



Dissertação de Mestrado

AVALIAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE PONTOS
OBTIDOS COM GPS UTILIZANDO DIFERENTES BASES
E TEMPOS DE OCUPAÇÃO

Délcio Jesus Colin Benvegnu

PPGEA

Santa Maria, RS, Brasil

2005

AVALIAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE PONTOS
OBTIDOS COM GPS UTILIZANDO DIFERENTES BASES
E TEMPOS DE OCUPAÇÃO

por

Délcio Jesus Colin Benvegnu

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,
Área de concentração em Sensoriamento Remoto, da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola.

PPGEA

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora , abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**Avaliação do processamento de pontos obtidos com GPS
utilizando diferentes bases e tempos de ocupação**

elaborada por

Délcio Jesus Colin Benvegnu

como requisito parcial para a obtenção de grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina
(Presidente / Orientador)

Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira

Prof. Dr. José Américo de Mello Filho

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2005.

B478a Benvegno, Délcio Jesus Colin, 1966-

Avaliação do processamento de pontos obtidos com GPS utilizando diferentes bases e tempos de ocupação / por Délcio Jesus Colin Benvegno ; orientador Adroaldo Dias Robaina. – Santa Maria, 2005.

xiv, 71 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

1. Engenharia agrícola 2. Mensuração 3. GPS 4. Georreferenciamento 5. Geodésia 6. Topografia I. Robaina, Adroaldo Dias, orient. II.Título

CDU: 528.4

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes CRB-10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2005

Todos os direitos autorais reservados a Délcio Jesus Colin Benvegno e Adroaldo Dias Robaina. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho poderá ser feita, desde que citada a fonte.

Endereço: Rua Tito Becon, nº 2701 Centro, Santiago, RS,
97700-000. Fone: (0XX) 55 251-7257; End. Eletrônico:delcio-benvegno@ra.rs.gov.br

“Aquilo que não nos mata, torna-nos mais fortes.”
Friedrich Nietzsche

Dedico este trabalho a Marizete e Bruna.

AGRADECIMENTOS

A minha esposa e filha, pelo amor, carinho, compreensão e companheirismo;

À Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de crescer profissionalmente cursando este mestrado;

A Universidade Regional e Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santiago e os professores do Curso de Engenharia Agrícola, primeira turma;

Ao Prof. Adroaldo Dias Robaina pela orientação e aprendizado;

Ao Prof. Clovis Fernando Ben Brum e ao Prof. Attus Pereira Moreira, pela consideração e oportunidade de estágio, e, a Prof^a Márcia Xavier Peiter pela confiança e indicação;

Ao Prof. Gomercindo Gaspar Martins Marques, pelos ensinamentos desde a graduação;

Ao Eng. Agr. Vulmar Silveira Leite, Secretário de Estado, pela preocupação e incentivo constante;

Aos colegas do Gabinete de Reforma Agrária e Cooperativismo pelo companheirismo;

Ao Eng. Agr. José Joaquim Braga Rios (Quincas), mais do que colega de profissão, um irmão;

A Roger Regis Roos e família, pela acolhida;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, em especial a Ercelino Martin Bevilaqua pela cordialidade e disposição;

À equipe do Laboratório de Geomática, em especial a Alexandre ten Caten;

E a todas pessoas que de uma forma ou outra colaboraram para a conclusão desta tarefa.

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS | ix |
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| LISTA DE TABELAS | xii |
| RESUMO | xiii |
| ABSTRACT | xiv |
| 1. INTRODUÇÃO | 01 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 03 |
| 2.1. Histórico | 03 |
| 2.2. Princípio | 03 |
| 2.3. Segmento espacial | 04 |
| 2.4. Segmento de controle | 05 |
| 2.5. Segmento dos usuários | 06 |
| 2.6. Medidas | 07 |
| 2.7. Erros relacionados com as observáveis | 08 |
| 2.7.1. Erros relacionados com a propagação do sinal | 09 |
| 2.7.1.1. Refração troposférica | 10 |
| 2.7.1.2. Refração ionosférica | 10 |
| 2.7.1.3. Perdas de ciclos | 11 |
| 2.7.1.4. Sinais refletidos | 12 |
| 2.7.2. Erros relacionados com o receptor e antena | 12 |
| 2.7.3. Erros relacionados com a estação | 13 |
| 2.8. Posicionamento de pontos no sistema GPS | 13 |
| 2.9. Métodos de posicionamento com GPS | 17 |
| 2.9.1. Posicionamento por ponto ou absoluto | 17 |
| 2.9.2. Posicionamento relativo | 18 |
| 2.9.2.1. Posicionamento relativo estático | 18 |
| 2.9.2.2. Posicionamento relativo em tempo real | 18 |
| 2.9.2.3. Posicionamento relativo estático rápido | 19 |

| | |
|--|-----------|
| 2.9.3. GPS Diferencial (DGPS) | 19 |
| 2.9.4. Método cinemático | 20 |
| 2.10. Sistemas de referência | 20 |
| 2.10.1. Conversão de coordenadas geodésicas em cartesianas | 20 |
| 2.10.2. Transformação de coordenadas WGS-84 para SAD-69 e vice-versa | 23 |
| 2.11. Aspectos práticos: planejamento, coleta e processamento de dados GPS | 23 |
| 2.11.1. Planejamento e reconhecimento | 23 |
| 2.11.2. Coleta de dados | 28 |
| 2.11.3. Processamento dos dados | 28 |
| 2.12. Aplicação do GPS | 32 |
| 2.13. Redes de apoio ao posicionamento | 32 |
| 2.13.1. Estação de controle ativo | 32 |
| 2.13.2. Rede faróis da marinha | 35 |
| 2.13.3. Redes de estações ativas particulares | 35 |
| 2.13.4. Estação de Controle Passivo | 36 |
| 2.14. Modelos matemáticos | 37 |
| 2.15. Precisão, acurácia e exatidão | 37 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 39 |
| 3.1. Caracterização da área experimental | 39 |
| 3.2. Materiais e métodos | 40 |
| 3.2.1. Processamento dos dados | 44 |
| 3.2.2. Organização dos dados encontrados | 45 |
| 3.2.3. Modelagem | 47 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 48 |
| 4.1. Análise da acurácia em relação ao desvio padrão | 48 |
| 4.2. Análise estatística | 53 |
| 4.3. Equacionamento da acurácia do levantamento | 55 |
| 4.4. Equacionamento da precisão do levantamento | 58 |
| 5. CONCLUSÕES | 62 |

| | |
|--|-----------|
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 63 |
| 7. ANEXOS | 66 |

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

| | |
|----------|---|
| ° | Grau |
| ‘ | Minuto |
| “ | Segundo |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AS | <i>Anti-Spoofing</i> ou anti-fraude |
| b | Coeficiente angular de regressão |
| C/A | <i>Coarse Acquisition</i> – livre acesso |
| cm | Centímetro |
| Código P | Código preciso ou protegido |
| Código Y | Código preciso ou protegido |
| CTRS | Sistema de Referência Terrestre Convencional |
| dm | Decímetro |
| DoD | Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América |
| DOP | <i>Dilution of Precision</i> – Diluição da Precisão |
| DX | Componente da linha base de medida |
| DY | Componente da linha base de medida |
| DZ | Componente da linha base de medida |
| ECA | Estação de controle ativo |
| FEPAGRO | Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária |
| GPS | <i>Global Positioning System</i> |
| GRS80 | <i>Geodetic Reference System 1980</i> |
| h_0 | Altura da coordenada geodésica relativa à origem do sistema |
| Hz | Hertz |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INCRA | Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária |
| km | Quilômetro; |
| L1 | Onda portadora |
| L2 | Onda portadora |

| | |
|-------------|--|
| m | Metro |
| Mb | Megabyte |
| MCS | Estação de controle central - <i>Master Control Station</i> . |
| MHz | Megahertz |
| mm | Milímetro |
| NAVSTAR | <i>Navigation Satellite with Time And Ranging</i> |
| PDF | Formato de arquivo |
| ppm | Parte por milhão |
| RBMC | Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo |
| RF | radiofrequência |
| RIBaC | Rede Inbra de Bases Comunitárias |
| RINEX | <i>Receiver Independent Exchange</i> |
| RMS | <i>Root mean square</i> – erro médio quadrático |
| RS | Rio Grande do Sul |
| SA | <i>Selective availability</i> – disponibilidade seletiva |
| SAA | Secretaria da Agricultura e Abastecimento |
| SAD-69 | <i>South American Datum 1969</i> |
| SGB | Sistema Geodésico Brasileiro |
| SIG | Sistema de Informações Geográficas |
| SPS | <i>Standart Positioning Service</i> – Serviço de Posicionamento Padrão |
| UTM | <i>Universal Transversa of Mercator</i> – Sistema de Projeções |
| WGS-84 | <i>World Geodetic System 1984</i> |
| X | Eixo das abscissas |
| Y | Eixo das ordenadas |
| Z | Altura |
| ZIP | Formato de compressão de arquivo |
| λ_0 | Ordenada da coordenada geodésica relativa à origem do sistema |
| φ_0 | Abcissa da coordenada geodésica relativa à origem do sistema |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| FIGURA 01- | Sistema de referência do GPS. | 08 |
| FIGURA 02- | Formação da dupla diferença | 15 |
| FIGURA 03- | Coordenadas geodésicas e cartesianas | 22 |
| FIGURA 04- | Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo. | 33 |
| FIGURA 05- | RIBaC -Rede Inkra de Bases Comunitárias do GPS. | 34 |
| FIGURA 06- | Rede Santiago & Cintra. | 35 |
| FIGURA 07- | Rede estadual de pontos de GPS. | 36 |
| FIGURA 08- | Definição visual dos conceitos de precisão e exatidão..... | 38 |
| FIGURA 09- | Croqui de localização da área e a distribuição espacial dos pontos selecionados. | 39 |
| FIGURA 10- | Estação total e prismas utilizados no levantamento do polígono teste. | 40 |
| FIGURA 11- | Croqui de localização da área em relação às bases utilizadas. | 41 |
| FIGURA 12- | Receptor GPS instalado na estação base. | 42 |
| FIGURA 13- | Receptor GPS instalado no ponto do polígono teste. | 42 |
| FIGURA 14- | Quadro guia para a organização dos resultados de processamento | 46 |
| FIGURA 15- | Membros da matriz sete por seis representam a utilização do quadro guia nos diversos tempos e distâncias. | 46 |
| FIGURA 16- | Desvio Padrão e Erro Posicional para base a 7 km | 49 |
| FIGURA 17- | Desvio Padrão e Erro Posicional para base a 77 km e 280 km | 50 |
| FIGURA 18- | Desvio Padrão e Erro Posicional para base a 310 km, 440 km e 448 km | 51 |
| FIGURA 19- | Acurácia em função da distância da base em cada tempo de rastreo | 51 |
| FIGURA 20- | Desvios Padrão em função da distância da base em cada tempo de rastreo | 52 |
| FIGURA 21- | Regressão entre os valores desenvolvidos pelo modelo e os observados a campo..... | 57 |
| FIGURA 22- | Regressão entre os desvios padrão gerados a partir das informações de rastreo e daquelas advindos do modelo..... | 60 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|--|----|
| Tabela 01- | Fontes e efeitos dos erros envolvidos no GPS | 09 |
| Tabela 02- | Localização das bases da rede ativa. | 43 |
| Tabela 03- | Teste de médias para valores de desvio padrão e acurácia nas seis bases para o tempo de 15 minutos da sessão. | 53 |
| Tabela 04- | Teste de médias para valores de desvio padrão e acurácia nas seis bases para o tempo de 5 minutos da sessão. | 54 |
| Tabela 05- | Teste de médias para valores de desvio padrão e acurácia nas seis bases para o tempo de 1 minuto da sessão | 54 |
| Tabela 06- | Valores de a e b em função do tempo em cada distância.. | 55 |
| Tabela 07- | Valores de a e b em função do tempo em cada distância.. | 59 |

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

AVALIAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE PONTOS OBTIDOS COM GPS UTILIZANDO DIFERENTES BASES E TEMPOS DE OCUPAÇÃO

Autor: Délcio Jesus Colin Benvegno
Orientador: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, 28, de fevereiro de 2005.

O presente trabalho teve por objetivo a avaliação do processamento de pontos obtidos com receptores GPS de frequência simples, utilizando 6 diferentes bases com tempos de ocupação de cada ponto de 15, 10, 5, 4, 3, 2 e 1 minuto, a uma taxa de gravação de 5 segundos, através do método relativo estático, para o desenvolvimento de um modelo matemático. Os dados obtidos com o sistema GPS foram comparados com o polígono teste levantado, por caminhamento perimétrico, com Estação Total (MED). Os resultados mostraram que a modelagem proposta para a precisão mostrou-se possível, já o comportamento do modelo para a acurácia apresentou baixa eficiência, não sendo correto atribuir a precisão como determinante único da qualidade dos equipamentos e levantamento realizados com GPS.

1- INTRODUÇÃO

A utilização da tecnologia do Sistema de Posicionamento Global (GPS) provocou uma verdadeira revolução, nesta última década, nas atividades de navegação e posicionamento. Os trabalhos geodésicos passaram a ser realizados de forma mais rápida, precisa e econômica quando comparados com os métodos convencionais. Tais vantagens vêm melhorando cada vez mais, à medida que os equipamentos, os métodos de observação e as técnicas de processamento evoluem.

Nas aplicações geodésicas e topográficas do GPS está implícita a utilização do método relativo estático, isto é, ao menos uma estação de coordenadas conhecidas é também ocupada simultaneamente à ocupação dos pontos desejados. A principal vantagem deste método em relação aos demais é a sua maior precisão, porém, apresenta com desvantagem, para uso em levantamentos topográficos, o elevado tempo de permanência para a coleta dos dados.

As estações da RBMC e RIBaC desempenham justamente o papel do ponto de coordenadas conhecidas, eliminando a necessidade de que o usuário imobilize um receptor em um ponto que, muitas vezes, oferece grandes dificuldades de acesso. Além disso, os receptores que equipam estas estações são de alto desempenho, proporcionando observações de grande qualidade e confiabilidade.

Para levantamentos com GPS de frequência simples surge a necessidade de se avaliar o tempo de permanência em função de determinada distância, necessário para obter-se a acurácia normatizada pelo INCRA, em cumprimento à Lei Federal n° 10.267.

A justificativa para este estudo é a necessidade de obter subsídios teóricos e metodológicos para a utilização da tecnologia GPS na determinação de medidas topográficas, com precisão adequada aos levantamentos topográficos em um curto intervalo de tempo de ocupação dos pontos de uma poligonal.

Objetivo é verificar a influência das diferentes distâncias de bases e tempos de ocupação dos pontos, com uma taxa de gravação de 5 s, para a reconstituição de uma poligonal topográfica, utilizando receptores GPS de uma frequência, compará-los com os dados levantados com a Estação Total e criar um modelo matemático deste comportamento, de maneira a auxiliar o usuário na tomada de decisão.

2- REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Histórico

O Sistema de Posicionamento Global, conhecido por GPS (*Global Positioning System*) ou NAVSTAR-GPS (*Navigation Satellite with Time And Ranging*), é um sistema de radio-navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (*DoD - Department of Defense*), com o objetivo de ser o principal sistema de navegação das forças armadas americanas. Em razão da alta acurácia proporcionada pelo sistema e do alto grau de desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GPS, uma grande comunidade usuária emergiu nas mais variadas aplicações civis (navegação, posicionamento geodésico e topográfico).

A concepção do sistema permite que um usuário, em qualquer parte da superfície terrestre, possa obter a sua posição de forma rápida, acurada e a qualquer instante, rastreando, no mínimo, quatro satélites. Uma característica muito importante da tecnologia GPS, em relação aos métodos de levantamentos convencionais, é a não necessidade de intervisibilidade entre as estações.

