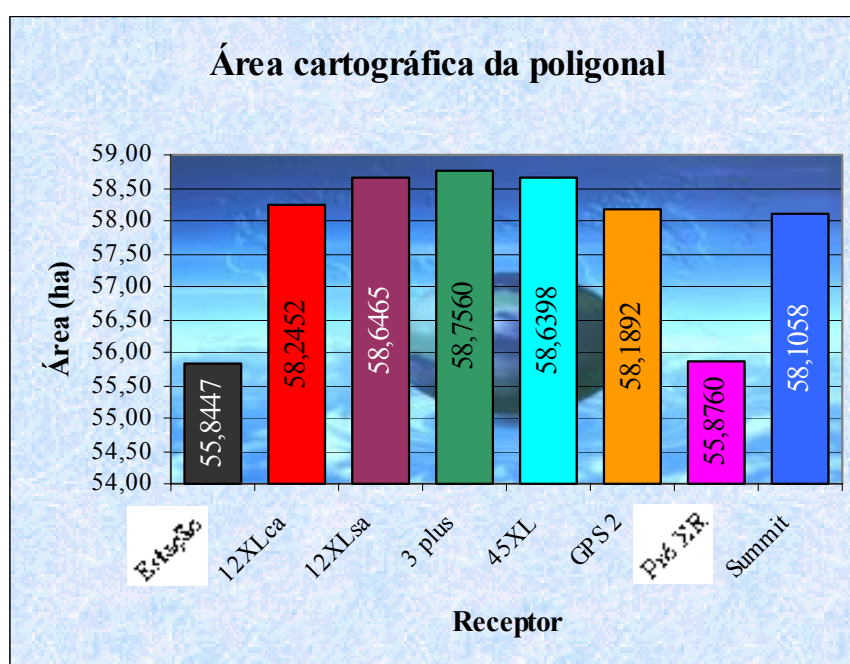


Figura 15 – Representação gráfica do cálculo de áreas obtidos pelos receptores GPS, tomando como base verdadeira a área da estação total.

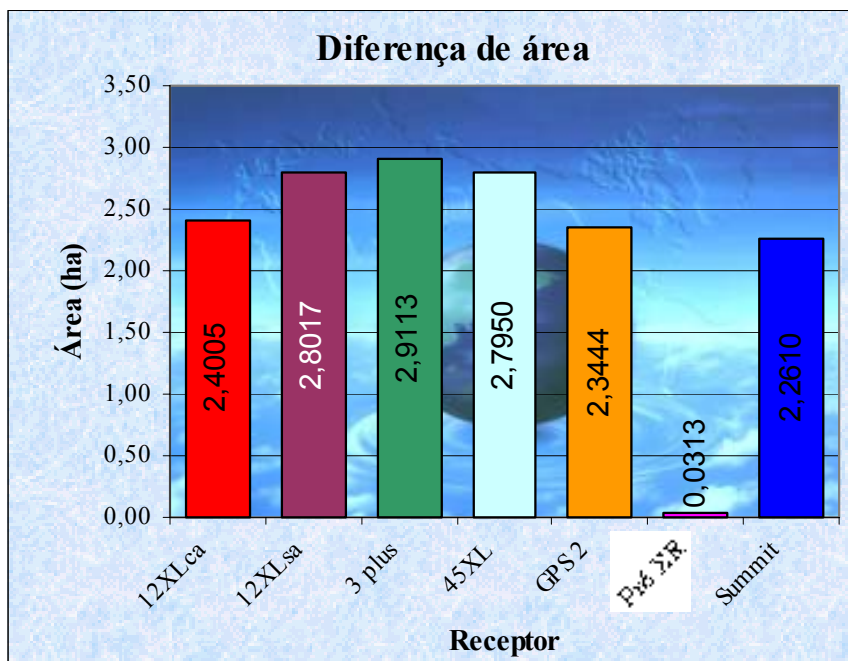


Figura 16 – Representação gráfica da diferença entre a área obtida por cada receptor e a área calculada pela estação total, que se tomada como verdadeira, o gráfico representa o erro de cada receptor.

As poligonais levantadas foram avaliadas também quanto à sua extensão, correspondendo ao perímetro da área de estudo, cujos valores podem ser observados na tabela 5. O perímetro obtido com a estação total é dado com verdadeiro.

Foram levantadas 7 poligonais além da considerada real, sendo que 6 receptores (12 XL com antena externa e sem antena externa, III plus, 45 XL, Pró XR e eTrex Summit), apresentaram perímetros superiores ao real, e apenas 1 receptor (GPS Garmin II), apresentou perímetro menor que o real. A tabela 5 apresenta o resultado de todas as poligonais mensuradas e respectivas diferenças em relação à verdadeira.

A menor diferença encontrada foi com os valores calculados para o GPS eTrex Summit, com 3.806,4960 metros, apenas 0,3397 m maior que o perímetro real cujo valor é 3.806,4960 metros, portanto uma diferença inferior aos 50 cm estabelecidos pelo INCRA para levantamentos destinados a cadastro rural. O valor a maior encontrado equivale a uma escala de 1:1698 para o Erro Gráfico (E.G.) e 1:679 para o Padrão de Exatidão Cartográfica (P.E.C.), considerando os valores estabelecidos no Decreto 89.817 de 20/07/1984 para cartas impressas Classe A do Mapeamento Sistemático Brasileiro.

Equipamento	Perímetro		Diferença (m)
	m	km	
Estação Topcom GTS 212	3.806,4960	3,8065	—
GPS 12 XL com antena externa	3.833,0717	3,8331	26,5757
GPS 12 XL sem antena externa	3.819,8405	3,8198	13,3445
GPS 3 plus	3.814,8774	3,8149	8,3814
GPS 45 XL	3.839,9041	3,8399	33,4080
GPS 2	3.798,8078	3,7988	-7,6882
Trimble Pró XR	3.807,5531	3,8076	1,0571
eTrex Summit	3.806,8357	3,8068	0,3397

Tabela 5 - Relação dos perímetros da poligonal obtidos com a estação total e receptores, calculados no software Spring, versão 3.6.03. A estação total Topcom modelo GTS 212 foi tomada como base verdadeira.

O GPS Pró XR forneceu um perímetro de 3.807,5531 metros, 1,0571 m acima do real. Este erro pode ser considerado elevado para este receptor, principalmente devido ao fato de ter sido realizado o pós processamento. Este aparelho apresentou dificuldades em receber os sinais dos satélites devido a presença da arborização urbana em alguns pontos (figuras 8 e 9), e barrancos próximo ao vértice (figura 7). A recepção poderia ser melhorada, reduzindo este erro, caso fossem realizadas alterações na altura da antena ao longo do levantamento, de forma a posiciona-la sobre a copa das árvores. No entanto optou-se por deixa-la fixa em 1,70 m para verificarmos sua sensibilidade sobre estes obstáculos, visto que os receptores de navegação seriam posicionados normalmente a cerca de 1,30 m do solo, altura em que o operador os segura enquanto realiza as leituras e manuseia suas teclas.

Para o erro obtido tem-se uma P.E.C. de 1:2114 e um erro gráfico de 1:5285.

O GPS II normalmente aparece como 3º melhor resultado sendo que o perímetro calculado para este receptor foi 7,6882 metros menor que o real, ou seja 3.798,8078 metros de comprimento. Esta diferença representa um erro gráfico de mapeamento (E.G.) de 1:38441 e um Padrão de Exatidão Cartográfica (P.E.C.) de 1:15.376.

Com uma diferença de 8,3814 metros, o GPS III plus forneceu um perímetro de 3.814,8774 metros, colocando-se em 4º lugar com um erro de 0,2202 % em relação ao comprimento total encontrado. Esta diferença representa um Erro Gráfico de 1:41.907 e um Padrão de Exatidão Cartográfica de 1:16.762.

Com antena externa ou sem antena externa, o receptor GPS 12 XL apresentou perímetros superiores ao real. Sem a utilização da antena externa, este receptor possibilitou o cálculo de 3.819,8405 metros, 13,3445 m maior que o real, classificando-o como 5º colocado, com 0,3505 % de erro. Ao empregar a antena externa, esta diferença aumentou em 13,2312 m (0,3464 %), ou seja, 3.833,0717 metros totais elevando a diferença final para 26,5757 metros, o que significa 0,6981 % de erro. Este valor não era esperado, visto que a antena externa traz ganho de sinal, gerando uma expectativa de resultado mais próxima do real, fato que não ocorreu, classificando o conjunto em 6º lugar.