Segundo Gomes *et al.* (2001), o GPS, quando comparado com os métodos de levantamentos convencionais, permite um ganho da ordem de três vezes em tempo e redução substancial das equipes de trabalho.

2.2. Princípio

O fundamento básico do princípio de navegação consiste da medida das chamadas pseudodistâncias entre o usuário e quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível

calcular as coordenadas da antena do usuário com respeito ao mesmo sistema de referência dos satélites. Do ponto de vista geométrico, somente três medidas de pseudodistâncias seriam suficientes. A quarta medida é necessária devido à não sincronização dos relógios dos satélites com o do usuário (Monico, 2000).

2.3. Segmento Espacial

O segmento espacial consiste de 24 satélites distribuídos em seis planos orbitais igualmente espaçados (quatro satélites em cada plano), numa altitude aproximada de 20.200 km. Os planos orbitais são inclinados 55° em relação ao equador e o período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais. Desta forma, a posição de cada satélite se repete, a cada dia, quatro minutos antes que a do dia anterior. Esta configuração garante que no mínimo quatro satélites GPS sejam visíveis em qualquer ponto da superfície terrestre, a qualquer hora.

Cada satélite GPS transmite duas ondas portadoras: L1 e L2. Elas são geradas a partir da frequência fundamental de 10.23 MHz, a qual é multiplicada por 154 e 120 respectivamente. Desta forma, segundo Hofmann-Wellenhop *et al.* (1994), as frequências (L) e os comprimentos de onda (λ) de L1 e L2 são:

$$L1 = 1.575,42 \text{ MHz e } \lambda \cong 19 \text{ cm.}$$

$$L2 = 1.227,60 \text{ MHz e } \lambda \cong 24 \text{ cm.}$$

Estas duas frequências são geradas simultaneamente, permitindo aos usuários corrigir grande parte dos erros devido a refração ionosférica. O código C/A (*Coarse Acquisition*), com comprimento de onda por volta de 300 m é transmitido a uma razão de 1.023 MHz e modulado somente sobre a onda portadora L1. O período deste código é 1 milissegundo. Este é o código a partir do qual os usuários civis obtêm as pseudodistâncias que permitem obter a exatidão estipulada no SPS. Este código não é criptografado, embora possa ter sua precisão degradada. O código P (Precise or Protected) tem sido reservado

para uso dos militares americanos e outros usuários autorizados. Seu comprimento de onda é da ordem de 30 m e é transmitido na razão de 10,23 MHz (uma seqüência de 10,23 milhões de dígitos binários por segundo) modulado nas portadoras L1 e L2, com período de 266,4 dias. O fato do código P ser modulado numa razão mais alta faz com que o mesmo seja mais preciso. No entanto, o código P é encriptado (AS) e passa a ser denominado código Y, o qual não é disponível para os usuários civis. As mensagens de navegação são também moduladas sobre as portadoras. Tais mensagens contêm os parâmetros orbitais, dados para correção da propagação na atmosfera, parâmetros para correção do erro dos relógios dos satélites, saúde dos satélites.

Pode-se observar, então, que há três tipos de sinais: a portadora, os códigos e os dados (navegação, relógio). Esta estrutura permite não só medir a fase da portadora e sua variação, mas também o tempo de propagação (Seeber, 1993).

2.4. Segmento de controle

A operacionalidade do sistema GPS é feita pelo segmento de controle cujas funções consiste em:

- monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites;
- determinar o sistema de tempo GPS;
- prever as efemérides dos satélites e calcular as correções dos relógios dos satélites; e

- atualizar periodicamente as mensagens de navegação de cada satélite.

O sistema de controle é composto por cinco estações monitoras: Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia, Colorado Springs, sendo esta última, uma estação de controle central (MCS: *Master Control Station*). Cada estação monitora é equipada com oscilador externo de alta precisão e receptor

de dupla frequência, o qual rastreia todos os satélites visíveis e transmite os dados para a MCS, via sistema de comunicação. Os dados são processados na MCS para determinar as órbitas dos satélites (efemérides transmitidas) e as correções dos relógios dos satélites a fim de atualizar periodicamente as mensagens de navegação. A informação atualizada é enviada para os satélites a partir das antenas terrestres (Monico, 2000).

2.5. Segmento dos usuários

O segmento de usuários é composto pelos receptores GPS, os quais devem ser apropriados para usar o sinal GPS para os propósitos de navegação, topografia, geodésia ou outra atividade qualquer. Atualmente há uma grande quantidade de receptores no mercado civil, para as mais diversas aplicações.

Os principais componentes de um receptor GPS, são (Seeber, 1993):

- antena com pré-amplificador;
- seção de RF (radiofrequência) para identificação e processamento do sinal;
- microprocessador para controle do receptor, amostragem e processamento dos dados;
- oscilador;
- interface para o usuário, painel de exibição e comandos;
- provisão de energia; e
- memória para armazenar os dados.

Os receptores GPS podem ser divididos segundo vários critérios. Uma classificação possível é de acordo com a comunidade usuária: receptor militar, civil, navegação, geodésico e de aquisição de tempo. Uma outra classificação baseia-se no tipo de dados proporcionado pelo receptor:

- código C/A;

- código C/A e portadora L1;
- código C/A e portadoras L1 e L2;
- códigos C/A e P e portadoras L1 e L2;
- portadora L1; e
- portadoras L1 e L2.

2.6. Medidas

As medidas (observáveis) básicas do sistema são a distância receptor-satélite, além da fase das ondas portadoras, variação Doppler e SNR.

As medidas entre os satélites e o receptor são determinadas por código e por fase, neste último caso, se resolvidas as ambigüidades inteiras da onda portadora. Nas medidas por código, ocorrem mesmo, medidas de intervalo de tempo de propagação do sinal entre o satélite e o receptor. Este intervalo de tempo multiplicado pela velocidade de propagação dessa onda (que é a velocidade de propagação da luz), resulta no comprimento da distância desejada. A medida do intervalo de tempo de propagação é feita através de correlação dos códigos modulados nas ondas portadoras, chamados código C/A (de livre acesso) e código P (de uso restrito dos militares). As medidas por código, apesar de menos precisas que aquelas feitas através das fases das portadoras, apresentam a vantagem de serem mais operacionais em campo (Monico, 2000).

O sistema de referência do GPS é o World Geodetic System 1984 (WGS-84). Desta forma, quando um levantamento é efetuado usando o GPS, as coordenadas dos pontos levantados serão obtidas no mesmo sistema de referência. A Figura 01 ilustra o WGS-84.

Sua origem é o centro de massa da Terra, com os eixos cartesianos X, Y e Z idênticos ao Sistema de Referência Terrestre Convencional (CTRS) para a época 1984.

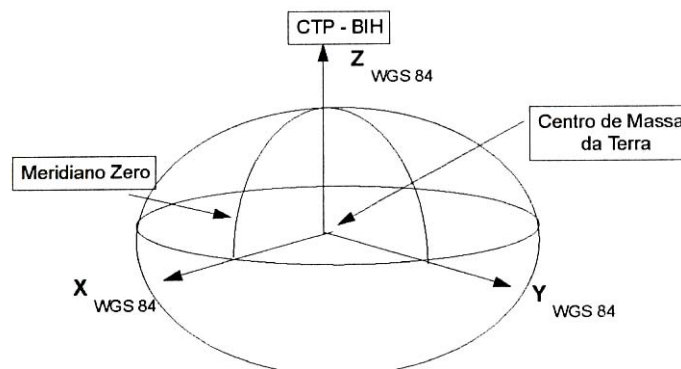


FIGURA 01. Sistema de referência do GPS

O elipsóide de referência é o GRS80 (*Geodetic Reference System 1980*), um elipsóide de revolução equipotencial e geocêntrico. Alguns parâmetros relacionados a este elipsóide estão listados a seguir (Hofmann-Wellenhof *et al.*, 1994):

$a = 6.378.137$ m (Semi-eixo maior)

$b = 6.356.752,314$ m (Semi-eixo menor)

$f = 1/298,2572221$ (Achatamento)

$J_2 = 1.082.630,10^9$ (Coeficiente zonal de Segunda ordem)

$\omega_e = 7.292.115 \times 10^8$ rad/s (Velocidade angular da Terra)

$GM = 3.986.005 \times 10^8$ m³/s² (Constante gravitacional da Terra)

2.7. Erros relacionados com as observáveis

Monico (2000) comenta que o sistema GPS está sujeito a erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros. As fontes de erros envolvidas no processo de medidas devem ser bem conhecidas. Os erros sistemáticos podem ser parametrizados (modelados como termos adicionais) ou eliminados por técnicas apropriadas. Os erros aleatórios, por sua vez, não apresentam qualquer relação funcional com as medidas e são, normalmente, as

discrepâncias remanescentes nas observações depois que todos os erros grosseiros e sistemáticos são minimizados. Eles são inevitáveis, sendo, portanto, considerados como uma propriedade inerente da observação. A tabela abaixo apresenta uma subdivisão das fontes de erros e lista de alguns de seus efeitos.

TABELA 01 - Fontes e efeitos dos erros envolvidos no GPS.

| fontes | efeitos |
|---------------------|--|
| satélite | erro da órbita erro do relógio relatividade atraso de grupo |
| propagação do sinal | refração troposférica refração ionosférica perdas de ciclos sinais refletidos rotação da terra |
| receptor/antena | erro do relógio erro entre os canais centro de fase da antena |
| estação | erro nas coordenadas marés terrestres movimento do polo carga dos oceanos pressão da atmosfera |

Fonte: Monico (2000).

A seguir, serão abordadas as fontes de erros mais relevantes para este trabalho, devido à possibilidade do usuário poder influenciar direta ou indiretamente sobre tais erros.

2.7.1. Erros relacionados com a propagação do sinal

Os sinais provenientes dos satélites atravessam a atmosfera onde sofrem refração, resultando numa trajetória curva associada a um atraso na chegada do sinal. Esta refração se deve ao fato de o sinal passar através de vários níveis de densidade variáveis. O retardo do sinal é uma consequência

da diferença entre a velocidade do sinal na atmosfera e no vácuo. O meio onde ocorre a propagação consiste essencialmente da troposfera e da ionosfera. A troposfera se estende da superfície terrestre até aproximadamente 50 km e comporta-se como um meio não dispersivo, isto é, a refração é independente da frequência do sinal. A ionosfera é um meio dispersivo (a refração depende da frequência), o que significa que a fase da portadora e a modulação sobre ela serão afetadas de formas diferentes. A ionosfera abrange aproximadamente a região que vai de 50 até 1000 km acima da superfície terrestre (Monico, 2000).

2.7.1.1. Refração troposférica

O atraso do sinal na troposfera pode ser modelado ou ignorado, sendo que o efeito de cada atitude tem reflexo direto no cálculo das coordenadas do receptor, tal como no caso da ionosfera, sendo a diferença fundamental que esse efeito não pode ser medido pelo receptor. Os modelos de cálculo disponíveis utilizam valores padrão para a temperatura ($T = 20^\circ \text{C}$), para a pressão atmosférica ($P = 1000 \text{ hPa}$) e para a umidade relativa do ar ($U_r = 50\%$) ou valores dessas variáveis medidos no local e na hora do rastreamento. Dentre os vários modelos desenvolvidos, destaca-se o modelo da troposfera de Hopfield que apresenta-se em Hopfield (1971).

2.7.1.2. Refração ionosférica

A ionosfera, ao contrário da troposfera, é um meio dispersivo. Isto significa que a refração ionosférica depende da frequência do sinal.

A dependência da frequência torna possível eliminar os efeitos de primeira ordem quando se coleta os dados com um receptor de dupla frequência. Para receptores de frequência simples, a ionosfera é a maior fonte de erro. No posicionamento relativo, sobre distâncias curtas (10 a 20 km), a maioria dos erros é eliminada. No entanto, receptores de frequência simples são normalmente usados sobre linhas de bases maiores que as consideradas adequadas para eliminar grande parte dos efeitos da ionosfera. Desta forma, o atraso ionosférico é obtido através de modelos específicos, sendo que para a sua utilização os coeficientes do modelo são transmitidos na mensagem de navegação. Dentre os modelos da ionosfera existentes, destaca-se o modelo de Klobuchar (1991).

2.7.1.3. Perdas de ciclos

As medidas de fase são, normalmente, contínuas com respeito ao período de uma sessão de observação. Quando há uma não continuidade na medida da fase diz-se que ocorreu perda de ciclos. Isto pode ser devido a bloqueio do sinal, aceleração da antena, variações bruscas na atmosfera, interferências de outras fontes de rádio e problemas com o receptor e o programa computacional. Quando ocorre perda de ciclos, é de se esperar que a parte fracional permaneça correta; somente o número inteiros de ciclos sofre um salto. É necessário, e na maioria das vezes é possível, corrigir a fase da portadora do número inteiro de ciclos provocando a descontinuidade. Diversas técnicas têm sido desenvolvidas para este fim. Uma outra opção é introduzir uma nova ambigüidade como incógnita no modelo de ajustamento.

2.7.1.4. Sinais refletidos

O receptor pode, em alguma circunstância, receber, além do sinal que chega diretamente a antena, sinais refletidos em superfícies vizinhas à mesma (multicaminhamento). Tal circunstância depende da relatividade do meio onde se posiciona a antena, características da antena e de técnicas utilizadas para impedir sinais refletidos. As condições um tanto arbitrária envolvendo o levantamento torna a modelagem destes efeitos um tanto difícil, muito embora algumas combinações de observáveis permitam avaliar o nível de sinais refletidos. Estes efeitos são normalmente considerados como erros aleatórios, muito embora, em alguns casos, pode-se comportar como efeitos sistemáticos. Desta forma, a recomendação mais efetiva é evitar levantamentos em locais propícios a estes efeitos, bem como o uso de antenas capazes de reduzir o efeito (antena *choke ring*).

2.7.2. Erros relacionados com o receptor e antena

Os erros relacionados com o receptor e antena são aqueles devidos ao programa computacional do receptor e forma da antena. Destaca-se o centro de fase da antena.

O centro elétrico da antena é um ponto no qual as medidas dos sinais são referenciadas e geralmente não coincide com o centro físico da antena. A discrepância varia com a intensidade e direção dos sinais e é diferente para a portadora L1 e L2. Para levantamentos de alta precisão, todas as antenas envolvidas no projeto devem ser calibradas, visando corrigir as observações. Antenas de mesmo fabricante e modelos iguais não devem apresentar maiores problemas. No entanto, recomenda-se que a orientação de todas as antenas envolvidas num projeto esteja na mesma direção.

2.7.3. Erros relacionados com a estação

Posicionamento GPS, no modo relativo, proporciona diferenças de coordenadas tridimensionais (DX, DY e DZ) de alta precisão. As diferenças de coordenadas não contêm informações sobre o sistema de referência (datum), as quais são indispensáveis em qualquer tipo de levantamento. Para tal, pelo menos um ponto deve ser mantido fixo. Qualquer erro em suas coordenadas irá ser propagado para as coordenadas dos pontos determinados a partir dele. Um erro na posição do ponto fixo também afetará as componentes relativas, não especialmente ΔX , ΔY e ΔZ , mas $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$ e Δh .

Além de erros nas coordenadas da estação, no caso de fixar as coordenadas da estação base, outros erros resultantes de fenômenos geofísicos podem causar variações nas coordenadas das estações envolvidas no levantamento durante o período de coleta das observações. Entre eles estão incluídos os efeitos de marés terrestres, carga dos oceanos e carga da atmosfera.