Estes valores conferem um E.G. de 1: 66.722 quando o receptor opera apenas com a antena interna e de 1: 127.878 quando utilizada a antena externa. O P.E.C. é de 1: 26.689 sem antena externa e 1: 51151 com antena externa.

Já o GPS 45 XL, por ser um receptor de 8 canais e ser mais antigo que os demais, apresentou um resultado dentro da expectativa, com a maior diferença encontrada: 3.839,9041 metros totais, 33,4080 metros a mais que o perímetro real, representando uma diferença de 0,8776 %. O Erro Gráfico calculado para este receptor é de 1: 167040, e o Padrão de Exatidão Cartográfica é de 1: 66.816.

As figuras 17 e 18 demonstram graficamente o valor dos perímetros encontrados e as diferenças calculadas em relação ao perímetro obtido pela estação total.

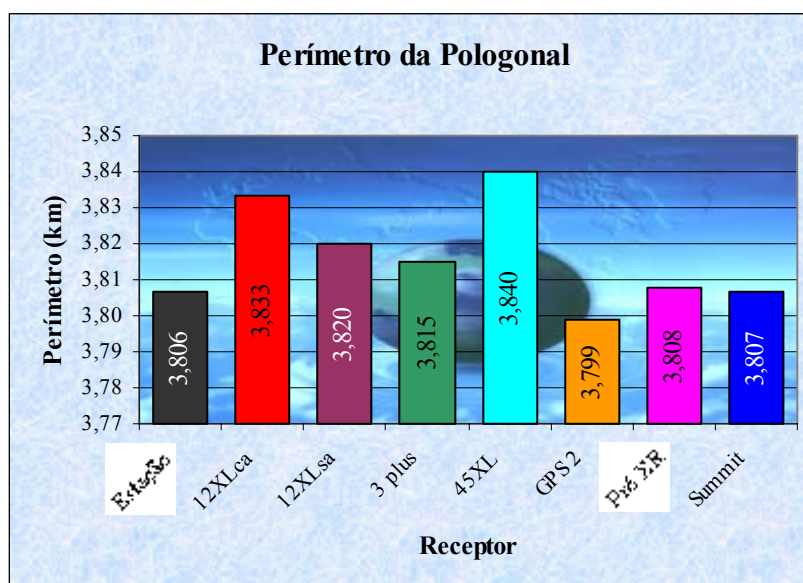


Figura 17 – Representação gráfica do cálculo dos perímetros obtidos pelos receptores GPS e estação total, calculado pelo software Spring versão 3.6.03, tomando como base verdadeira a poligonal levantada pela estação total.

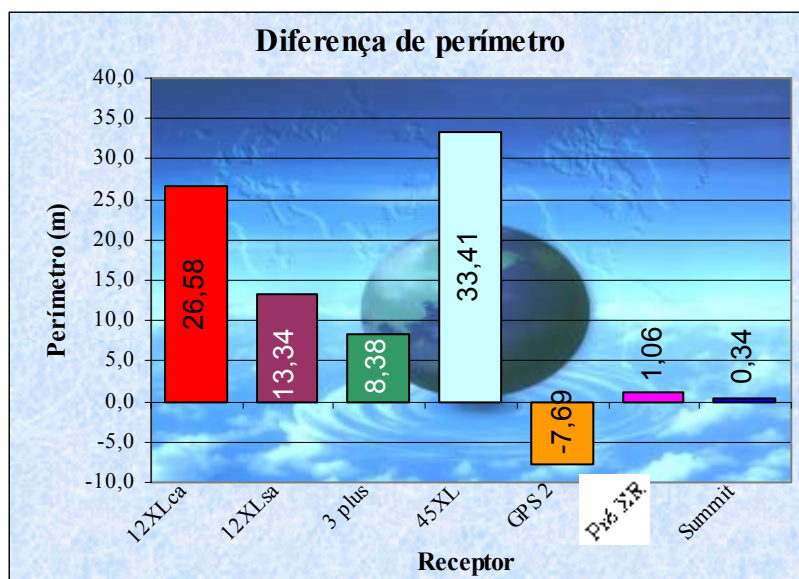


Figura 18 – Representação gráfica do cálculo das diferenças entre perímetros obtidos pelos receptores GPS e estação total, calculado pelo software Spring versão 3.6.03, tomando como base verdadeira a poligonal levantada pela estação total.

Um comparativo entre as poligonais obtidas em função da escala, pode ser observado nos Anexos II a V.

Na determinação de coordenadas fixas, como o marco geodésico IGC II, os receptores apresentaram um bom desempenho para sua categoria. Das nove situações avaliadas, oito apresentaram erros inferiores a 10 metros, sendo que em 7 destas o erro foi inferior a 4 metros.

Para o cálculo do deslocamento entre a coordenada mensurada e o valor do marco geodésico utilizou-se a expressão:

$$D = \sqrt{(X_{IGCII} - X_{GPS})^2 + (Y_{IGCII} - Y_{GPS})^2}$$

Onde:

D = diferença entre as coordenadas do marco geodésico IGC II e as obtidas pelo GPS;

X_{IGCII} = Valor da coordenada Este (longitude) do marco geodésico IGC II;

X_{GPS} = Valor da coordenada Este (longitude) encontrada por cada receptor GPS;

Y_{IGCII} = Valor da coordenada Norte (latitude) do marco geodésico IGC II;

Y_{GPS} = Valor da coordenada Norte (latitude) encontrada por cada receptor GPS.

Nesta categoria de avaliação, os receptores comportaram-se como o esperado, com os de tecnologia mais antiga (8 canais) apresentando maiores diferenças (deslocamentos) e os mais novos (12 canais), menores diferenças conforme mais recursos foram utilizados. Na tabela 4 são apresentados os resultados obtidos para todas as situações testadas.

Equipamento	Coordenada UTM		Diferença de posicionamento (m)		Deslocamento (m)
	X	Y	X	Y	
IGC II	608839,220	7802679,220	0,0000	0,0000	0,0000
GPS 45 XL	608830,279	7802680,483	-8,9410	1,2630	9,0298
GPS II	608850,450	7802672,644	11,2300	-6,5760	13,0137
GPS III plus std	608837,011	7802678,660	-2,2090	-0,5600	2,2789
GPS III plus media	608836,456	7802680,445	-2,7640	1,2250	3,0233
GPS 12 XL ca	608839,817	7802678,642	0,5970	-0,5780	0,8310
GPS 12 XL sa	608837,566	7802678,656	-1,6540	-0,5640	1,7475
GPS 12 XL ca média	608839,471	7802678,202	0,2509	-1,0177	1,0482
GPS 12 XL sa média	608837,402	7802675,919	-1,8183	-3,3007	3,7684
GPS eTrex Summit	608838,687	7802680,570	-0,5330	1,3500	1,4514

ca – com antena externa ativa; sa – sem antena externa; std - demarcação da coordenada de forma normal.

Tabela 6 – Relação de coordenadas obtidas pelos receptores sobre o marco IGC II, e respectivas diferenças de posicionamento por eixo e deslocamento total.

Os maiores deslocamentos calculados foram para o GPS II, 13,0137 metros distantes da coordenada verdadeira, com maior deslocamento no eixo X (11,23 m). Os valores possibilitam encontrar um E.G. de 1: 65.068 e um P.E.C. de 1: 26.027.

O GPS 45 XL apresentou o segundo maior erro, com 9,0298 metros de deslocamento, sendo o componente X (longitude) quem mais contribuiu para elevar o erro, com 8,9410 de deslocamento a Oeste. O E.G. calculado é de 1: 44.705 e o P.E.C. é de 1: 17.882.

A posição calculada com a função média para o GPS 12 XL sem antena externa, foi de maior erro dentre os receptores de 12 canais com 3,7684 metros de deslocamento a sudoeste, fornecendo um Erro Gráfico de 1: 18.842 e um Padrão de Exatidão Cartográfica de 1: 7537.