2.8. Posicionamento de pontos no sistema GPS

Para o posicionamento efetuado através das observações de códigos e das fases das portadoras são utilizadas as seguintes equações (Garnés *et al.*, 2000):

Para o código:

$$P_r^s = p_r^s + cdt_r - cdt^s + cdt_{ION} + cdt_{TROP} - \epsilon$$

(1)

Onde:

P_r^s = medida da distância entre os satélites e receptor, registrada pelo receptor no tempo t_r ;

t_r = tempo de relógios de receptor;

t^s = tempo do relógio do receptor;

p_r^s = distância entre a antena do satélite e a antena do receptor e é dada pela seguinte expressão:

$$p_r^s = \sqrt{(X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2} \quad (2)$$

Onde:

x^s, y^s, z^s = coordenadas do satélite;

x_r, y_r, z_r = coordenadas do receptor;

$c = 299.792.458$ m/s (velocidade da luz)

dt_r = estado dos relógios do receptor em relação ao tempo GPS;

dt^s = estado dos relógios dos satélites em relação ao tempo GPS;

dt_{ion} = erro ionosférico;

dt_{trop} = erro troposférico;

ε = resíduo.

Para as fases das portadoras:

$$\lambda \emptyset = p_r^s + c dt_r - c dt^s - c dt_{ion} + c dt_{trop} - \lambda N_r^s \varepsilon \quad (3)$$

Onde:

\emptyset_r^s = fase de batimento da onda portadora observada no tempo t_r ;

N_r^s = número de ciclos inteiros da onda portadora entre o satélite e o receptor (ambigüidade);

λ = comprimento de onda da frequência L1 (0,1902 m).

As medidas realizadas com as observações da fase da portadora são mais precisas do que as de código, e melhores precisões no posicionamento são atingidas, quando o valor da ambigüidade (N) é corretamente determinado, no pós-processamento dos dados. Porém, restam ainda os erros residuais, que são reduzidos quando se aplica o método de posicionamento relativo, onde são feitas observações simultâneas entre dois receptores.

Para o cálculo do vetor formato no posicionamento relativo, o qual foi utilizado para o levantamento dos dados do presente estudo, são usadas as equações da pseudodistância, através do código (equação 1) e da fase da portadora (equação 3), sendo que as coordenadas de um dos pontos (base ou referência) são conhecidas.

As duas medidas de fase, obtidas pelo processo relativo, resultam em observações que podem ser combinadas linearmente, para formarem equações que reduzem ou eliminam os erros inerentes ao sistema GPS. As diferenças entre estas equações são conhecidas como: simples, dupla e tripla diferença de fase.

Nas combinações de simples diferença de fase são promovidas as diferenças das observações feitas entre dois receptores em relação ao mesmo satélite. Com estas combinações o erro do relógio do satélite é eliminado, uma vez que este parâmetro é comum nas duas medidas. Quando se realiza a combinação entre duas equações de simples diferenças de fase, o resultado é uma solução de dupla diferença de fase, neste processo estão envolvidas observações simultâneas, provenientes de dois receptores (A e B) e dois satélites (J e K), como pode ser visto na Figura 02. A dupla diferença de fase, segundo Monico (2000), pode ser expressa pela equação (4).

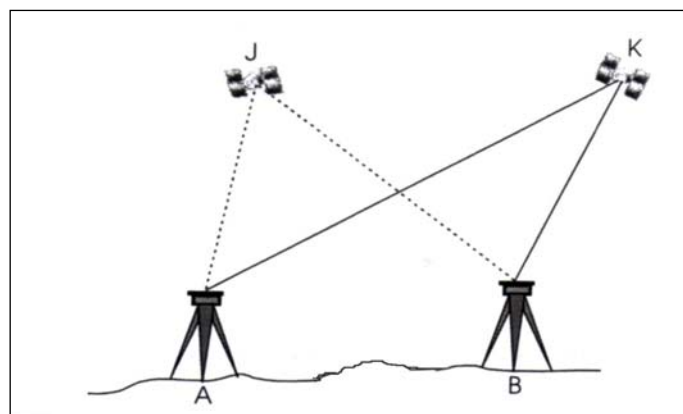


FIGURA 02 - Formação da dupla diferença (Monico, 2000).
Equação da dupla diferença de fase:

$$\varnothing_{AB}^{jk} = \rho_{AB}^{jk} - \lambda N_{AB}^{jk} - \varepsilon \quad (4)$$

Sendo que:

$$\varnothing_{AB}^{jk} = \varnothing_B^k - \varnothing_A^k - \varnothing_B^j + \varnothing_A^j \quad (5)$$

$$N_{AB}^{jk} = N_B^k - N_A^k - N_B^j + N_A^j \quad (6)$$

$$\rho_{AB}^{jk} = \rho_B^k - \rho_A^k - \rho_B^j + \rho_A^j \quad (7)$$

Onde:

\varnothing = Fases da portadora em metros;

λ = comprimento de onda da portadora;

A e B = receptores;

j e k = satélites;

N = número de ciclos inteiros da portadora, entre os satélites e os receptores;

ρ = distância entre satélites e receptores;

ε = resíduo

Na determinação da posição de um ponto através do posicionamento relativo com a fase da portadora, a solução mais utilizada no processamento dos dados é a dupla diferença de fase. Esta solução apresentada elimina os erros dos relógios dos satélites e receptor e ainda reduz a influência das refrações ionosféricas e troposféricas. Sendo que, para linhas base inferior a

10 km, os efeitos da ionosfera podem ser desconsiderados (Monico, 2000; Hofmann-Wellenhof *et al.*, 1994).

A solução da tripla diferença resulta de duas diferenças de fase e tem por finalidade eliminar os erros dos relógios (satélite e receptor) e a ambigüidade inteira (N) da onda portadora.

Os modelos das equações de simples e tripla diferença de fase poderão ser encontrados em Hofmann-Wellenhof *et al.* (1994).

2.9. Métodos de posicionamento com GPS

Segundo Monico (2000), podem ser classificados em posicionamento absoluto, quando as coordenadas estão associadas diretamente ao geocentro, e, relativo, no caso em que as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas.

2.9.1. Posicionamento por ponto ou absoluto

No posicionamento por ponto necessita-se apenas de um receptor. Este método de posicionamento é o mais utilizado em navegação de reduzida precisão. O posicionamento instantâneo de um ponto (tempo real), usando a pseudo-distância derivada do código C/A (SPS), apresentava precisão planimétrica da ordem de 100 m (95%). Com a eliminação da SA (*Selective Availability*), no dia 2 de maio de 2000, esta qualidade melhorou em torno de 10 vezes.

2.9.2. Posicionamento relativo

Para realizar posicionamento relativo é normal dizer que o usuário deve dispor de dois ou mais receptores. O posicionamento relativo é suscetível de ser realizado usando uma das seguintes observáveis:

- pseudo-distâncias;
- pseudo-distâncias suavizadas pela portadora e;
- fase da onda da portadora em conjunto com as pseudo-distâncias.

2.9.2.1. Posicionamento relativo estático

Neste tipo de posicionamento, dois ou mais receptores rastreiam os satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de dezenas de minutos, até algumas horas. A observável normalmente usada é a dupla diferença da fase da portadora, por apresentar melhores resultados em termos de acurácia. Trata-se da técnica mais utilizada em posicionamento geodésico. Como a acurácia da fase da portadora é muito superior que a da pseudo-distância, esta última não melhora os resultados significativamente quando o período de coleta de dados for longo. Mesmo assim, as pseudo-distâncias devem estar disponíveis, pois elas são utilizadas no pré-processamento para estimação do erro do relógio do receptor.

2.9.2.2. Posicionamento relativo em tempo real

No posicionamento relativo em tempo real, além dos dois receptores normalmente empregados no posicionamento, um dos receptores deve receber, além das observações por ele coletadas, informações adicionais via algum sistema de comunicação. Estas informações podem ser as próprias observações coletadas, simultaneamente, num outro receptor ou estação, caso denominado na literatura de cinemático, ou correções diferenciais, método este denominado de DGPS (Differential GPS).

2.9.2.3. Posicionamento relativo estático rápido

Dentro desta classificação inclui o método *stop-and-go* (pare e siga), já que ele aparece na literatura como um método de posicionamento semi-cinemático. O método *stop-and-go* se baseia em determinar rapidamente as ambigüidades e mante-las durante o levantamento das estações de interesse. A antena é mantida coletando dados sobre a estação a ser levantada por um breve período de tempo, o necessário para a coleta da identificação da estação e montagem da antena. Portanto, a questão fundamental é a determinação da ambigüidade antes de iniciar o levantamento.

2.9.3. GPS Diferencial (DGPS)

O DGPS foi desenvolvido para as aplicações em navegação necessitando de precisão melhor que a oferecida pelo GPS quando se usa o SPS no modo absoluto (posicionamento por ponto). O conceito de DGPS envolve o uso de um receptor estacionário numa estação com coordenadas conhecidas, rastreando todos os satélites visíveis. O processamento dos dados

nesta estação (posicionamento por ponto) permite que se calcule correções posicionais ou de pseudodistâncias. As correções das coordenadas DX, DY e DZ são possíveis de serem determinadas, pois se conhece as coordenadas da estação base. As correções das pseudodistâncias são baseadas nas diferenças entre as pseudodistâncias observadas e as calculadas a partir das coordenadas dos satélites e da estação base.

2.9.4. Método cinemático

Neste método assume-se que a observável fundamental é a fase da onda portadora.

Há uma grande quantidade de aplicações que necessita das coordenadas da trajetória do receptor GPS com alta precisão. Um exemplo de interesse, às pessoas ligadas às atividades de mapeamento, diz respeito aos vôos fotogramétricos utilizando GPS para determinar as coordenadas do centro de perspectiva da câmara no instante de tomada da foto. Trata-se, no entanto, de um caso que se pode efetuar pós-processamento. Em algumas aplicações marítimas ou na aviação, necessita-se das posições em tempo real.

2.10. Sistemas de referência

2.10.1. Conversão de Coordenadas Geodésicas em Cartesianas

Denotando as coordenadas cartesianas retangulares de um ponto no espaço por X, Y e Z e assumindo um elipsóide de revolução com a mesma

origem do sistema de coordenadas cartesianas, um ponto pode também ser expresso pelas coordenadas geodésicas (elipsoidais).

A relação entre as coordenadas cartesianas e elipsoidais é dada por SEEBER (1993):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\bar{N} + h) \cos(\phi) \cos(\lambda) \\ (\bar{N} + h) \cos(\phi) \sin(\lambda) \\ (\bar{N} (1 - e^2) + h) \sin(\phi) \end{bmatrix} \quad (8)$$

Onde:

$$N = a / (1 - e^2 \sin^2(\phi))^{1/2}$$

$$e^2 = (a^2 - b^2) / a^2 = 2f - f^2$$

$$f = (a - b) / a$$

Sendo que:

ϕ é a latitude geodésica, que é o ângulo que a normal ao elipsóide, passando por P, forma com a sua projeção equatorial;

λ é a longitude geodésica, que é o ângulo compreendido entre os meridianos geodésicos de Greenwich (origem) e o do ponto P (positiva a leste) ou de qualquer ponto sobre a normal;

h é a altitude geométrica, que é a distância de P ao elipsóide, contada sobre a normal;

\bar{N} é a grande normal (raio de curvatura da seção primeiro vertical);

e^2 é a primeira excentricidade numérica; e

f é o achatamento.

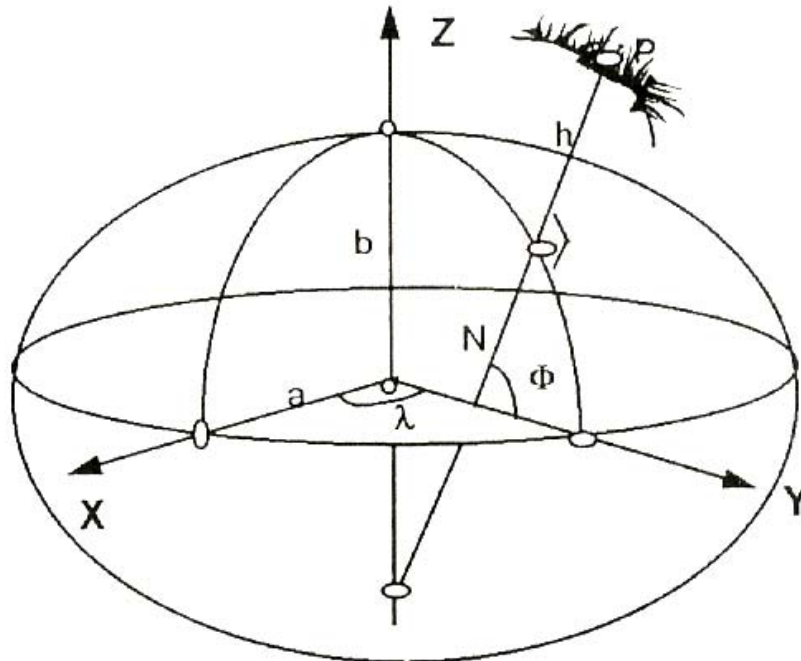


FIGURA 03 - Coordenadas geodésicas e cartesianas. (Monico, 2000)

A altitude ortométrica (H) é de especial interesse para atividades de engenharia (Brum, 2001). O GPS proporciona a altitude geométrica h , cuja conversão para ortométrica necessita do conhecimento da ondulação do geóide (N). O valor da altitude geométrica é aproximadamente dado por:

$$h \cong N + H \quad (9)$$

Onde:

h - altitude geométrica

N - ondulação geoidal

H - altitude ortométrica

2.10.2. Transformação de coordenadas WGS-84 para SAD-69 e vice-versa

A transformação de coordenadas entre o WGS-84 e o SAD-69 é de fundamental importância nas atividades envolvendo GPS no Brasil. Enquanto o primeiro é o datum do GPS, o segundo é o adotado no Brasil.

2.11. Aspectos práticos: planejamento, coleta e processamento de dados GPS

2.11.1. Planejamento e reconhecimento

Segundo Monico (2000), no planejamento de levantamentos GPS, tal como em qualquer método convencional, é essencial ter a disposição a documentação cartográfica mais recente da região de trabalho. Ela dará apoio na tarefa de definição dos pontos a serem levantados, definição dos trajetos a serem seguidos, entre outras. A condição e existência do apoio geodésico na região do levantamento devem ser verificadas a fim de definir os vértices do sistema de referência (SGB: Sistema Geodésico Brasileiro) a serem usados como estações bases. Considerando a dimensão territorial do Brasil e a distribuição do apoio básico, muitas vezes tais vértices poderão estar localizados a uma grande distância da área de trabalho. Trata-se, portanto, de uma questão fundamental no levantamento dos custos do projeto.

O planejamento da coleta de dados, visando o transporte de coordenadas para as estações bases, a partir do apoio fundamental, depende de diversos fatores, entre eles precisão exigida no levantamento e

equipamentos disponíveis. Se o usuário dispuser de dois equipamentos de dupla frequência, e a precisão exigida for decimétrica, o transporte de coordenadas da rede básica para a região de trabalho poderá ser realizada com apenas uma linha base, ligando um vértice da rede básica, e outro na região de trabalho. A duração da coleta de dados, dependendo das distâncias envolvidas, pode variar de 30 minutos a 2 horas, para linhas bases de até 500 km. Usuários com equipamentos de frequência simples (portadora e código), e necessitando de precisão decimétrica, deverão executar a tarefa em questão com linhas bases de no máximo 30 km, cada linha com tempo de coleta de dados maior que uma hora. Para garantir a confiabilidade do trabalho, as coordenadas das estações bases deverão ser levantadas tendo como referência mais que um vértice da rede fundamental.

Ainda com relação à fase de obtenção das coordenadas de pontos base na região de trabalho, deve-se ter em mente as possibilidades futuras, haja vista, que, em breve, a RBMC deverá estar totalmente operacional. A mesma será bastante útil para usuários dispoindo de pelo menos um receptor de dupla frequência, cujos dados poderão ser combinados com o da estação da RBMC mais próxima, permitindo conectar o ponto de interesse ao sistema de referência da RBMC de forma bastante eficiente. Isso é resultante da não exigência de ocupação de pontos da rede fundamental (rede clássica), normalmente situados em locais de difícil acesso. O usuário interessado nesta facilidade deverá acessar os dados das estações da RBMC, o que pode ser *off-line*, usando disquetes, ou via *Internet*.

No planejamento para levantamento de estações GPS, o responsável por tal tarefa deve ter em mente as facilidades oferecidas por este sistema de posicionamento, em relação aos métodos convencionais, onde havia a necessidade de implantar pontos básicos em região apropriada para visadas angulares. Com o GPS, o ideal é que os pontos estejam situados em locais de fácil acesso, principalmente por carro e motocicleta, evitando deslocamentos desnecessários e cansativos.

Definidos os pontos básicos, ou de apoio, deve ser estabelecido um planejamento das observações, podendo ser bastante otimizado, levando em consideração eficiência, precisão, custos e confiabilidade. Embora não essencial nos dias atuais, faz parte desta etapa a confecção de gráficos mostrando os diversos DOP e a elevação dos satélites, entre outros.

Monico (2000) comenta, também, que o modo de posicionamento a ser usado, em se tratando de posicionamento para fins geodésicos, topográficos ou cadastrais, é o relativo, em razão da acuracidade exigida. Na implantação dos pontos básicos, a partir dos quais se basearão os levantamentos locais, utiliza-se essencialmente o posicionamento relativo estático. O levantamento dos pontos dentro da área de interesse, dependendo da acurácia exigida, poderá ser efetuado usando um dos métodos apresentados dentro do posicionamento relativo estático rápido. A duração da coleta de dados será definida em função da precisão desejada, comprimento da base e dos equipamentos e programas computacionais disponíveis.

Para a aplicação da tecnologia GPS no posicionamento com grau de acurácia satisfatório ao seu emprego, devem ser levados em consideração a relação entre o tempo de permanência no local a ser rastreado e a distância entre receptores base e móvel. Tempo e distância são comumente tabelados pela literatura, em função da aplicação a ser dada aos resultados. Hofmann-Wellenhof *et al.* (2001) coloca que, em observações estáticas, tempos de permanência de *30 minutos + 3 minutos / km* para receptores L1 e tempos de *20 minutos + 2 minutos / km* para rastreios com dupla frequência, deveriam ser observados. Segundo o autor, esta formulação apesar de conservadora, irá garantir a solução inteira da ambigüidade e um nível adequado de acurácia.

Seeber (2003) discute que a duração da sessão depende da aplicação que será dada a seus resultados e frisa a necessidade da solução inteira no número de ciclos entre satélite e receptor, para que se atinja um nível mais elevado de acurácia. Sendo esta solução função, entre outras, do comprimento do vetor entre receptores e tempo de coleta das observáveis. O autor indica tempos de permanência de 15 a 30 minutos para linhas de base de até 10 km.

Sokkia (2004), em seu manual do fabricante, traz a acurácia horizontal a ser atingida com o uso do receptor STRATUS em levantamentos relativos estáticos, definida pela fórmula: $\text{valor } mm + x \text{ ppm} \cdot D$. O fabricante especifica ainda que para tal, o tempo da sessão de rastreo deve ser maior do que uma hora, com taxa de aquisição de 30 segundos e um mínimo de quatro satélites sendo recebidos. Thales Navigation (2004) disponibiliza, junto à ficha técnica dos receptores PROMARK II, os níveis de qualidade a serem esperados de seus equipamentos quando utilizados em condições específicas de uso como a disponibilidade de no mínimo 5 satélites em rastreios de 20 a 60 minutos. Salienta ainda, que má geometria dos satélites e áreas propensas ao multicaminhamento degradam a qualidade da acurácia. Segundo a empresa, a acurácia plana do levantamento estático executado com o equipamento pode ser definida por $0,005 \text{ m} + 1 \text{ ppm}$.

Uma previsão da qualidade da linha base para o levantamento executado com receptor HIPER da TOPCON POSITIONING SYSTEMS, pode ser estimada pela fórmula $5 \text{ mm} + 1,5 \text{ ppm}$ para receptores de uma única onda portadora. Já para receptores de dupla frequência pode ser adotado $3 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$. Esta especificação, segundo o fabricante, é válida desde que seguindo alguns procedimentos que visam não comprometer a qualidade do levantamento: máscara de elevação de 15° , rastreios em períodos de baixo PDOP e baixa atividade ionosférica. Quanto ao tempo de rastreo para que esta qualidade seja alcançada, o fabricante coloca que, em *Cold Start*, ou seja, receptor sem órbita de satélites e tempo correto, a sessão deveria ter até 1 minuto. Para *Warm Start*, quando as coordenadas de satélite e o tempo GPS são recentes, o tempo de rastreo pode ser de até 10 segundos. Já na modalidade reaquisição, o rastreo pode ser de apenas 1 segundo.

Vários estudos têm buscado verificar o comportamento da acurácia e do desvio padrão em levantamentos geodésicos executados pela tecnologia GPS. Do resultado destas pesquisas surge o melhor tempo de ocupação do um ponto em função da distância entre receptores no modo relativo estático, para que não seja comprometida a qualidade da sessão. Courseil (2001) demonstra

que, para bases curtas de até 20 km, a precisão encontra-se na ordem de milímetros, mesmo para levantamentos de apenas cinco minutos. Enquanto a acurácia, neste pequeno tempo de rastreamento, ficou seriamente comprometida pela presença de valores centimétricos para todos os tempos, chegando a 50 cm em tempos de cinco minutos. O autor recomenda que tempos de 15 a 30 minutos, em linhas de base menores do que 20 km, deveriam ser levados em consideração visando garantir a qualidade do posicionamento por GPS.

No planejamento envolvendo coleta de dados de longa duração, deve-se sempre considerar a capacidade de armazenamento de dados, o qual é função da taxa de coleta, e o tempo de vida útil das cargas das baterias dos receptores.

O reconhecimento do terreno é também uma fase muito importante nos levantamentos utilizando o GPS. Para todos os métodos de posicionamento aplicáveis, deve-se verificar as condições locais visando identificar objetos que possam obstruir sinais ou produzir multicaminhamento. Como regra, a linha de visada acima do horizonte deve estar livre em todas as direções. Muitas vezes tais condições não são possíveis, e o ponto é essencial para o levantamento. As obstruções devem ser registradas por meio de um diagrama na folha de reconhecimento, visando auxiliar na definição do planejamento das observações. Como os efeitos da refração troposférica são críticos para ângulos de elevações muito baixos, adota-se, em geral, um ângulo de elevação de 15° , o que pode também eliminar alguns problemas relacionados com a obstrução do sinal. Em alguns tipos de levantamentos, cadastrais por exemplo, nem sempre é possível levantar todos os pontos necessários, devido a causas diversas, mas essencialmente em razão dos pontos estarem em locais não suscetíveis de serem levantados por GPS tais como: em baixo de uma árvore, ao lado de um prédio. Nestes casos, é essencial dispor de equipamentos convencionais para completar o levantamento. Todas as informações essenciais devem ser registradas na folha de reconhecimento, tais como nome da estação e código de identificação, descrição da localização, coordenadas aproximadas, acesso (carro, estrada), diagrama de obstruções.

2.11.2. Coleta de Dados

A equipe envolvida na coleta de dados deve ser capaz de efetuar todas as operações necessárias para a execução do trabalho. Elas incluem desde as mais simples, como a montagem e centragem do tripé, medida da altura da antena, até as um pouco mais elaboradas, envolvendo a operação do receptor e coleta de atributos. Um conhecimento adequado do rastreador a ser utilizado é imprescindível. Isto poderá auxiliar na identificação e correção de alguns problemas que venham a ocorrer durante as atividades de campo. Cuidado especial deve ser tomado com a leitura e registro da altura da antena, caso ela não seja mantida constante durante o levantamento. Este é um tipo de erro bastante comum nos levantamentos GPS, o qual pode não ser detectado, caso a estratégia de coleta de dados não considere todos aspectos de confiabilidade (Monico, 2000).

Alguns receptores modernos dispõem de coletor de dados que permitem o registro dos atributos das feições sendo levantadas.

Em campanhas de longa duração, é imprescindível ter à disposição, na região de trabalho, um microcomputador para armazenagem e análise inicial dos dados, de preferência um *Notebook* (computador pequeno), o qual poderia fazer parte dos equipamentos de campo.

2.11.3. Processamento dos dados

Segundo Monico (2000), a análise da qualidade dos resultados obtidos requer um técnico com conhecimento apropriado para realizar esta tarefa. Os programas computacionais que acompanham os equipamentos proporcionam

até sugestões sobre os resultados mais adequados, porém isto não é suficiente quando se pretende realizar trabalhos de boa qualidade.

O primeiro passo no processamento dos dados é a transferência dos dados do receptor para o disco rígido do computador, através de programa computacional que acompanha o equipamento. Dos arquivos contidos numa sessão, o das observáveis é o arquivo principal (DAT). Têm-se, além deste, os arquivos de efemérides (EPH), de mensagens, que contém, por exemplo, a identificação da estação e altura da antena (MES) e os de coeficientes para correção da ionosfera (ION). Um bom procedimento, para assegurar que as identificações das estações e alturas da antena estão corretas, é o preparo, durante a coleta de dados, de um boletim contendo todas as informações relevantes, as quais são verificadas ainda nesta fase.

O passo seguinte é o processamento individual das linhas base, embora alguns programas computacionais permitam, nesta etapa, a execução do processamento por ponto. Normalmente, nos programas comerciais é possível realizar as tarefas automaticamente, sem interferência do operador. O processamento pode ser realizado base-a-base, ou em rede. Se apenas dois receptores foram utilizados na coleta de dados, a única opção é a primeira.

Quando a coleta de dados é realizada base-a-base, e as várias bases formam uma rede, os resultados obtidos a partir das bases individuais permitem efetuar algum tipo de análise para avaliar a qualidade dos resultados. Se, por exemplo, as bases formam um polígono fechado, pode-se avaliar o seu erro de fechamento, que deve ser um valor pequeno (1 a 3 ppm). As componentes das bases podem ainda ser combinadas num ajustamento. As quantidades estatísticas advindas do processo de ajustamento da rede e bases individuais (desvio padrão, fator de variância *a posteriori*) são as informações mais importantes para analisar a qualidade do levantamento.

Quando a coleta de dados envolve mais que dois receptores, combinados de modo a proporcionar possibilidades de detectar e localizar possíveis erros (rede de boa confiabilidade), trata-se de uma rede de alta

precisão. Diversos tipos de análises são possíveis de serem aplicadas, entre elas as citadas anteriormente, além da detecção e localização de erros.

As análises citadas acima envolvem aspectos relacionados à precisão da rede.

Monico (2000) relata que, quando deseja-se avaliar a exatidão (acurácia), deve-se fazer parte das estações a serem levantadas, uma ou mais estações com coordenadas conhecidas num nível de qualidade igual ou superior ao que se pretende determinar. As discrepâncias entre os valores conhecidos e estimados indicarão o nível de exatidão atingido. Trata-se portanto de um aspecto a ser considerado durante o planejamento das observações.

Um outro aspecto envolvido na análise da qualidade dos resultados pode ser realizado a partir do processamento de base-a-base. Esta análise envolve as soluções de tripla diferença (TRP), dupla diferença com ambigüidade (float) real (FLT) e dupla diferença com ambigüidade inteiras injuncionadas como inteiras (FIX). Em condições normais é de se esperar que a solução TRP proporcione resultados de pior qualidade em termos de desvios padrão das coordenadas, os quais melhoram na solução FLT. Se a solução FIX for corretamente obtida, a precisão das coordenadas será ainda melhor que a da solução FLT. Para obter a solução FIX deve-se definir e testar um conjunto de vetores de ambigüidades definidos como prováveis candidatos. A solução mais provável é aquela que proporciona fator de variância *a posteriori*.

UFSM (2004) comenta que existem alguns indicadores comuns, que são utilizados pela maioria dos programas comerciais, dentre os quais pode-se destacar o RMS (*root means square*), o RDOP (*Relative Dilution of Precision*), a taxa RATIO ou FIXED QUALITY, dependendo do programa utilizado.

O RMS é um indicador da divergência entre os valores observados e os calculados no processo de ajustamento e, quanto menor o seu valor, melhor a qualidade alcançada no processamento.

O RDOP tem o mesmo significado do seu semelhante DOP, mas é calculado de maneira diferente em virtude do modelo matemático utilizado ser o das duplas diferenças.

O processo matemático de fixação das ambigüidades é um processo de otimização baseado em tentativas (algoritmo de procura ou de busca), onde várias combinações de ambigüidades inteiras são testadas para ver qual apresenta a melhor solução, ou seja, a que apresenta menor resíduo no ajustamento. A divisão da variância da segunda melhor solução pela primeira melhor solução é o valor do indicador RATIO, que, sendo elevado significa que há uma grande probabilidade de que os valores fixados para as ambigüidades sejam os verdadeiros, isto é, valores grandes de RATIO permitem discernir com mais facilidade a melhor solução, por isso é também conhecido como “DISCERNIBILITY RATIO”.

Existem outros indicadores que fazem parte da análise dos dados como o desvio padrão das componentes da linha base, a matriz de variância-covariância, o número de épocas que foram usadas e as rejeitadas.

Uma vez que o processamento é aceito, deve-se efetuar a transformação de coordenadas, de WGS-84 (o datum do GPS) para SAD-69 (o datum adotado no Brasil).

Como normalmente os dados coletados visam servir projetos de engenharia ou mapeamento, as coordenadas estimadas devem ser transformadas para coordenadas planas, em geral UTM (*Universal Transversa of Mercator*). Deve-se dispor de um programa para executar esta transformação.

A seguir deve-se exportar os dados num formato compatível com o SIG (Sistema de Informações Geográficas) que será utilizado, sendo o DXF o formato de arquivo mais utilizado.

Como etapa final de uma campanha deve-se produzir um relatório contendo todas as informações pertinentes.

2.12. Aplicação do GPS

O GPS está revolucionando todas as atividades de posicionamento. Em conjunto com os sistemas de comunicação têm-se criado novos conceitos de posicionamento, os chamados sistemas ativos. É difícil enumerar atividades que necessitam de posicionamento que não estejam envolvidas, ou em fase de desenvolvimento, com o GPS. A seguir estão listadas algumas atividades onde o GPS têm sido usado extensivamente (Monico, 2000):

- navegação global e regional;
- levantamentos topográficos para fins de mapeamento, apoio fotogramétrico, detecção de deformações;
- nivelamento expedito e de precisão;
- estabelecimento de redes geodésicas locais, regionais, continentais e globais (ativas e passivas).

2.13. Redes de apoio ao posicionamento

2.13.1. Estação de Controle Ativo

Segundo UFSM (2004), essas estações funcionam, de modo permanente e contínuo, como um ponto de coordenadas conhecidas para serem utilizadas no processamento diferencial, possibilitando aos usuários que possuam apenas um receptor, desenvolver suas atividades de posicionamento

dentro da região atendida, adquirindo posteriormente o arquivo coletado pela ECA na estação mais próxima do seu local de interesse.

O IBGE, dentro de suas atribuições de gerenciamento do SGB, está implantando uma rede de estações GPS, com coordenadas de precisão geodésica, melhor do que 1:100.000, é Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).

As estações, com raio de ação de 500 Km, equipadas com receptores de dupla frequência, funcionam de forma permanente, coletando e armazenando dados dos satélites.