O receptor III plus foi classificado em 5º e 6º lugares, com erro de 3,0233 metros a noroeste quando calculada a posição empregando a função média, e de 2,2789 metros quando marcada a posição de modo normal (tecla “mark” e salvando o valor indicado). Os erros calculados com a função média são: E.G = 1: 15.116 e P.E.C. = 1: 6.046. Sem a função média o E.G. é de 1: 11.394 e o P.E.C. = 1: 4.557.

Com um erro de deslocamento de 1,7475 m na direção sudoeste, o GPS 12 XL se classifica em 4º lugar, não fazendo uso da antena externa. Tal diferença proporciona um E.G. de 1: 8.737 e um P.E.C. de 1: 3.495.

O terceiro melhor resultado foi do GPS eTrex Summit, com um deslocamento de 1,4514 metros a noroeste, sendo a maior variação no eixo Y (Norte). O erro encontrado equivale a um E.G. de 1: 7.257 e um P.E.C. de 1: 2.902.

O GPS 12 XL apresentou os dois melhores resultados do teste quando utilizado em conjunto com a antena externa ativa. Empregando-se a função média presente no receptor, o deslocamento encontrado foi de 1,0482 metros na direção sudeste, sendo a maior variação no eixo Y (coordenada Norte). O E.G. calculado foi de 1: 5.241 e o P.E.C de 1: 2.096. Sem a função média o erro de deslocamento foi de 0,8310 metros também no sentido sudeste, com um aumento no valor da componente X (coordenada Este) e redução no valor do erro do componente Y (coordenada Norte). Este deslocamento propicia um E.G. de 1: 4.155 e um P.E.C. de 1: 1.662.

A figura 19 traz a representação gráfica da dispersão dos valores das coordenadas Norte e Este em relação ao marco geodésico IGC II.

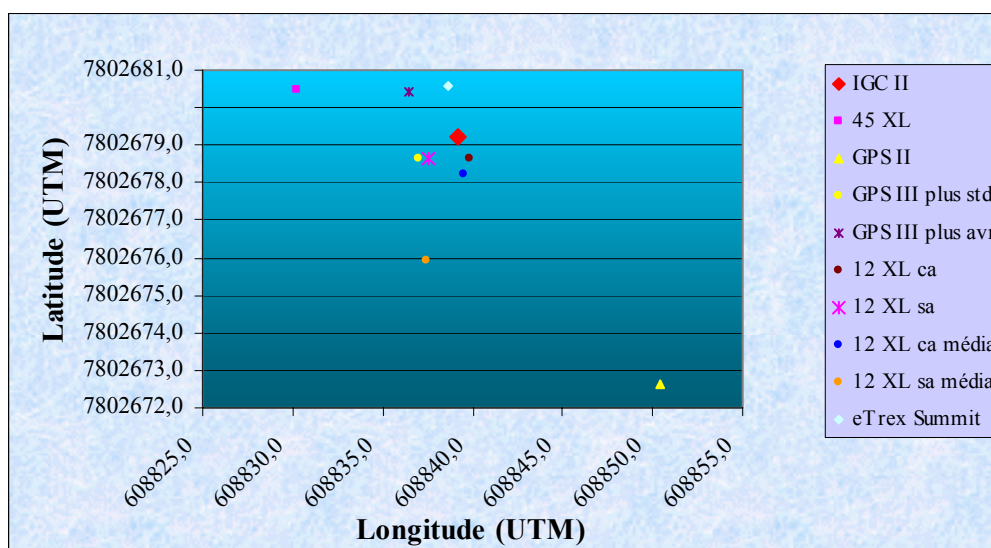


Figura 19 – Variação nos posicionamentos obtidos pelos receptores GPS, sobre o marco IGC II.

Na figura 20 tem-se a dispersão das diferenças em metros no posicionamento das coordenadas obtidas considerando o marco IGC II como centro do gráfico, ou seja, deslocamento X=0 e deslocamento Y=0.

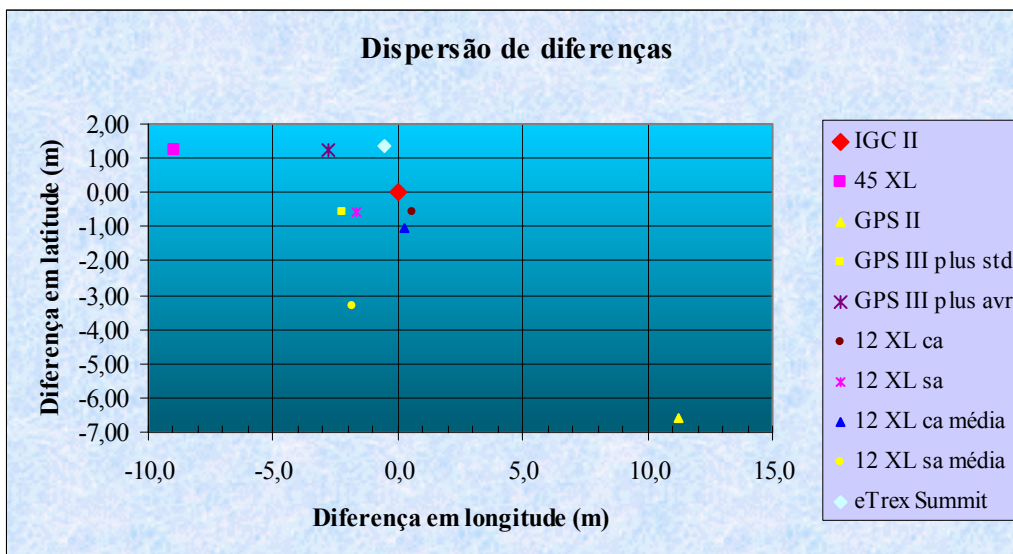


Figura 20 – Diferença (erro) de posicionamento entre as coordenadas obtidas e a posição do marco IGC II, em metros.

Na figura 21 é apresentado um gráfico de barras demonstrando o valor em metros dos deslocamentos proporcionados pelos receptores.

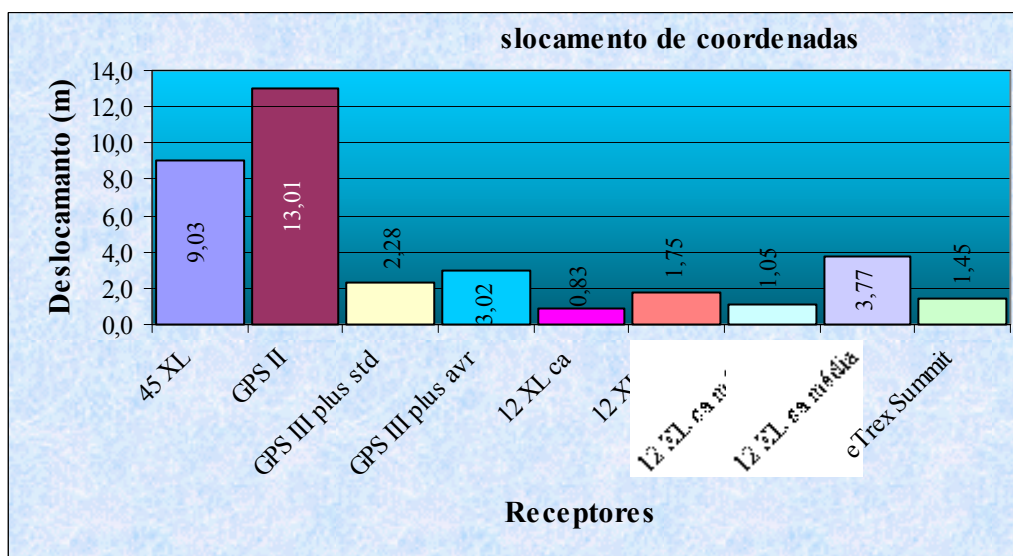


Figura 21 – Variação dos deslocamentos de posição entre os valores dos vértices obtidos pelos receptores e o marco IGC II.

7 – CONCLUSÕES

Em termos de área, conforme alguns autores já haviam mencionado, esta não é um bom indicador para a precisão de receptores GPS, especialmente para os modelos de navegação, não apresentando melhorias significativas em termos de aperfeiçoamentos tecnológicos dos receptores, visto que aparelhos mais antigos, de 8 canais, tiveram respostas melhores que alguns receptores mais modernos – de 12 canais.