São fornecidos dois tipos de arquivos: um com as informações da estação solicitada tais como coordenadas geodésicas e altura da antena cujo nome é XXXXSAD.PDF (20Kb), sendo XXXX o nome da estação; e outro arquivo que contém as informações para cada dia, identificados como XXXXDDD1.ZIP (1100 Kb) e DDD significa o dia Juliano do ano e 1 significando arquivo único (24 horas), sendo armazenados com uma taxa de gravação de 15 segundos.

Cada arquivo compactado contém 2 arquivos no formato RINEX: o arquivo de observações (XXXXDDDD.AAO) e o arquivo de navegação (XXXXDDDD.AAN). Tais arquivos podem ser obtidos pela *Internet*.

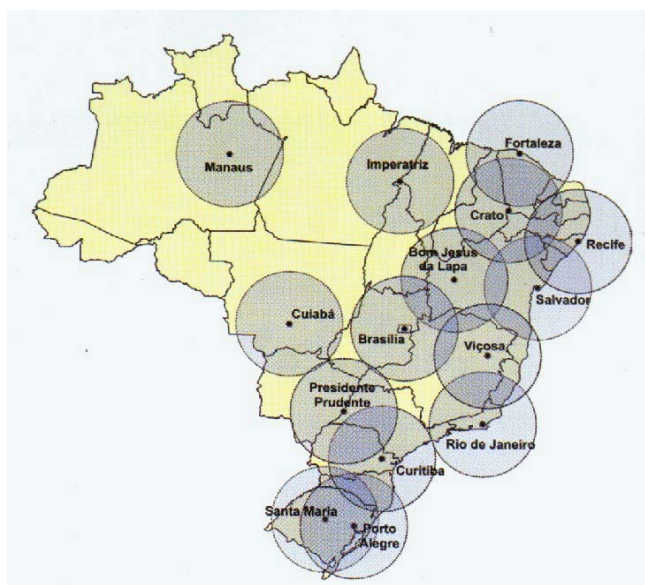


FIGURA 04 - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (Fonte: IBGE).

Já a RIBaC é formada de um conjunto de 44 estações de referência do GPS, constituídas de receptores de frequência simples, implantadas em diversos pontos do território brasileiro e tem o propósito de auxiliar a execução dos serviços de agrimensura desenvolvidos, direta ou indiretamente, pelo INCRA, quando utilizando a tecnologia do GPS.

Por ser constituída por receptores L1, o INCRA recomenda, serem utilizadas a uma distância máxima de 20 km, para a correção de observações da fase da portadora, e de 300 km para a correção do código CA.

Os arquivos de dados também podem ser obtidos pela *Internet*. Os dados das estações de referência da RIBaC são armazenados com uma taxa de gravação de 5 segundos, com a seguinte nomenclatura dos arquivos:

BAMMDDHH.ZIP, onde B significa que trata-se de um arquivo da estação base da rede ativa; A é o último algarismo do ano corrente; MM é o mês corrente; DD é o dia corrente e HH é a hora Greenwich em que o arquivo foi gerado.

Neste arquivo, encontram-se dois outros arquivos: o arquivo de dados de observação, com o nome BAMMDDHH.AAo e o arquivo dos dados de navegação com o nome de BAMMDDHH.AAn, nos quais AA significa o ano corrente, lembrando que cada arquivo corresponde a 1 (uma) hora de observação e portanto deverão existir 24 arquivos por dia de coleta de dados dos satélites.

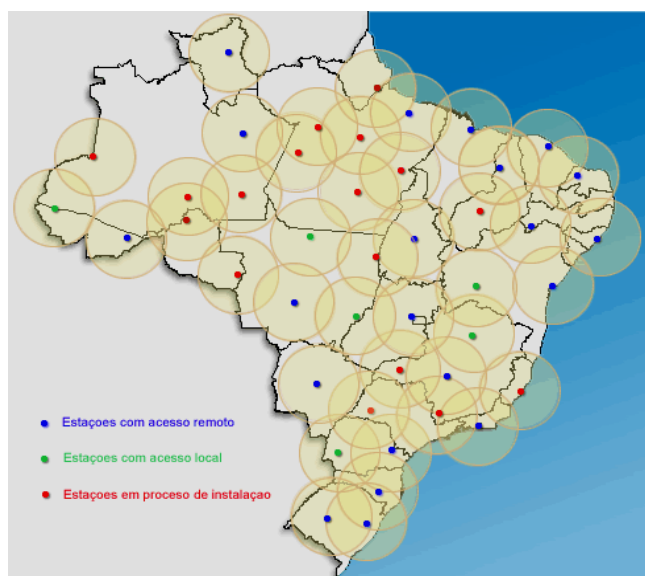


FIGURA 05 - RIBaC – Rede Inkra de Bases Comunitárias do GPS (Fonte: INCRA).

2.13.2. Rede Faróis da Marinha

A rede é composta de 13 estações que estão distribuídas ao longo do litoral brasileiro, e transmitem sinais continuamente com correções para DGPS.

São dados utilizados para o posicionamento diferencial em tempo real com a utilização do código CA.

2.13.3. Redes de estações ativas particulares

São pontos distribuídos pelo território nacional, cujo gerenciamento é realizado por firmas particulares para darem suporte aos seus clientes, servindo como estações de referência ou estações base rastreando os satélites GPS durante 24 horas e fornecendo os arquivos através do acesso pela *Internet* aos clientes autorizados.

Um exemplo é rede da Santiago & Cintra, composta de 25 estações de referência, com raio de ação de 300 Km, que poderão servir de suporte aos levantamentos para atender a lei de Registro de Imóveis desde que o IBGE homologue seus pontos para fazerem parte das Estações de Controle Ativo do Sistema Geodésico Brasileiro.

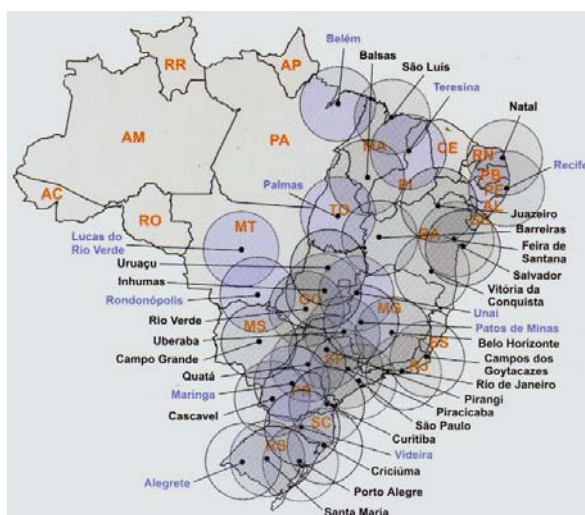


FIGURA 06 - Rede Santiago & Cintra (Fonte: Santiago & Cintra).

2.13.4. Estação de Controle Passivo

Segundo UFSM (2004), as estações de controle passivo funcionam de maneira similar às redes clássicas ou convencionais (marco ou RN), como um ponto de coordenadas conhecidas para serem utilizadas no processamento diferencial ou relativo, mas existe a necessidade de ocupar a estação de referência com um receptor para coletar e armazenar os sinais dos satélites.

Nesta categoria estão as Redes Estaduais GPS, implantadas no estado do Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

A rede estadual de pontos GPS no Rio Grande do Sul deverá ser composta de 45 (quarenta e cinco) estações, recobrirá todo o território estadual e servirá de referência tanto para a topografia clássica como para os receptores de sinais GPS.

As estações distam entre si aproximadamente 70 km. Farão parte desta rede as estações de Porto Alegre e de Santa Maria, que, segundo a 1ª Divisão de Levantamento do Exército, integram a Rede Brasileira de Monitoramento contínuo do sistema GPS - RBMC. A escolha dos locais para a implantação das estações levou em conta aspectos sócio-econômicos e a configuração geométrica da rede.

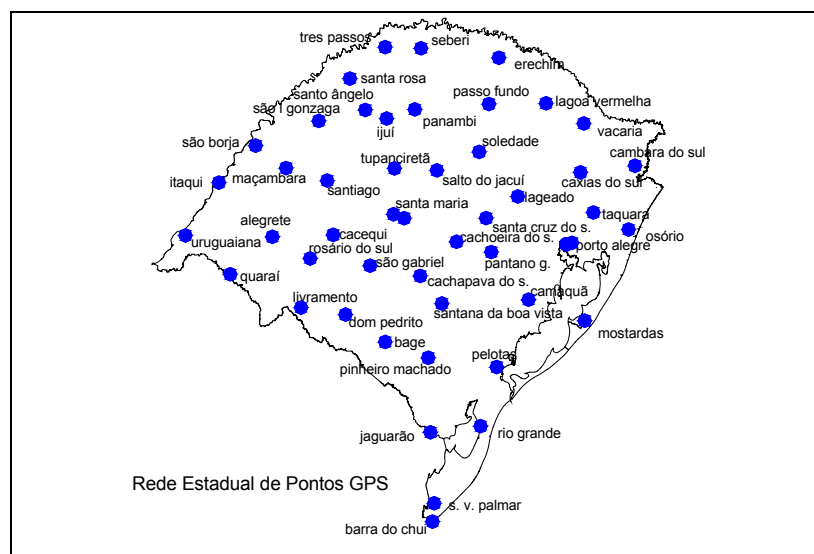


FIGURA 07 - Rede estadual de pontos de GPS (Fonte: SAA)

2.14. Modelos matemáticos

Modelagem é uma técnica ou ferramenta que pode auxiliar a tomada de decisão, uma vez que permite a simulação de vários cenários e estimar a repercussão dos diferentes cursos de ação sobre os sistemas de produção.

Além de auxiliar o processo de tomada de decisão, a utilização de modelos permite descrever e compreender alguns dos processos que ocorrem dentro do sistema e as interações entre seus componentes

O desenvolvimento e a utilização de modelos matemáticos pode disponibilizar, aos tomadores de decisão, uma ferramenta para estimar o comportamento do sistema face a determinadas situações criadas pelo usuário do modelo. Deste modo, pode-se realizar várias simulações e escolher, por exemplo, a alternativa que minimiza o risco ou a variância da resposta do sistema à decisão tomada (Medeiros, 2003).

2.15. Precisão, acurácia e exatidão

Cauduro & Dorfman *apud* Costa (2004), definem conceitos importantes na análise de dados: a sensibilidade de um instrumento é dada pelo menor valor que se pode detectar com precisão. Para os autores, exatidão é o grau de variação na tomada das medidas em torno do valor real ou padrão, quanto menor a variação maior a exatidão, já precisão, é o grau de repetibilidade do valor das medidas. Quanto menor a dispersão, maior a precisão.

Monico (2000) define acurácia como o grau de concordância entre o valor estimado para uma grandeza e o considerado “verdadeiro”, a precisão por sua vez, é a dispersão de um conjunto de observações ou resultados experimentais. Boa precisão está associada a desvio padrão pequeno. Entretanto, pode existir erro sistemático grande, caso em que a acurácia será ruim.

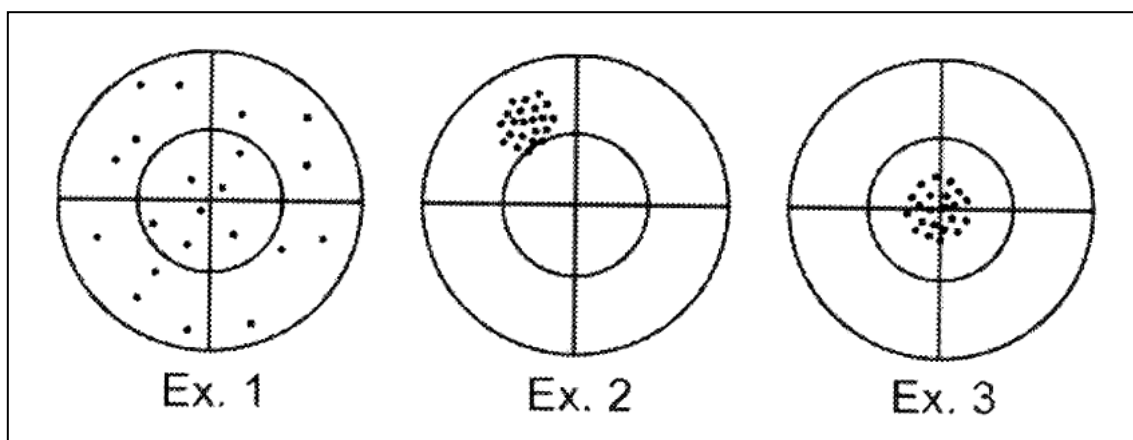


FIGURA 08 - Definição visual dos conceitos de precisão e exatidão. (Fonte: Guandalini)

A Figura 8 demonstra os conceitos de acurácia e precisão fazendo analogia a um atirador buscando o centro do alvo. No primeiro exemplo o atirador não atinge o alvo: ele é pouco acurado. Quanto à precisão, esta existe, no entanto, é bastante ruim e os tiros são dispersos por toda área do alvo. No segundo exemplo, o atirador acerta todos seus tiros em uma pequena região do alvo, existe um desvio na mira (erro sistemático). Agora ele tem mais precisão do que no primeiro caso, contudo, devido ao desvio da mira, continua

sem acurácia. Em um terceiro exemplo, após correção do desvio da mira, o atirador tem a mesma precisão que anteriormente, no entanto, alcança um nível de acurácia adequado (Guandalini, 2004).

3- MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

O trabalho foi realizado em um imóvel distante 8 km da sede do município de Tupanciretã (RS), numa área localizada entre as coordenadas geográficas $28^{\circ}59'37,7''$ e $29^{\circ}00'11,9''$ de latitude Sul, $53^{\circ}49'16,8''$ e $53^{\circ}48'52,1''$ de longitude Oeste, WGS 84, e altitude ortométrica média de 410 m,. A área em estudo consiste em um polígono fechado com 5 vértices, cujas coordenadas foram calculadas analiticamente a partir das medidas dos ângulos horizontais internos e das distâncias entre os pontos, obtidas por caminhamento perimétrico.

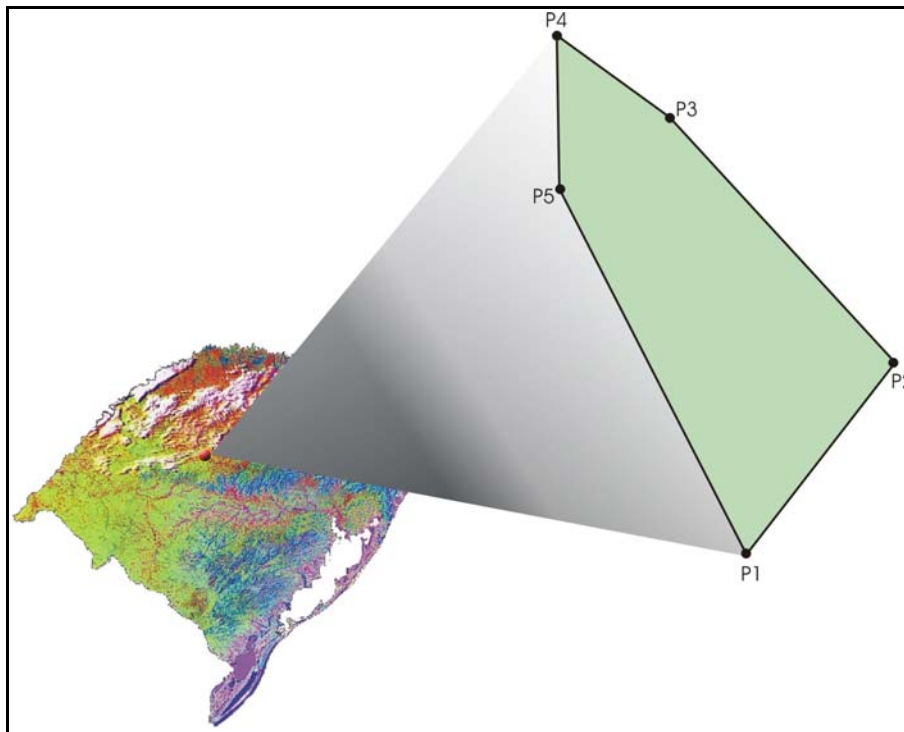


FIGURA 09. Croqui de localização da área e a distribuição espacial dos pontos selecionados

3.2. Materiais e métodos

Para o levantamento topográfico do polígono teste, pelo método de caminhamento perimétrico, utilizou-se uma Estação Total de alta precisão (ABNT, 1994a), marca LEYCA com precisão angular de 1,5" e linear de 2 mm \pm 2 ppm, com prisma tipo padrão.