De toda forma, o erro apresentado para todos os receptores está acima do aceitável para levantamentos urbanos, visto que todas as diferenças superam a área de um lote urbano típico (360 m²), supondo que a gleba levantada fosse destinada a um loteamento, por exemplo (Anexos II a V).

Se considerarmos o emprego dos receptores conjuntamente com imagens do satélite LandSat, com valor de pixel de 30 x 30 m e uma tolerância de 1,5 pixel de erro no georeferenciamento, apenas o Trimble Pró XR em seu erro absorvido pela tolerância aceita no georeferenciamento da imagem, os demais receptores ainda apresentariam distorções que seriam evidentes quando alocadas suas poligonais sobre a imagem.

Portanto, os receptores GPS de navegação ainda têm restrições quanto ao seu emprego, se destinados ao cálculo de áreas para imóveis rurais ou urbanos, principalmente se tais levantamentos têm por objetivos quaisquer tipos de registros cartoriais ou de obras que exijam maior precisão. Se utilizados para tarefas onde não haja a necessidade de registros, apenas para demarcações internas às propriedades como divisão de pastagens, estimativas de cercamento, cujas variações sejam toleráveis, estes tipos de receptores poderão ser empregados.

Os GPS de navegação também mostraram grandes oscilações na determinação do perímetro, com valores variando em até 100 vezes entre o menor valor (eTrex Summit) e o maior valor (45 XL), embora neste caso haja uma diferença de tecnologia entre os dois modelos. A simples evolução da tecnologia não explica totalmente a variação encontrada, visto que receptores mais antigos — de 8 canais (GPS II), apresentaram resultados melhores que receptores mais modernos — de 12 canais (III plus, 12 XL). Deve-se considerar também que a coleta de dados não ocorreu em uma única campanha de campo com todos os receptores, podendo haver então grande influência das diferentes constelações formadas nos diferentes períodos de coleta de dados e sua geometria.

Dos 7 resultados obtidos, 5 encontram-se abaixo dos limites de erros informados pelos fabricantes (15 metros). Dois receptores superaram o limite de 15 metros. O GPS 45 XL pode ter apresentado tal resultado devido à sua composição, um receptor de 8 canais, com software de processamento interno (firmware) mais antigo, portanto passível de sofrer maiores interferências e menor precisão. O GPS 12 XL no entanto é um receptor recente, de 12 canais e que só ultrapassou o limite de 15 metros ao ser utilizado com auxílio da antena externa, sem este acessório o limite de erro permaneceu abaixo do indicado pelo fabricante. Esta situação deverá ser melhor avaliada, especialmente com testes de avaliação da influência da intensidade do sinal recebido, visto ser esta a única variação ocorrida entre as 2 repetições com o receptor 12 XL.

Mesmo com estas diferenças, 6 dos receptores podem ser utilizados com imagens de satélite de menor resolução, como o LandSat, CBERS, NOAA e outros, cujos valores de pixel sejam superiores a 20 ou 30 metros. Para elaboração de mapas também poderão ser utilizados, desde que tenha objetivo mais informativo como mapas turísticos, desportivos, de recreação entre outros. Cartas temáticas poderão receber dados deste tipo de receptor, se confeccionadas em uma escala tal que permita uma maior generalização da informação.

Para coleta de atributos da feição ponto, os receptores de 12 canais têm condições de identificar objetos em cartas cuja escala seja superior a 1: 8.000, uma vez que, para este tipo de receptor, todos os valores apresentados estão abaixo de 4 metros de deslocamento. Já para os receptores de 8 canais, é desaconselhável seu emprego para identificar pontos em cartas cuja escala seja inferior a 1: 45.000, pois os deslocamentos obtidos estão próximos ou superior a 10 metros.

Se empregados para trabalhos sobre imagens de satélites, estes receptores poderão ser utilizados desde que não seja imagens de alta resolução, como Qbird, Ikonos etc. Apenas imagem com valor de pixel acima de 10 metros terão boa resposta com os receptores de 12 canais (LandSat 7 com banda 8, CBERS). Os receptores de 8 canais acrescentarão erros menos elevados e melhor absorvidos em imagens cujo valor de pixel seja superior a 30 metros (LandSat, NOAA etc).

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A MIRA. Dicionário de termos GPS. Crisciúma, nº 91, pág. 61-66, julho/agosto 1999.

ANGULO FILHO, R.; BAIIO, F.H.R. Avaliação da Exatidão de Dois Receptores GPS operando em Condições Desfavoráveis de PDOP (Position Dilution of Precision). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 19., Recife, 1999. 8p.

ARANA, J.M.. O uso do GPS na elaboração de carta geoidal. Presidente Prudente, FCT/Unesp/Departamento de Cartografia. 30 p.

ARANA, J.M., ISHIKAWA, M.I. e MONICO, J.F.G.. Influência do Tempo de Rastreamento e DOP na Coleta de Dados GPS. Presidente Prudente, SP. Dpto de Cartografia. 6p.

ARAÚJO, S.C. e MONICO, J.F.G.. Integração GIS/GPS. Curitiba, PR. Maio/2001.67p.

BAIO, F.H.R.. GPS na Agricultura. www.ciagri.usp.br, 5p, 1999.

BAIO, F.H.R.; ANGULO FILHO, R.; VETTORAZZI, C.A.; RAFFO, J.G.G. e ELIAS, A.I.. Estudo da exatidão de um GPS operando em duas taxas de aquisição de dados IN: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1988, Poços de Caldas. Anais... Lavras: UFLS/SBEA, v.4, 1998, p.347-349.

BAIO, F.H.R.; RAFFO, J.G.G.; ANGULO FILHO, R.; VETTORAZZI, C.A. e DEMÉTRIO, V.A.. Acuracidade de equipamentos GPS de navegação e sua possível aplicabilidade em trabalhos topográficos. IN: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1988, Poços de Caldas. Anais... Lavras: UFLS/SBEA, v.4, 1998, p.436-437

BAIO, F.H.R.; ANGULO FILHO, R.; VETTORAZZI, C.A.. Avaliação da exatidão de dois equipamentos GPS de navegação. IN: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1988, Poços de Caldas. Anais... Lavras: UFLS/SBEA, v.4, 1998, p. 433-435.

BALASTREIRE, L.A.; BAILO, F.H.R.; AMARAL, J.R.; RODRIGUES, A.A.. Avaliação da Acurácia Cinemática de um DGPS Utilizado na Agricultura de Precisão. In: BALASTREIRE, L.A. O Estado da Arte da Agricultura de Precisão no Brasil. Piracicaba: L.A. Balastreire, 2000. 173-181.

CASTRO, D.R.S.. Emprego Militar do Sistema de Posicionamento Global (GPS). In: Spectrum. Nº 4. Novembro de 2001. 7p.

CORRÊA, D.C.; MARINHO, D.P. e FERREIRA, L.F.. GPS como ferramenta para SIG. Rio de Janeiro, Instituto Militar de Engenharia, 6 p.

FERGUSON, M. GPS Land Navigation. 4ª edição. Boise. Idaho, Glassford Publishing, 1998. 256 p.

FERREIRA, A.B.H.. Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa. 1ª edição (15ª impressão). Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1975. 1499 páginas.

GARMIN. GPS GUIDE FOR BEGINNERS. Olathe, Kansas. Garmin International Inc. 2000. 23p.

GARMIN . ETrex Summit – Navegador Pessoal. Manual do Usuário e Guia de Referência. Olathe, KS. Garmin Corporation. Abril 2000. 64p.

_____. GPS 12XL – Navegador pessoal. Manual do usuário e Referência. Olathe, KS. Garmin Corporation. 1998. 61p.

_____. GPS II – Owner’s Manual & Reference. Olathe, KS. Garmin Corporation. August 1996. 108p.

_____. GPS III plus – Manual do Proprietário e Referência. Olathe, KS. Garmin Corporation. 1999. 99p.

_____. GPS 45 XL – Personal Navigator. Owner’s Manual & Reference. Olathe, KS. Garmin Corporation. October 1996. 68p.

GORGULHO, M.. GPS- O “Sistema de Posicionamento Global”. Datilografado. Belo Horizonte, MG, 2001. 12 p.

GUERREIRO, J.. O Que é GPS. Datilografado. 2002.18p .

HASEGAAWA, J.K; GALO, N.; MONICO, J.F.G. e IMAI, N.N.. Sistema de localização e navegação apoiado por GPS. Piracicaba, UNESP/Departamento de Cartografia, 6 p.

KARSKY, D.; CHAMBERLAIN, K.; MANCEBO S.; PATTERSON, D.. Comparación de receptores GPS Bajo Cobertura Arbórea com la Disponibilidad Seletiva Desactivada. Missoula, MT. United States Department of Agriculture – Forest Service. Dezembro de 2000.15 p.

MANCEBO, S.; CHAMBERLAIN, K.. Análisis de Precisión de los Navegadores GPS Garmin e-Trex, Gramin GPS III Plus, Magellan GPS 2000XL y Magellan Blazer 12. WWW.fs.fed.us.

MONICO,J.F.G.. Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS. São Paulo, SP,Editora Unesp,2000. 288p.

RELATO GPS. Fundamentos de GPS.Crisciúma, SC. N° 02, 41-45, julho de 1997.

_____ . Fundamentos de GPS. Crisciúma, SC. N° 03, 28-33,agosto de 1997.

_____ . Fundamentos de GPS. Crisciúma, SC. N° 04, 30-38,set/out de 1997.

_____ . Fundamentos de GPS. Crisciúma, SC. N° 05, 29-35,nov/dez de 1997.

_____ . Fundamentos de GPS. Crisciúma, SC. N° 06, 28- 37, jan/fev de 1998.

_____ . Fundamentos de GPS. Crisciúma, SC. N° 07, 30-36,nar/abr de 1998.

SANTIAGO, M.R...Rede geodésica e aplicação da lei de georeferenciamento. Revista Mira, Crisciúma, nº 110, pag 116, julho/agosto 2002.

SANTOS, A.A.; FLOR, C.D.R.V. e 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. Outubro de 2002. Florianópolis, SC. 6 p.

SILVA, D.N.C.; NETO, J.T.; SANTOS,A.A.. Uso de GPS em Projetos Rodoviários. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Outubro de 2002. Florianópolis, SC. 11p.

THE AEROSPACE CORPORATION. The Global Positioning System. Los Angeles, agosto 1997. 10 p.

TIMBÓ, M.A.. Levantamentos Através do Sistema GPS. Belo Horizonte, MG. Departamento de Cartografia da UFMG. 2000. 34p

Anexo I - Relatório de planejamento com constantes de degradação do posicionamento GPS em função do tempo.



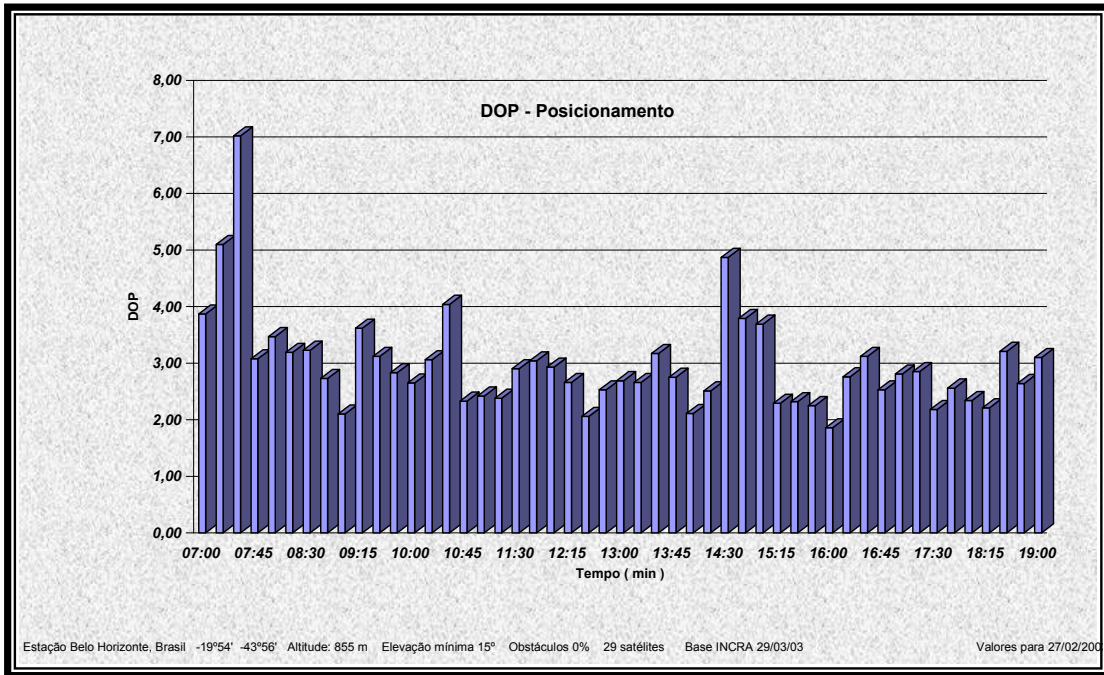
Planejamento: Lista de valores de DOP

Planeamento / Copyright (C) 2001 - 2002 by Trimble Navigation Limited.

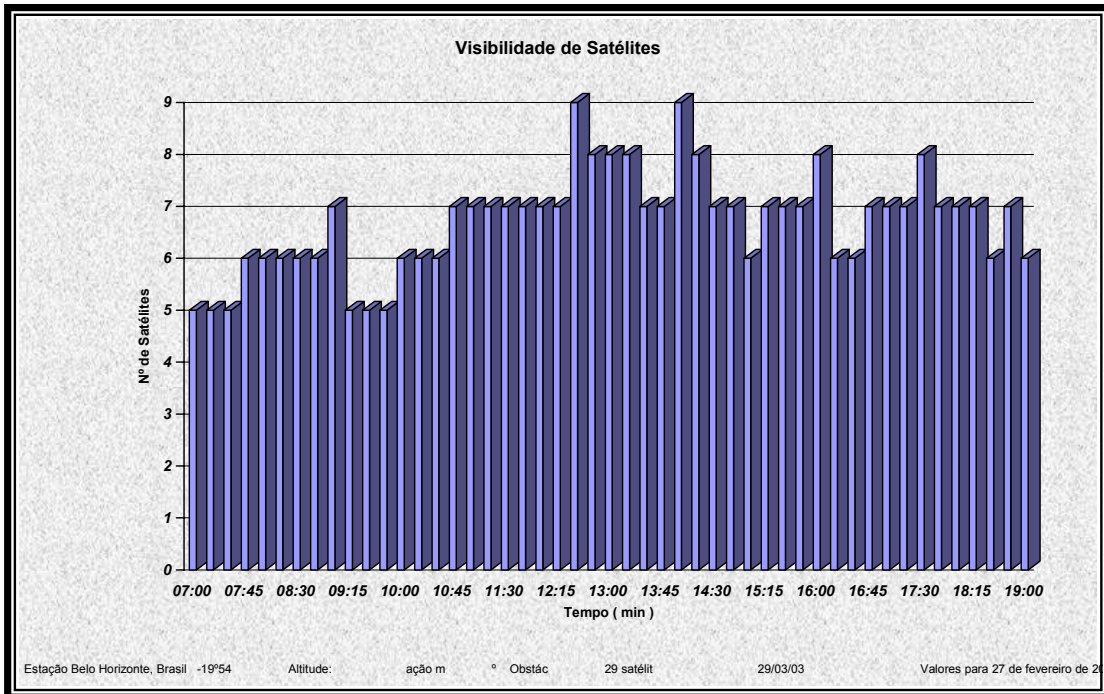
Nome da Estação	BeloHorizonte,Brasil
Latitude	19° 54'
Longitude	43° 56'
Altitude	855 [m]
Intervalo de Tempo	27/2/2003/07:00:00 - 27/2/2003/19:00:00
Zona Horária	(GMT-03:00) Brasília
Offset TMG	-3.0 [h]
Elevação Mínima	15°
Editor deObstrução	0%
GPS Satélites	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 13 14 15 16 17 18 20 23 24 25 26 27 28 29 30 31
	- nenhum -