FIGURA 10. Estação total e prismas utilizados no levantamento do polígono teste

No levantamento dos dados, no ponto de coordenadas conhecidas (base), foi utilizado um receptor GPS da marca ASHTECH, modelo Super C/A Reliance, com 12 canais paralelos e independentes para recepção dos sinais dos satélites, cuja precisão alcançada no pós-processamento dos dados é de 5 mm \pm 1 ppm (ASHTECH, INC, 1997). Nos pontos da poligonal utilizou-se um receptor GPS da marca TRIMBLE, modelo Pro XR, cuja precisão alcançada no pós-processamento dos dados é de 5 mm \pm 1 ppm

A antena da estação base permaneceu fixa no ponto de coordenadas conhecidas (Tupanciretã) e a outra foi instalada em cada ponto da poligonal (P1, P2, P3, P4 e P5). O processamento dos dados foi feito no programa computacional *Spectrum Survey* versão 1.20 Build 12. Os dados coletados pelo receptor base foram convertidos para o formato RINEX (*Receiver Independent Exchange*), que é um formato universal utilizado para entrada de dados na maioria dos programas computacionais de processamento de dados obtidos com receptores GPS.



FIGURA 11. Croqui de localização da área em relação às bases utilizadas



FIGURA 12. Receptor GPS instalado na estação base. Marco nº 92.024



FIGURA 13. Receptor GPS instalado no ponto do polígono teste.

No presente estudo, foi utilizado o posicionamento relativo estático, no qual as coordenadas de um ponto desconhecido foram determinadas em relação a um ponto de coordenadas conhecidas (base). A antena do receptor base foi instalada no Ponto B, a estação esta localizada junto a estação meteorológica, no centro de formação da FEPAGRO, na cidade de Tupanciretã, RS., com coordenadas geográficas 29°03'24,35492"S e 53°50'52,46653"W (WGS 84) e altitude ortométrica de 432,79 m. Esse ponto fica a uma distância média de 7 km dos pontos da poligonal (P1, P2, P3, P4 e P5) e livre de obstáculos, que possam interferir na recepção dos sinais dos satélites.

Ambos os receptores foram configurados para coletar os dados com uma taxa de gravação de 5 s e ângulo de corte de 10° no receptor base e 15° no receptor móvel, permanecendo ligados durante toda a sessão de observação. A antena desse receptor foi instalada sobre os pontos topográficos da poligonal a uma altura de 2,000 m, controlada por um dispositivo de regulagem de altura e devidamente fixada a um suporte bípode dotado de um nível de bolha, para permitir a verticalização da antena sobre o ponto topográfico escolhido. Foram realizadas três campanhas, no dia 24.11.04, com sessões de observações com o tempo de ocupação de 15 minutos em cada ponto e uma taxa de gravação dos dados de 5 s. Esse tempo foi escolhido em função da menor taxa de gravação disponível em redes ativas na região.

As demais bases utilizadas para compor as diferentes distâncias são bases localizadas em Santa Maria – RS, Porto Alegre – RS, Campos Novos – SC, Criciúma – SC e Cascavel - PR.

TABELA 02. Localização das bases da rede ativa (WGS 84)

| | Santa Maria | Porto Alegre | Campos Novos | Criciúma | Cascavel |
|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| latitude S | 29°41'39,3206" | 30°07'27,92145" | 27°24'08.64904" | 28°42'46.1259" | 24°57'40.405" |
| longitude W | 53°48'50,70756" | 51°12'38,13276" | 51°13'33.45464' | 49°18'15.4921" | 53°27'17.94506" |
| altitude elip. | 138,4057m | 57,8751m | 938,705m | 42,8677m | 789,9017m |
| distância da área | 77 km | 280 km | 310 km | 440 km | 448 km |

3.2.1. Processamento dos dados

Os arquivos de 15 minutos de observação, que correspondem a 180 épocas, foram fracionados em arquivos de 10, 5, 4, 3, 2, e 1 minuto, correspondendo a 120, 60, 48, 36, 24 e 12 épocas, respectivamente. Os arquivos das bases, contendo, cada um, uma hora de dados no formato SSF, foram convertidos para o formato RINEX e agrupados após, utilizando-se as rotinas computacionais UNI-NAV V1.0 e UNI-OBS V1, em um único arquivo para cada campanha (repetição) realizada. Os dados coletados com os receptores, em cada tempo de ocupação, foram processados no programa *Spectrum Survey* versão 1.20 Build 12, utilizando-se a equação da dupla-diferença de fase para determinar as coordenadas geocêntricas dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5 da poligonal.

As informações solicitadas para o processamento dos dados foram: as coordenadas geográficas da estação base (latitude ϕ_0 , longitude λ_0 e altura elipsoidal h_0), altura da antena da estação base e da antena nos pontos da poligonal, taxa de Ratio 3, RMS 3 (99%), modo de seleção de satélite referência dinâmico, máscara de elevação 15° e correção troposférica padrão modelo HOPFIELD, sem correção ionosférica.

Os resultados foram emitidos em formulários de relatórios chamados *reports*. Esta rotina estava disponível na versão 1.20 do programa *Spectrum Survey*, no entanto, versões mais novas deste programa apenas emitem relatórios padrão. Os ditos *reports* têm a capacidade de serem programáveis no sentido de emitirem somente os tipos de dados solicitados, porém de todos os pontos processados, em um único documento, ao passo que os relatórios emitem inúmeras informações, de apenas um único ponto por formulário.

O programa *Spectrum Survey* fornece as coordenadas geocêntricas (coordenadas determinadas em relação ao centro de massa da Terra tridimensionais, referidas ao WGS 84). Estas coordenadas dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5, para cada tempo de ocupação (15, 10, 5, 4, 3, 2 e 1 minuto), para

cada diferente base utilizada (7, 77, 280, 310, 440 e 448 km) e, finalizando, para cada uma das 3 repetições, foram transformadas para um sistema de coordenadas com referência local, para somente então serem comparadas com as coordenadas do polígono teste. A partir de tais resultados, utilizou-se de Planilha Eletrônica *Excel 2002* para organização e processamento dos cálculos.

O ajuste de equações foi realizado no programa *Table Curve 2D Windows v2.03* da *Jandel Scientific*.

Já a análise estatística foi realizada na rotina computacional *SASM-Agri v3.2.4 -Sistema para Análise e Separação de Médias em Experimentos Agrícolas*.

3.2.2. Organização dos resultados encontrados

Havendo 4 pontos em 3 repetições para 7 tempos com 6 bases e considerando valores de acurácia e desvio padrão, foram gerados mais de 1000 valores a serem organizados. Desta forma, optou-se pelo uso do quadro guia da Figura 14. Neste, os quatro pontos em três repetições resultaram em doze repetições para uma mesma base em um determinado tempo. Dos valores de X e Y resultou o valor denominado TOTAL calculado pela equação 10.

$$TOTAL = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (10)$$

A partir dos doze valores de TOTAL foi calculada a média simples para a acurácia (δ) e desvio padrão (σ).

| | | Base | | | | | | | |
|-------|-------|------------|----------|-------|---------------|------------|----------|-------|--|
| | | Acurácia | | | Desvio Padrão | | | | |
| Tempo | | X | Y | TOTAL | | X | Y | TOTAL | |
| | rep1 | | | | | rep1 | | | |
| | rep2 | | | | | rep2 | | | |
| | rep3 | | | | | rep3 | | | |
| | rep4 | | | | | rep4 | | | |
| | rep5 | | | | | rep5 | | | |
| | rep6 | | | | | rep6 | | | |
| | rep7 | | | | | rep7 | | | |
| | rep8 | | | | | rep8 | | | |
| | rep9 | | | | | rep9 | | | |
| | rep10 | | | | | rep10 | | | |
| | rep11 | | | | | rep11 | | | |
| | rep12 | | | | | rep12 | | | |
| | | Média = | δ | | | Média = | σ | | |

FIGURA 14. Quadro guia para a organização dos resultados de processamento

O quadro guia desta forma, foi utilizado inúmeras vezes para a organização dos dados, segundo a matriz da Figura 15.

| | | | | | |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 15x7 | 15x77 | 15x280 | 15x310 | 15x440 | 15x448 |
| 10x7 | 10x77 | 10x280 | 10x310 | 10x440 | 10x448 |
| 5x7 | 5x77 | 5x280 | 5x310 | 5x440 | 5x448 |
| 4x7 | 4x77 | 4x280 | 4x310 | 4x440 | 4x448 |
| 3x7 | 3x77 | 3x280 | 3x310 | 3x440 | 3x448 |
| 2x7 | 2x77 | 2x280 | 2x310 | 2x440 | 2x448 |
| 1x7 | 1x77 | 1x280 | 1x310 | 1x440 | 1x448 |

FIGURA 15. Membros da matriz sete por seis representam a utilização do quadro guia nos diversos tempos e distâncias.

3.2.3. Modelagem

Utilizando-se de equações bilineares, a seguir, objetivou-se equacionar os valores de acurácia e desvio padrão das coordenadas X e Y de um ponto, em função da distância da base e do tempo de rastreo do receptor móvel sobre o mesmo do tipo:

Para a acurácia:

$$\Delta e_x = a_1 + b_1 \cdot \text{base} + c_1 \cdot \text{tempo} \quad (11)$$

$$\Delta e_y = a_2 + b_2 \cdot \text{base} + c_2 \cdot \text{tempo} \quad (12)$$

Para o desvio padrão:

$$\Delta \rho_x = a_3 + b_3 \cdot \text{base} + c_3 \cdot \text{tempo} \quad (13)$$

$$\Delta \rho_y = a_4 + b_4 \cdot \text{base} + c_4 \cdot \text{tempo} \quad (14)$$

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise da acurácia em relação à precisão

A utilização de um receptor armazenando apenas uma única onda portadora, no caso a L1, implica na sua utilização em distâncias não maiores do que 20 quilômetros, como preconiza a literatura, visando garantir a acurácia que se demanda do levantamento. Isto devido ao fato de que, os modelos para a solução da ambigüidade com um número inteiro de ciclos para a onda portadora, assumem que as condições atmosféricas atuando nos locais onde estão posicionados os aparelhos sejam idênticas, desta forma, causando igual influência na determinação do número de ciclos em ambos os aparelhos. No entanto, o afastamento demasiado entre os receptores de uma única frequência trabalhando no modo relativo de posicionamento, implicará na adição de erros à solução final.

Na Figura 16 podemos observar o comportamento das curvas de precisão e acurácia de um levantamento realizado em distância menor do que 20 quilômetros. Em nenhum momento as curvas se tocam, ou seja, não se pode atribuir ao desvio padrão do levantamento a propriedade de estimar a diferença entre o valor encontrado e a coordenada verdadeira do ponto, isto é, a discrepância do levantamento. Pode ser verificado que, em tempos de ocupação maiores, como 15 minutos, a dispersão dos pontos em torno da média é menor. Da mesma forma, a discrepância entre o valor encontrado e o verdadeiro também é menor. No entanto, assim como o desvio padrão, a acurácia aumenta para levantamentos com tempos de ocupação menores, devido ao menor número de amostras. A discrepância entre valor verdadeiro e o estimado aumenta, esta por sua vez, se dá em proporções maiores do que havia ocorrido para o desvio padrão. Assim, além da precisão não ser um parâmetro adequado para a determinação da acurácia do levantamento, aquela sofre menor influência de tempos menores do que esta última.

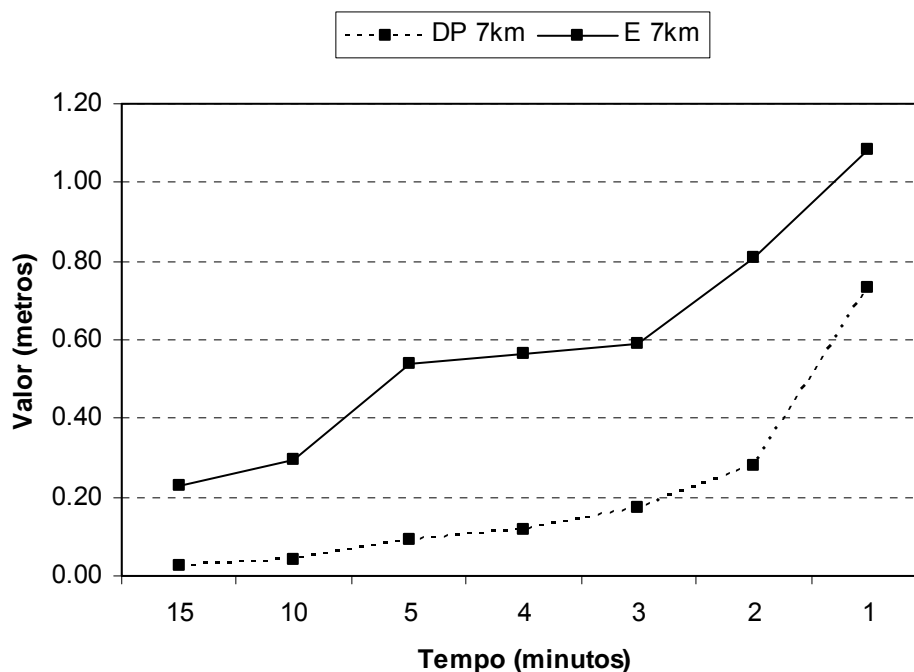


FIGURA 16. Desvio Padrão e Erro Posicional para base a 7 km.

Na Figura 17 estão plotadas as curvas para rastreios efetuados em distâncias maiores do que 20 quilômetros. Pode ser observado que o desvio padrão tem um comportamento de crescimento constante, na medida em que tempos menores de rastreio são efetuados. Entretanto, valores de erro posicional têm um comportamento não linear de crescimento, apresentando valores maiores e menores, independente do tempo de rastreio utilizado. Inicialmente, verifica-se que as diferenças entre os valores verdadeiros e os estimados, são bem mais elevados do que para distâncias menores. Na Figura 16 o erro máximo encontrado foi de pouco mais do que 1 metro. Em distâncias maiores (Figura 17) os erros de posicionamento, utilizando-se receptores de uma única frequência no modo relativo, chegaram a mais de 4 metros. Salienta-se que apesar da não verificação do comportamento crescente da curva de acurácia à medida que rastreios em tempos menores eram

executados, o valor de discrepância entre valores reais e estimados nunca foi menor do que 0,5 metros, sendo ainda, muito superior aos valores encontrados para o desvio padrão.

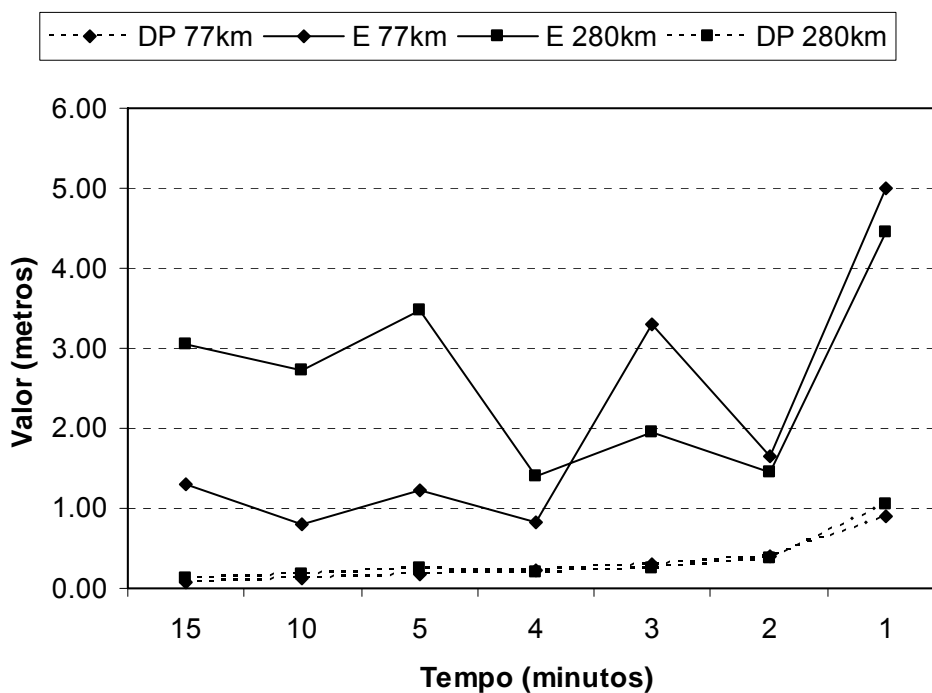


FIGURA 17: Desvio Padrão e Erro Posicional para bases a 77 km e 280 km

A Figura 18 demonstra os resultados encontrados para as maiores distâncias testadas. Nestas, em tempos muito pequenos de rastreios, como 1 e 2 minutos apenas, verifica-se valores elevados de desvio padrão, chegando a mais de 1 metros de dispersão em torno da média. O comportamento do erro posicional em relação às coordenadas verdadeiras, tem um comportamento semelhante ao da Figura 17. Variando de 1 a até mais de 3 metros para estas distâncias, muito acima das recomendadas para o uso de receptores de uma única frequência. Por tudo isso, valores de desvio padrão em todas as figuras têm uma magnitude bem menor do que os valores de acurácia encontrados,

principalmente em distâncias maiores e tempos de rastreio menores, além do que, verifica-se um crescimento maior nos valores de acurácia se comparados aos desvios padrões quando rastreios mais rápidos são executados.

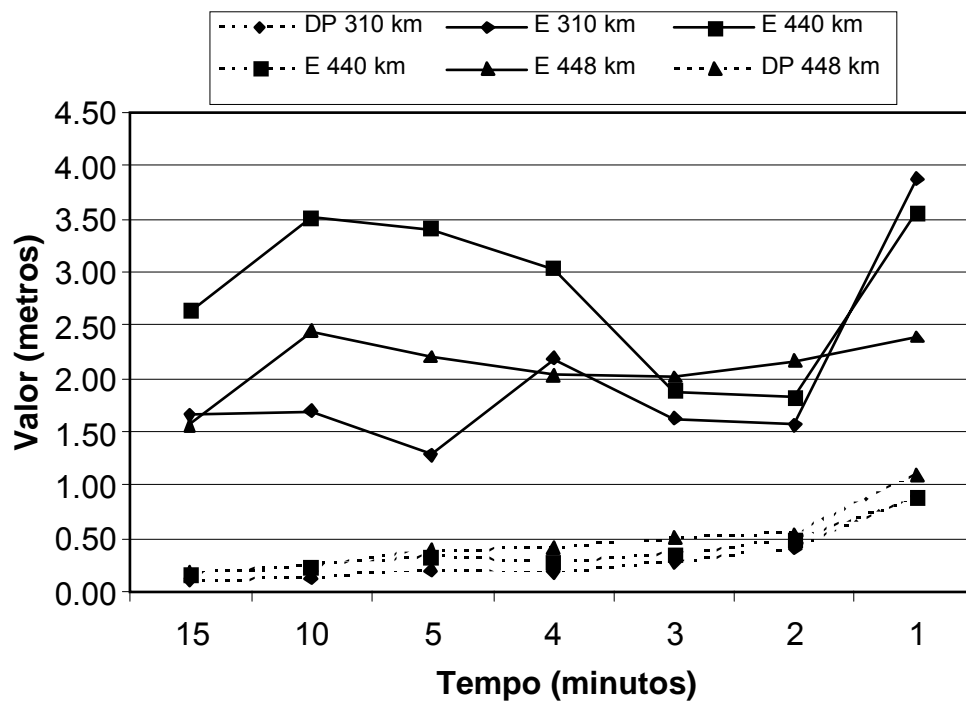


FIGURA 18. Desvio Padrão e Erro Posicional para bases a 310 km, 440 km e 448 km.

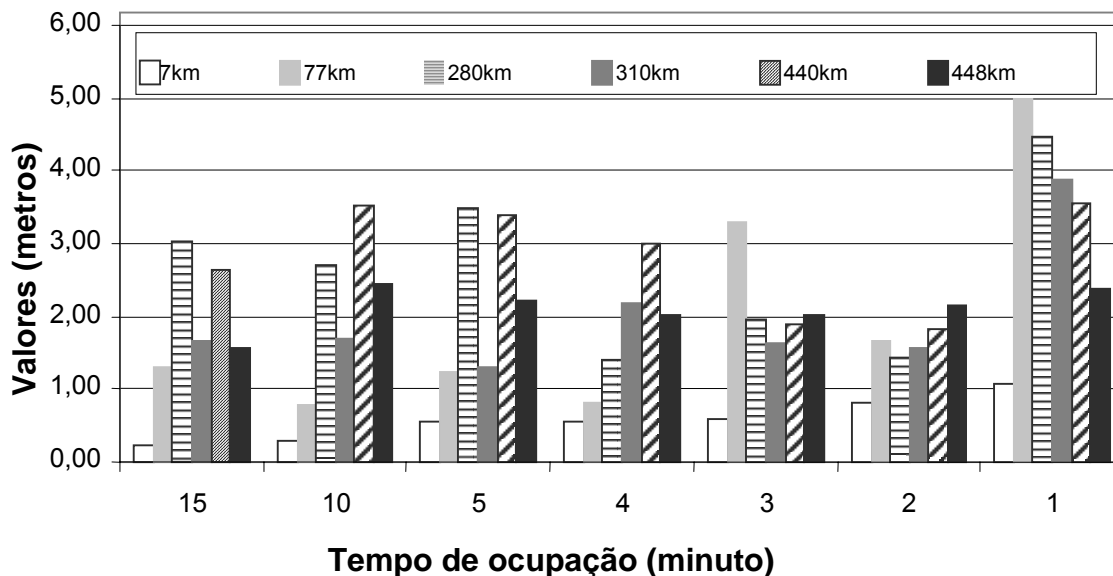


FIGURA 19. Acurácia em função da distância da base em cada tempo de rastreio.

Através da Figura 19, percebe-se que a acurácia apresentou um comportamento totalmente aleatório, exceto para a base localizada em Tupanciretã, distante 7 km.

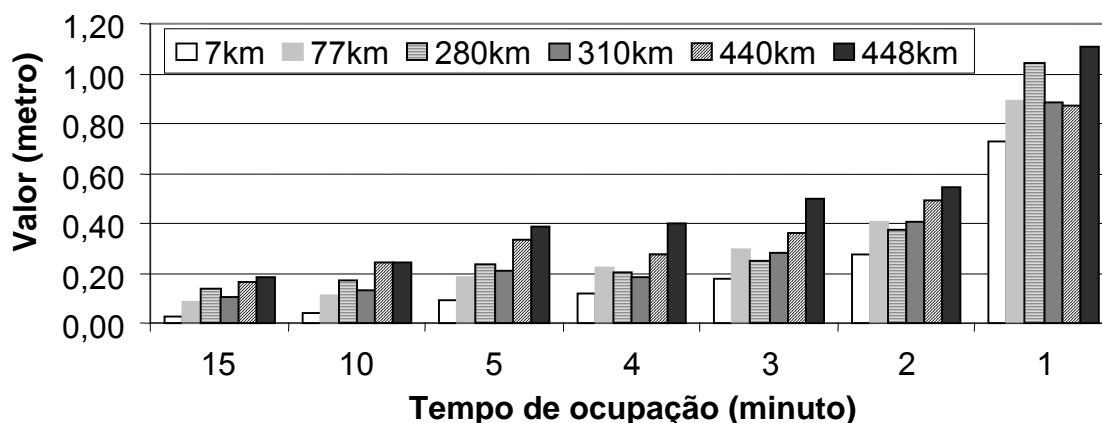


FIGURA 20. Desvios Padrão em função da distância da base em cada tempo de rastreio.

A precisão, ao contrário da acurácia, apresentou um comportamento , proporcional ao tempo de captação e inversamente proporcional à distancia da base.

4.2. Análise estatística

A seguir são apresentadas tabelas contendo a análise estatística dos diferentes tempos de ocupação em relação às diferentes bases.

TABELA 03. Teste de médias para valores de desvio padrão e acurácia nas seis bases para o tempo de 15 minutos da sessão.

| tratamento* | valor | estatística |
|--------------------|--------------|--------------------|
| CRIA | 4.310 | a* |
| POAA | 3.133 | b |
| CASA | 2.889 | bc |
| CAMA | 1.836 | cd |
| SMA | 1.233 | de |
| TUPA | 0.237 | e |
| DISCR | 0.228 | e |
| CASB | 0.183 | e |
| CRIB | 0.153 | e |
| POAB | 0.152 | e |
| CAMB | 0.117 | e |
| SMB | 0.086 | e |
| TUPB | 0.029 | e |
| DESVP | 0.001 | e |

*Valores seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Duncan.

*CRI: Criciúma; POA: Porto Alegre; CAS: Cascavel; CAM: Campos Novos; SM: Santa Maria; TUP: Tupanciretã.

As letras A e B precedidas pela identificação da base representa a acurácia e desvio padrão, respectivamente, de valores FIXED, (base 7 km, tempo 15', Ratio 2,5).

Os valores de desvio padrão das diferentes bases não diferem estatisticamente dos valores de acurácia somente das bases próximas (Tupanciretã e Santa Maria). Não diferem também, da precisão e acurácia da solução do tipo FIXED. Verifica-se também a divergência estatística entre os valores da acurácia das bases Criciúma (440 km) e Cascavel (448).

TABELA 04. Teste de médias para valores de desvio padrão e acurácia nas seis bases para o tempo de 5 minutos da sessão.

| tratamento* | valor | estatística |
|--------------------|--------------|--------------------|
| CRIA | 3.531 | a* |
| POAA | 3.190 | ab |
| CASA | 2.676 | b |
| SMA | 1.567 | c |
| CAMA | 1.539 | c |
| TUPA | 0.758 | d |
| CASB | 0.428 | d |
| CRIB | 0.320 | d |
| POAB | 0.269 | d |
| CAMB | 0.236 | d |
| DISCR | 0.228 | d |
| SMB | 0.204 | d |
| TUPB | 0.104 | d |
| DESVP | 0.001 | d |

*Valores seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Duncan.

*CRI: Criciúma; POA: Porto Alegre; CAS: Cascavel; CAM: Campos Novos; SM: Santa Maria; TUP: Tupanciretã.

As letras A e B precedidas pela identificação da base representa a acurácia e desvio padrão, respectivamente, de valores FIXED, (base 7 km, tempo 15', Ratio 2,5).

A discrepância para base Santa Maria (77 km) difere significativamente, da discrepância de Tupanciretã (7 Km), mas não difere significativamente de Campos Novos (310 Km).

TABELA 05. Teste de médias para valores de desvio padrão e acurácia nas seis bases para o tempo de 1 minuto da sessão.

| tratamento* | valor | estatística |
|--------------------|--------------|--------------------|
| SMA | 4.951 | a* |
| POAA | 4.408 | a |
| CRIA | 4.091 | a |
| CAMA | 4.000 | a |
| CASA | 3.475 | a |
| TUPA | 1.460 | b |
| CASB | 1.097 | b |
| SMB | 1.001 | b |
| POAB | 0.998 | b |
| CAMB | 0.994 | b |
| CRIB | 0.985 | b |
| TUPB | 0.765 | b |
| DISCR | 0.228 | b |
| DESVP | 0.001 | b |

*Valores seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Duncan.

*CRI: Criciúma; POA: Porto Alegre; CAS: Cascavel; CAM: Campos Novos; SM: Santa Maria; TUP: Tupanciretã

As letras A e B precedidas pela identificação da base representa a acurácia e desvio padrão, respectivamente, de valores FIXED, (base 7 km, tempo 15', Ratio 2,5).

Na Tabela 05, somente o valor da acurácia da base mais próximo (7 km) não diverge significativamente dos valores da solução FIXED e dos desvios padrões das demais bases.

4.3. Equacionamento da acurácia do levantamento

Em um primeiro momento foram geradas equações para o erro posicional médio de todas as 12 repetições. As equações foram desenvolvidas individualmente para cada variável, após então, integradas para simular a variação de distância e tempo.

Desenvolvendo o erro posicional em função do tempo resultaram seis equações do tipo:

$$y = a + b / tempo^2 \quad (15)$$

Desta forma obtiveram-se valores para os coeficientes a e b em função do tempo em uma mesma distância, conforme a Tabela 06.

TABELA 06. Valores de a e b em função do tempo em cada distância.

| distância (km) | a | b | r² |
|-----------------------|----------|----------|----------------------|
| 7 | 0,438 | 0,707 | 0,75 |
| 77 | 1,209 | 3,799 | 0,75 |
| 280 | 2,255 | 1,817 | 0,33 |
| 310 | 1,516 | 2,237 | 0,84 |
| 440 | 2,721 | 0,518 | 0,06 |
| 448 | 2,040 | 0,356 | 0,19 |

Verificou-se haverem casos em que o coeficiente de determinação r^2 da equação ajustada para o valor de a e b , era muito baixo. Podendo esta distância, responsável pelo baixo valor de r^2 , ser retirada em uma nova

tentativa de ajustamento. No caso da Tabela 06, as distâncias de 280 e 440 km resultaram em r^2 de 0,33 e 0,06, respectivamente.

Dando continuidade, cada parâmetro da equação 15 teve ajustado uma nova equação em função agora do tempo da sessão de rastreio. Foram utilizados os valores da Tabela 06, resultando as equações 16 e 17.

$$a = 0,683 + 0,00384.d \quad (r^2=0,75) \quad (16)$$

$$b = 2,431 - 0,0032.d \quad (r^2=0,20) \quad (17)$$

Substituindo-se os termos da equação 16 e 17 na equação 15, obteve-se:

$$\delta = (0,683 + 0,00384.d) + (2,431 - 0,0032.d) / t \quad (18)$$

onde

δ = acurácia (metros)

d = distância (km)

t = tempo (minutos)

A partir dos experimentos realizados a campo, os valores encontrados para a acurácia em função do tempo de ocupação do vértice e da distância do receptor móvel ao receptor base, puderam ser comparados ao modelo representado pela equação 18. Deste cruzamento resultou o gráfico da Figura 21.