	GDOP	TDOP	PDOP	HDOP	VDOP	GPS	GLN	Total
07:00	4,63	2,55	3,87	1,73	3,46	5	0	5
07:15	6,18	3,49	5,10	1,81	4,77	5	0	5
07:30	8,52	4,82	7,02	1,88	6,77	5	0	5
07:45	3,54	1,74	3,08	1,13	2,87	6	0	6
08:00	3,98	1,95	3,47	1,07	3,30	6	0	6
08:15	3,63	1,75	3,19	1,04	3,01	6	0	6
08:30	3,69	1,78	3,23	1,24	2,98	6	0	6
08:45	3,08	1,44	2,73	1,20	2,45	6	0	6
09:00	2,34	1,04	2,10	0,99	1,85	7	0	7
09:15	4,32	2,35	3,62	1,68	3,21	5	0	5
09:30	3,68	1,95	3,12	1,53	2,72	5	0	5
09:45	3,28	1,67	2,83	1,45	2,43	5	0	5
10:00	2,98	1,37	2,65	1,30	2,31	6	0	6
10:15	3,49	1,68	3,06	1,32	2,76	6	0	6
10:30	4,68	2,35	4,04	1,49	3,75	6	0	6
10:45	2,64	1,24	2,33	1,00	2,11	7	0	7
11:00	2,76	1,32	2,42	1,00	2,20	7	0	7
11:15	2,72	1,33	2,38	1,03	2,14	7	0	7
11:30	3,35	1,68	2,90	1,14	2,67	7	0	7
11:45	3,53	1,79	3,04	1,12	2,83	7	0	7
12:00	3,40	1,73	2,93	1,09	2,72	7	0	7
12:15	3,08	1,56	2,66	1,06	2,44	7	0	7
12:30	2,33	1,10	2,06	0,92	1,84	9	0	9
12:45	2,94	1,49	2,53	1,21	2,22	8	0	8
13:00	3,14	1,62	2,69	1,29	2,36	8	0	8
13:15	3,09	1,58	2,66	1,28	2,33	8	0	8
13:30	3,73	1,97	3,17	1,24	2,91	7	0	7
13:45	3,19	1,61	2,75	1,13	2,51	7	0	7
14:00	2,35	1,05	2,11	0,89	1,91	9	0	9
14:15	2,86	1,36	2,51	1,01	2,30	8	0	8
14:30	5,67	2,90	4,87	1,54	4,62	7	0	7
14:45	4,41	2,25	3,79	1,37	3,54	7	0	7
15:00	4,38	2,36	3,69	1,36	3,43	6	0	6
15:15	2,65	1,33	2,29	1,19	1,96	7	0	7
15:30	2,69	1,37	2,32	1,21	1,98	7	0	7
15:45	2,61	1,32	2,25	1,19	1,91	7	0	7
16:00	2,09	0,97	1,86	0,94	1,60	8	0	8
16:15	3,22	1,65	2,76	1,20	2,48	6	0	6
16:30	3,67	1,92	3,12	1,17	2,90	6	0	6
16:45	2,91	1,45	2,53	1,04	2,30	7	0	7
17:00	3,25	1,63	2,81	1,01	2,62	7	0	7
17:15	3,29	1,64	2,85	1,01	2,66	7	0	7
17:30	2,47	1,16	2,18	0,93	1,97	8	0	8
17:45	2,97	1,50	2,56	1,09	2,32	7	0	7
18:00	2,68	1,32	2,34	1,09	2,06	7	0	7
18:15	2,51	1,20	2,21	1,14	1,89	7	0	7
18:30	3,82	2,07	3,21	1,78	2,68	6	0	6
18:45	3,08	1,59	2,64	1,31	2,29	7	0	7
19:00	3,68	1,98	3,10	1,40	2,77	6	0	6

Anexo I - Continuação

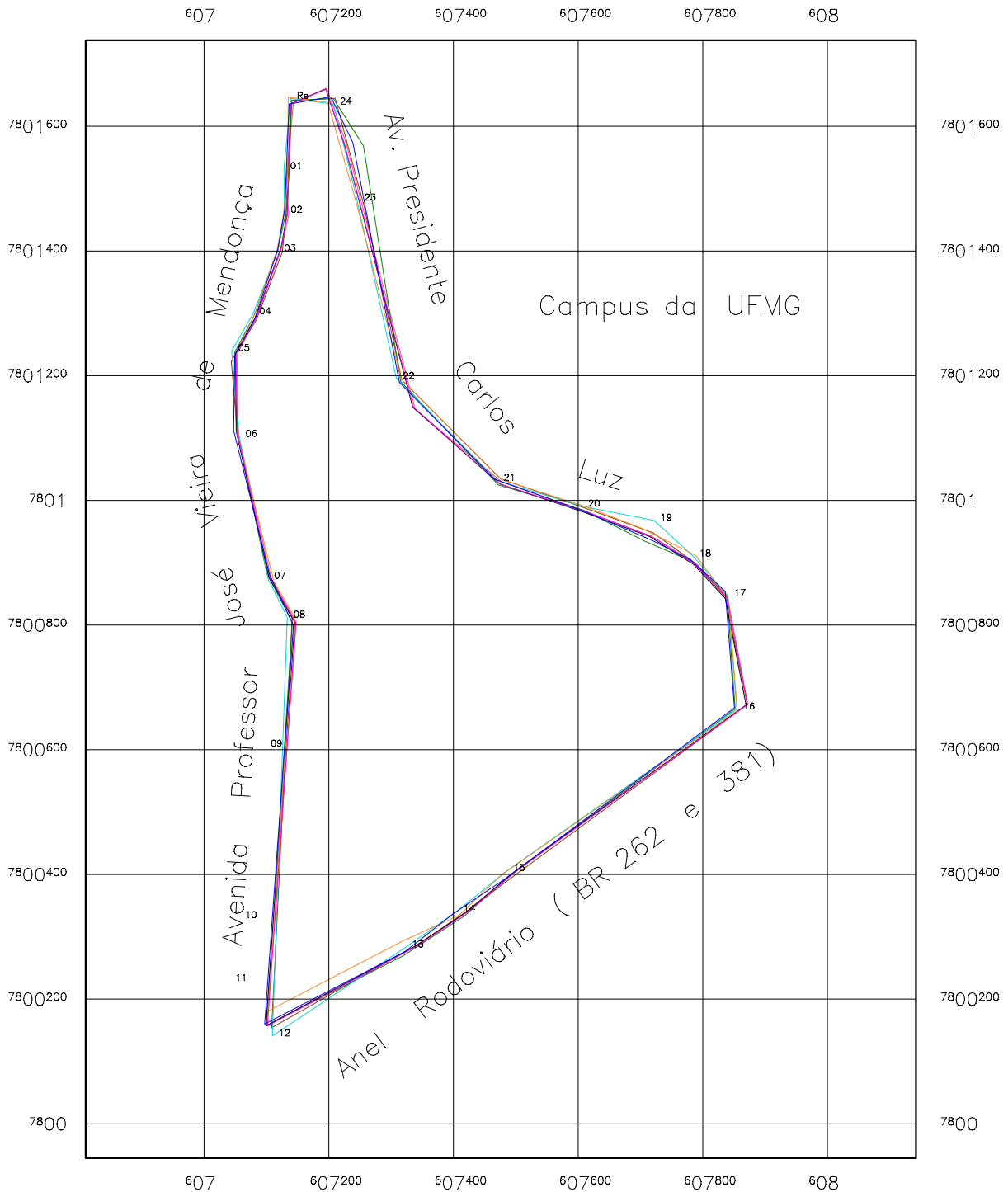


Representação gráfica da variação do PDOP para o dia 27 de fevereiro de 2003, em função do tempo.



Representação gráfica da visibilidade de satélites para o dia 27 de fevereiro de 2003, em função do tempo.

Anexo II – Comparativo entre 8 poligonais da área de estudo, tendo como referência a poligonal levantada com a estação total Topcom GTS 212



0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 km

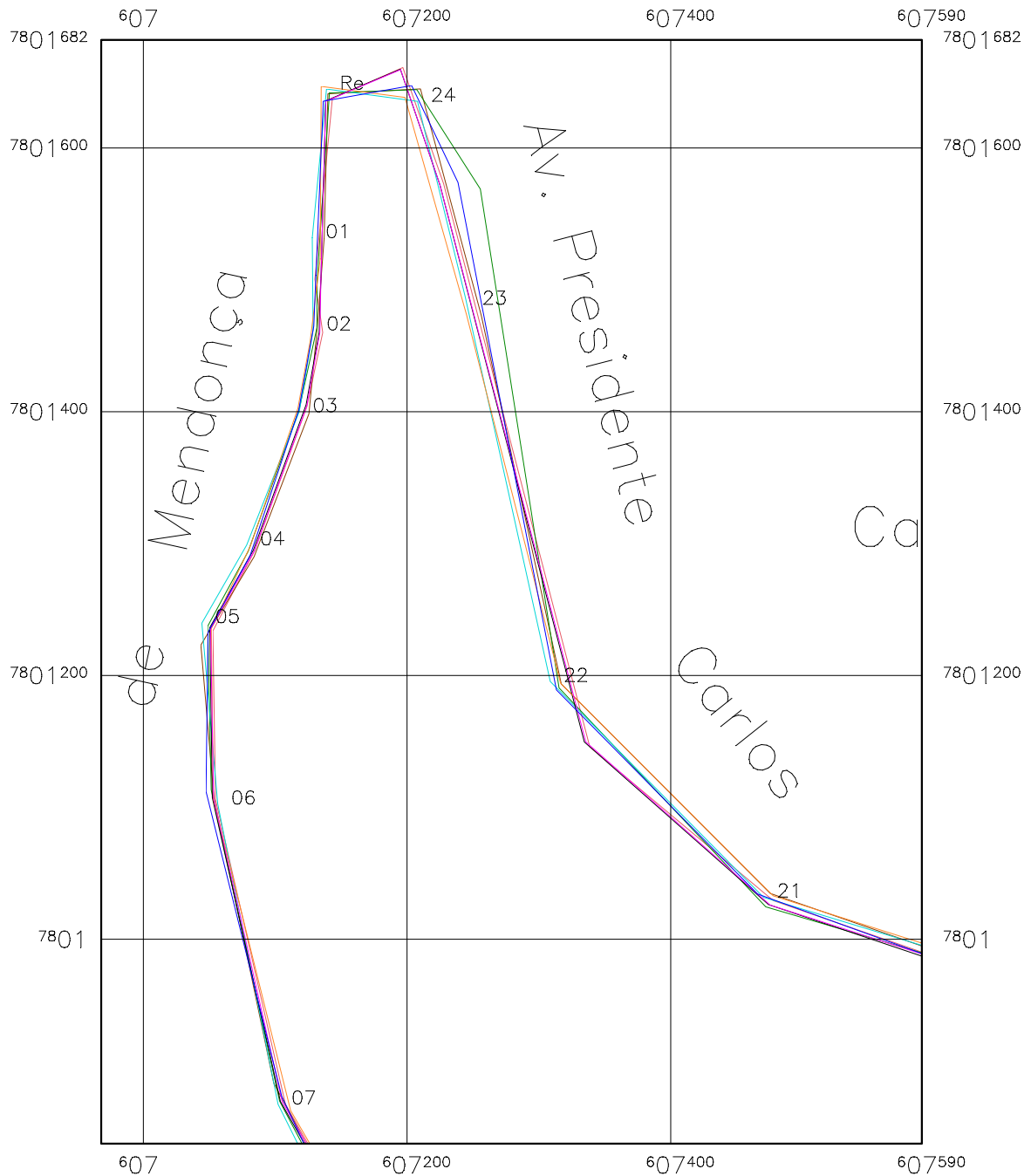
Escala 1:10000

Datum horizontal: SAD 69

- GPS 2
- 3 plus
- GPS 45 XL
- Trimble Pró XR
- GPS eTrex Summit
- GPS 12 XL sem antena externa
- GPS 12 XL com antena externa
- Estação total Topcom GTS 212



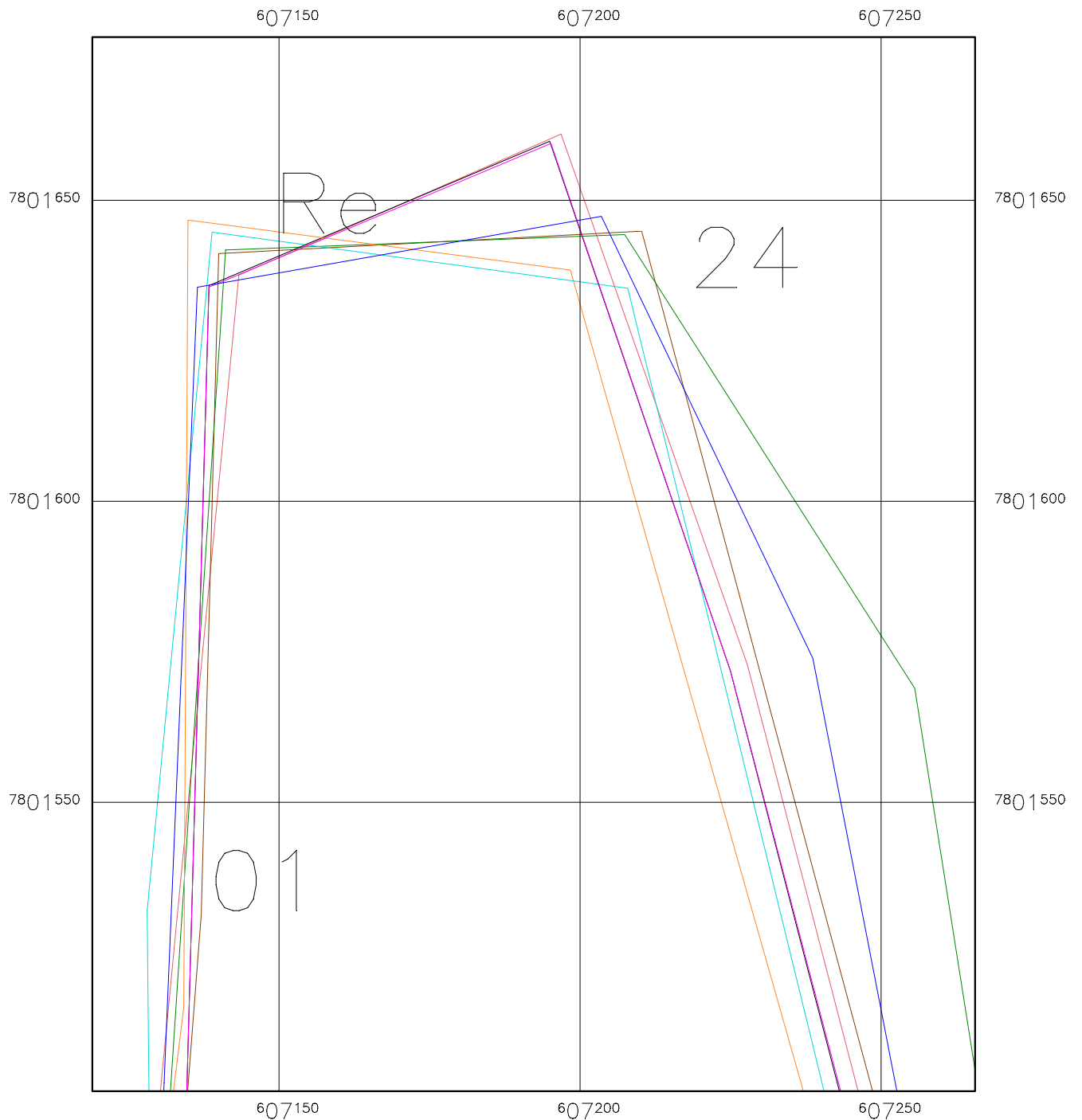
Anexo III – Comparativo entre 8 poligonais da área de estudo, tendo como referência a poligonal de estudo, tendo como referência a poligonal



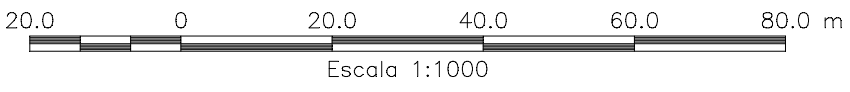
- GPS 2
 - 3 plus
 - GPS 45 XL
 - Trimble Pró XR
 - GPS eTrex Summit
 - GPS 12 XL sem antena externa
 - GPS 12 XL com antena externa
 - Estação total Topcom GTS 212
- 100.0 0 100.0 200.0 300.0 400.0 m
Escala 1:5000
- Datum horizontal: SAD 69



Anexo IV – Comparativo entre 8 poligonais da área de estudo, tendo como referência a poligonal levantada com a estação total Topcom GTS 212



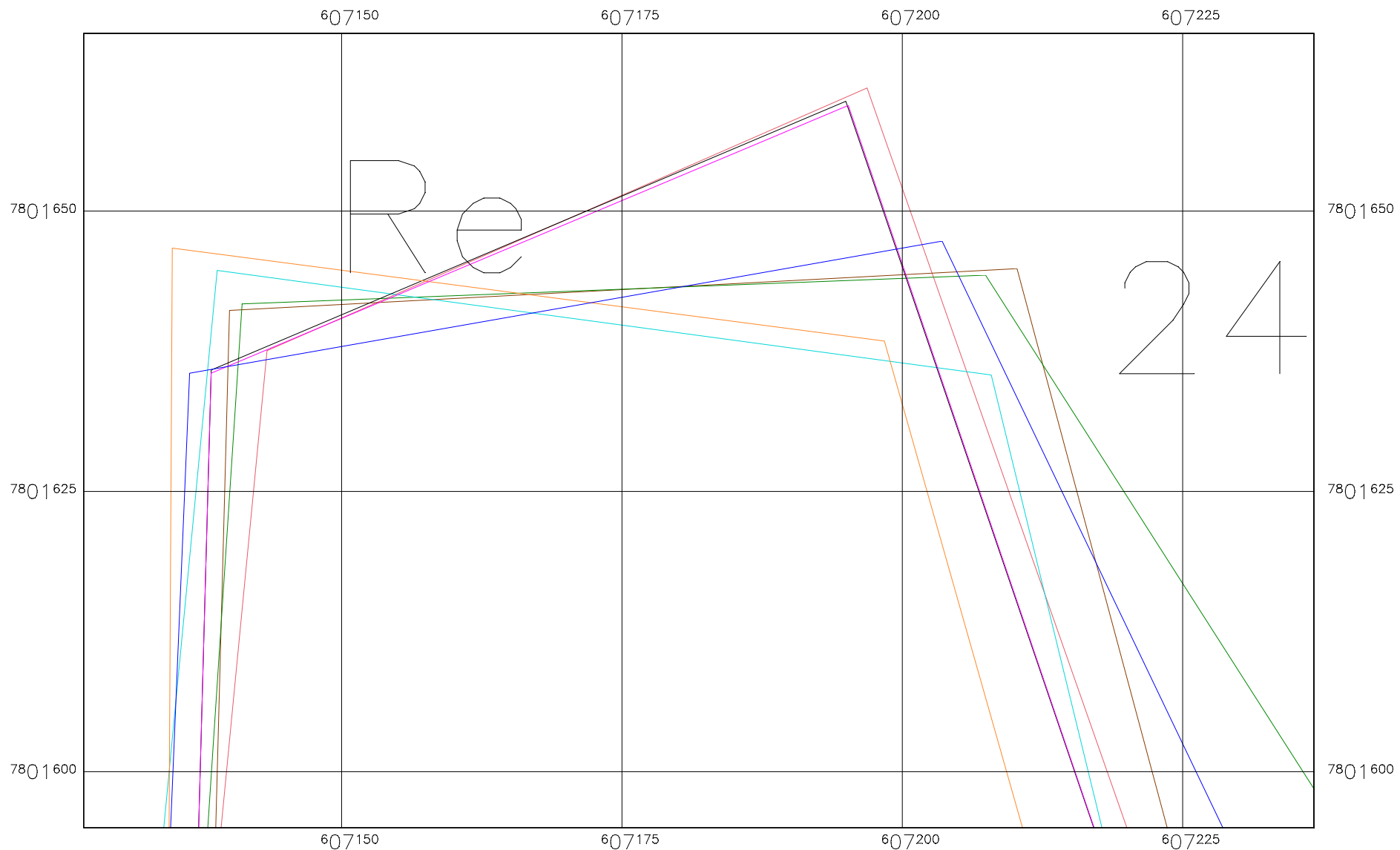
- GPS 2
- 3 plus
- GPS 45 XL
- Trimble Pró XR
- GPS eTrex Summit
- GPS 12 XL sem antena externa
- GPS 12 XL com antena externa
- Estação total Topcom GTS 212



Datum horizontal: SAD 69



Anexo V – Comparativo entre 8 poligonais da área de estudo, tendo como referência a poligonal levantada com a estação total Topcom GTS 212



Escala 1:500

Datum horizontal: SAD 69

Anexo VI

Relatório da poligonal Estação total Topcom GTS 212 Software TopoGRAPH 98SE v. 2.68

ESTAÇÃO	DH PLANA	DESNÍVEL	AZIMUTE PLANO	NORTE	ESTE	ALTITUDE
1				7.801.500,59	607.134,66	824,032
	40,584	0,679	181°52'45"			
2				7.801.460,03	607.133,33	824,711
	55,592	0,113	190°15'01"			
3				7.801.405,33	607.123,44	824,824
	117,214	0,424	199°57'22"			
4				7.801.295,15	607.083,43	825,248
	67,471	0,013	209°17'01"			
5				7.801.236,30	607.050,43	825,261
	128,984	0,549	179°08'50"			
6				7.801.107,33	607.052,35	825,81
	236,176	2,133	167°22'06"			
7				7.800.876,87	607.104,00	827,943
	83,917	1,375	150°19'33"			
8				7.800.803,96	607.145,54	829,319
	206,474	7,724	191°37'36"			
9				7.800.601,72	607.103,93	837,043
	289,628	9,021	189°37'13"			
10				7.800.316,17	607.055,53	846,064
	91,106	3,794	186°59'32"			
11				7.800.225,74	607.044,44	849,859
	87,654	-2,389	141°28'19"			
12				7.800.157,17	607.099,04	847,469
	271,866	8,71	61°56'04"			
13				7.800.285,08	607.338,94	856,179
	100,197	3,788	56°12'03"			
14				7.800.340,81	607.422,20	859,968
	101,106	-1,977	49°56'06"			
15				7.800.405,89	607.499,58	857,991
	455,644	-25,762	54°17'04"			
16				7.800.671,88	607.869,53	832,229
	174,169	12,759	348°56'12"			
17				7.800.842,81	607.836,10	844,988
	75,095	3,471	316°46'38"			
18				7.800.897,53	607.784,68	848,459
	82,714	3,993	302°29'12"			
19				7.800.941,96	607.714,91	852,451
	111,803	5,039	290°13'21"			
20				7.800.980,61	607.609,99	857,49
	143,286	-2,109	288°36'03"			
21				7.801.026,31	607.474,19	855,381
	186,322	-11,383	311°25'43"			
22				7.801.149,60	607.334,49	843,998
	436,217	-26,033	345°27'31"			
23				7.801.571,84	607.224,97	817,965
	92,943	0,583	341°09'44"			
24				7.801.659,80	607.194,96	818,548
	61,448	2,188	247°02'12"			
25				7.801.635,83	607.138,38	820,736
	135,286	3,296	181°34'25"			
1				7.801.500,59	607.134,66	824,032
			1°34'23"			

Relatório da poligonal
 Estação total Topcom GTS 212
 Software TopoGRAPH 98SE v. 2.68

	Estação de partida	Referência de partida
Nome	1	25
Norte	7.801.500,594	
Este	607.134,661	
Cota	824,032	
Azimute	1° 34' 23"	
Distância		

	Estação de chegada	Referência de chegada
Nome	1	25
Norte	7.801.500,594	
Este	607.134,661	
Cota	824,032	
Azimute	1° 34' 23"	
Distância		

	Observados	Compensados
Perímetro	3.834,3880 m	3.832,8961 m
Área	580.069,2904 m ²	580.113,5033 m ²

	Erros	Tolerâncias	Fora
Angular	0° 00' 23"	0° 02' 30" (=0°00'30" x N _{1/2})	
Relativo	1 : 44.299	1 1.000	
Linear	0,0866 m		
Eixo Norte	- 0,0677 m		
Eixo Este	- 0,0540 m		
Altimétrico	0, 103 m		
Azimute erro linear	218° 34' 00,8"		