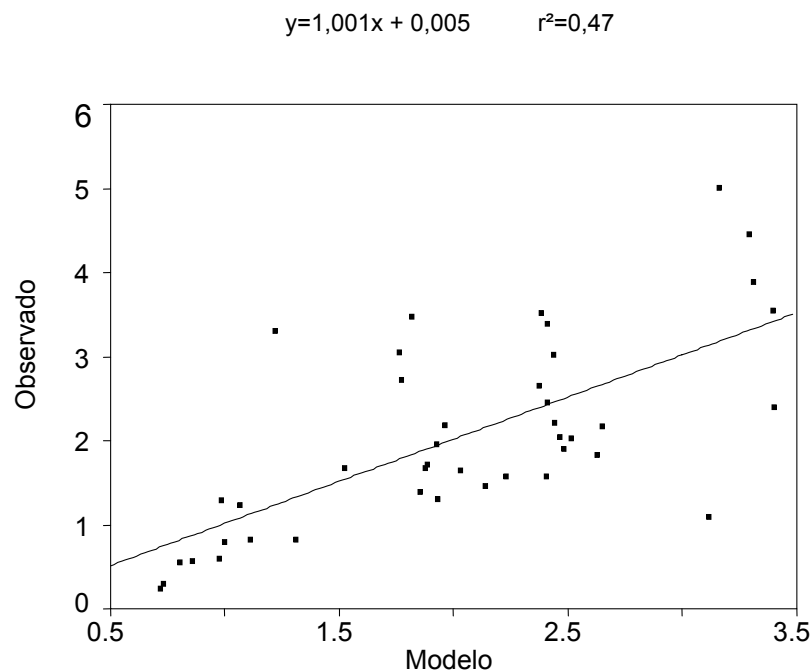


FIGURA 21. Regressão entre os valores desenvolvidos pelo modelo e os observados a campo.

Pelo gráfico da figura 21 verifica-se a baixa eficiência ($r^2 = 0,47$) do modelo proposto em determinar valores de acurácia. Esta baixa eficiência deve-se grandemente à incapacidade das equações utilizadas na segunda fase, quando os valores de a e b foram desenvolvidos a partir da distância, o que se verifica nos baixos coeficientes de determinação daquelas equações, $r^2 = 0,75$ e $r^2 = 0,20$, respectivamente.

Por sua vez, o equacionamento dos parâmetros de a e b em função do tempo pela equação 15, torna-se complexo através de equações mais simples como as propostas, uma vez que, como havia sido demonstrado nos gráficos das Figuras 16, 17 e 18, o erro do posicionamento via GPS não segue um incremento linear à medida que se aumenta a distância do receptor móvel em relação ao base, e também diminui o tempo de ocupação do vértice. Isto ocorre, provavelmente, devido ao fato de que todos os dados gerados foram resultados de solução do tipo FLOAT da ambigüidade. Esta solução não tem uma comprovação estatística por parte dos programas de pósprocessamento. O que não ocorre com a solução do tipo FIXED, que por sua vez, tem sua taxa RATIO determinada em função da razão entre o RMS da segunda melhor

solução e a primeira melhor solução, para o número inteiro de ciclos da onda portadora entre o satélite e o receptor. Aliado ao fato de que os modelos utilizados para o posicionamento via receptores de uma única frequência assumem que os receptores não estejam afastados mais de alguns quilômetros (menos de 20 km). Distância para a qual a influência da atmosfera no sinal, que chega a ambos os receptores de um mesmo satélite, é tida como idêntica, podendo ser ignorada na solução via dupla diferença de fase.

Não foi realizado o equacionamento do erro nas coordenadas planas X e Y separadamente, como era a proposta inicial do trabalho, em virtude dos baixos coeficientes de determinação encontrados para o erro plano total do ponto.

4.4. Equacionamento da precisão do levantamento

Da mesma forma como desenvolvido para a acurácia, um modelo para a precisão foi desenvolvido partindo-se dos valores médios de desvio padrão dos doze valores do dado TOTAL nas repetições. Sendo TOTAL determinado para o desvio padrão da mesma maneira como equacionado por equação 10.

Desenvolvendo o desvio padrão em função do tempo, obtiveram-se seis equações do tipo:

$$y = a \cdot x^b \quad (19)$$

Valores de a e b para a equação 19 tabelados em função da distância encontram-se na Tabela 07. A qual forneceu dados para nova regressão, desta vez de valores de a e b em função do afastamento entre receptores base e móvel.

TABELA 07. Valores de a e b em função do tempo em cada distância.

| distância (km) | a | b | r² |
|-----------------------|----------|----------|----------------------|
| 7 | 0,728 | -1,329 | 0,99 |
| 77 | 0,880 | 0,994 | 0,99 |
| 280 | 1,004 | -1,119 | 0,94 |
| 310 | 0,871 | -0,993 | 0,98 |
| 440 | 0,838 | -0,665 | 0,95 |
| 448 | 1,065 | -0,699 | 0,96 |

Estes valores de a e b em função de cada tempo originaram equações para valores dos mesmos em função da distância, equações 20 e 21.

$$a = 0,792 + 0,0004 \cdot d \quad r^2 = 0,37 \quad (20)$$

$$b = 1,404 + 0,0014 \cdot d \quad r^2 = 0,89 \quad (21)$$

Substituindo-se os termos das equações 20 e 21 na equação 19, obteve-se:

$$\sigma = (0,792 + 0,0004 \cdot d) \cdot t^{(1,404 + 0,0014 \cdot d)} \quad (22)$$

onde

σ = desvio padrão (metros)

d = distância (km)

t = tempo (minutos)

Tomando-se os valores gerados pela equação 22 em regressão com os valores resultantes do processamento dos dados de campo, foi gerado o gráfico da Figura 22.

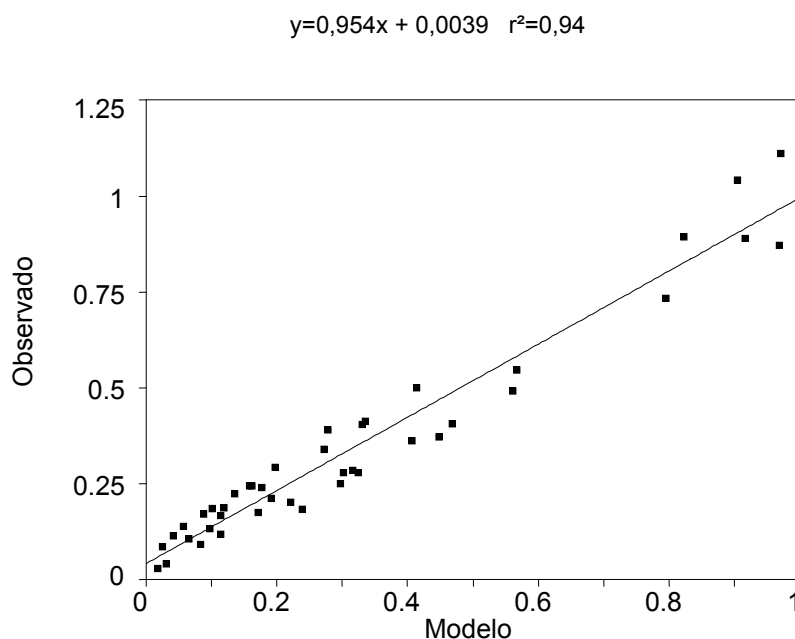


FIGURA 22. Regressão entre os desvios padrão gerados a partir das informações de rastreo e daquelas advindos do modelo.

Diferentemente do ocorrido para a acurácia, a modelagem da precisão mostrou-se possível, como indica o bom coeficiente de determinação para a regressão ($r^2 = 0,94$), na Figura 22, e a boa distribuição dos pontos em torno da reta. Isto reafirma o que demonstram os gráficos das Figuras 16, 17 e 18, onde o desvio padrão segue uma tendência de acréscimo, à medida que tempos menores são executados com bases mais distantes. Diferente da acurácia, o desvio padrão é tomado em relação a valores durante o processamento. Desta forma, valores maiores de desvio padrão são encontrados em tempos curtos e bases distantes quando a distribuição em torno da média tem seu espectro aumentado. Do contrário, tempos maiores e bases próximas geram valores menos dispersos, conseqüentemente desvios padrão menores e maior precisão.

No entanto, como discute a literatura, existe uma falsa idéia de qualidade de levantamento. Uma vez que estes valores de precisão são gerados em relação a si mesmos, não tendo sido relacionados com quaisquer

coordenadas tidas como verdadeiras, como é o caso da acurácia. Não sendo correto, desta forma, atribuir-lhes a função de determinadores únicos da qualidade de equipamentos e levantamentos realizados.

5- CONCLUSÕES

Segundo os dados obtidos é possível concluir que:

O modelo proposto para o desvio padrão, em diversas situações de rastreamento com a tecnologia GPS, mostrou-se plenamente viável.

O modelo proposto para a acurácia, não foi capaz de estimá-la satisfatoriamente. O erro de posicionamento não segue um incremento linear à medida que se aumenta a distância do receptor móvel em relação ao base ao diminuir o tempo de ocupação do vértice. Isto ocorre, provavelmente, devido ao fato de que todos os dados gerados foram resultados de solução do tipo FLOAT da ambigüidade.

Como recomendações, ficam:

A necessidade de novos experimentos, utilizando-se de distâncias menores para receptores L_1 e outras distâncias com receptores L_1/L_2 , com diferentes tempos de ocupação.

Alerta-se a sociedade, quanto a fatores importantes no emprego desta nova tecnologia, envolvendo principalmente, questões de qualidade de levantamentos geodésicos, tais como precisão e exatidão.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13 133, **Execução de Levantamento Topográfico** – Procedimento, Rio de Janeiro, 1994.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14 166, **Rede de Referência Cadastral Municipal** – Procedimento, Rio de Janeiro, 1994.

BRUM, Clóvis F. B. **Rede Municipal de Pontos GPS para Referência Cadastral do Município de Santiago – RS. 2001**, 152 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CORSEUIL, Cláudia W. **Reconstituição de uma Poligonal Topográfica pelo Sistema de Posicionamento Global. 2001**, 69 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

COSTA, Selso V. **Desenvolvimento e Calibração de um mini-tanque evaporimétrico. 2004**, 80 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

GARNÉS, S. J. dos A , KRUGER, C. P., & SAMPAIO, R. J. B. Determinação das ambigüidades GPS mediante análise do número de épocas e geometria dos satélites. In: II SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE AGRIMENSURA E CARTOGRAFIA.. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu. 2000.

GEMAEL, C. **Introdução à geodésia física**. Ed. Da UFPR. Curitiba – PR. 1999. 302p.

GOMES, Edaldo; PESSOA, Luciano M. da C. SILVA JUNIOR, Lucídio B. da. **Medindo Imóveis Rurais com GPS**. Brasília, L. K. Editora. 2001.

GUANDALINI, M. **Utilização e classificação de receptores GPS**. InfoGPS _ Revista de Geoprocessamento. Ed. Espaço GEO, Curitiba – PR. 2004

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER H. & COLLINS J. **Global position system: theory and practice**. New York: Springer-Verlag Wien 1994. 355p

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER H. & COLLINS J. **Global position system: theory and practice**. New York: Springer-Verlag Wien 1997. 389p

HOPFIELD, H. **Tropospheric effect on electromagnetically measured range: prediction from surface weather data**. Radio Science, 6, n° 3, p. 357-367, 1971.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos em território brasileiro**. RPR n.º 22, de 21-07-83. Boletim de serviço n.º 1602 (Suplemento). Rio de Janeiro, 1 de agosto de 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos em território brasileiro (preliminares)**. RPR n.º 05. Rio de Janeiro, ed autor, 1993.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais**. A Mira – Revista de Agrimensura e Cartografia. Ed. Luana, Criciúma – SC, n 118, p. 13-62, 2003.

KLOUBUCHAR, J. A **Ionospheric effects on GPS**. GPS World, p. 48-51, 1991.

LEICK, A. GLONASS. **GPS Satellite Surveying**. New York: John Wiley & Sons, 1995. 560p

MEDEIROS, Henrique R. **Avaliação de modelos matemáticos desenvolvidos para auxiliar a tomada de decisão em sistemas de produção de ruminantes em pastagens**. 2003. 98p, Tese (Doutorado em Agronomia) – ESALQ, Piracicaba - SP.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações.** Ed. UNESP, São Paulo – SP. 2000. 287 p.

Reliance Processor. Manual de Operação. Trimbase. BR. 1997.

_____. Manual de Operação do Software. Trimbase. BR 1997.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM). **Apostila do curso de georreferenciamento de imóveis rurais, Lei 10.267.** Eng° Agr° Adroaldo Dias Robaina, Santa Maria, 2004, 69p.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods and applications.** Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1993, 192p.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy.** 2.ed. Berlin: Walter de Gruyter.,2003. 589p.

SEGANTINE, P. C. L. **GPS – Sistema de posicionamento global.** Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo. 1998. 181p.

SIDERIS, M. G., SHE, B. B. **A new, high-resolution geoid for Canada and part of the U.S. by the 1D-FFT method.** Bulletin Géodésique, v.69, n.2, p.92-108, 1995.

SOKKIA. **Spectrum survey.** GPS post processing software reference manual. Melrose Drive, Lenexa, Kansas, U.S.A 1999.

SOKKIA. **Stratus Operations Manual.** USA. 2004. 138p.

THALES NAVIGATION. **Ficha técnica do receptor PROMARK II.** Disponível em <http://products.thalesnavigation.com/assets/datasheets/ProMark2_EN_I.pdf> Acesso em: 04 mar. 2005.

TOPCON POSITIONING SYSTEMS. **HiPer Dados Técnicos.** USA, 2001. não-paginado

8- ANEXOS

ANEXO A

**Planilha topográfica
levantamento perimétrico com estação total**

| V | Ang. Hor. | Azim. | Dist. | Px | Py | Pxc | Pyc | Cx | Cy |
|---|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 65°52'10" | 40°50'51" | 485,860 | 317,768 | 367,521 | 317,774 | 367,538 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 98°07'41" | 318°58'32" | 680,688 | -446,785 | 513,525 | -446,776 | 513,548 | 317,774 | 367,538 |
| 3 | 167°19'11" | 306°17'43" | 286,408 | -230,838 | 169,538 | -230,834 | 169,548 | -129,002 | 881,086 |
| 4 | 52°12'27" | 178°30'10" | 296,502 | 7,747 | -296,401 | 7,751 | -296,391 | -359,836 | 1050,634 |
| 5 | 156°28'31" | 154°58'41" | 832,395 | 352,074 | -754,271 | 352,085 | -754,243 | -352,085 | 754,243 |
| | 540°00'00" | | 2581,853 | -0,034 | -0,088 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

e_x 0,034 m

e_y 0,094 m

e_{total} 0,094 m

$e_{relativo}$ 36,540mm/km ou 36,54 ppm

área total 303710,3110 m²

Anexo B

Monografia do marco da rede passiva em Tupanciretã - RS

Banco de Dados Geodésicos - Estações Planimétricas

| | | |
|---|---|--|
| MUNICIPIO - TUPANCIRETÃ | | |
| Código: 92024 Nome: 92024 UF: RS | | |
| DADOS PLANIMETRICOS | | |
| Latitude : 29° 3' 22,5791"S Longitude: 53° 50' 50,5660"W Sigma Lat: 0,0038m Sigma Lon: 0,0101m | UTM(N): 6782421,230 m UTM(E): 222754,054 m Fator Escala: Conv.M.Plana: | MC: -51 Medicao: 4/2002 Ajuste: 9/2002 Datum : SAD-69 |
| DADOS ALTIMETRICOS | | |
| Altitude ortométrica: 432,79m Classe : Sat,lite | Datum: Imbituba | Medicao: Ajuste: |
| MEMORIAL DESCRITIVO | | |
| LOCALIZACAO | | |
| <i>A ESTACAO ESTA LOCALIZADA JUNTO A ESTACAO METEOROLOGICA, NO CENTRO DE FORMACAO DA EMATER, NA CIDADE DE TUPANCIRETA/RS.</i> | | |
| DESCRICAO | | |
| <i>O MARCO PRINCIPAL E UM PILAR DE CONCRETO COM FORMATO CILINDRICO, MEDINDO 1,20 M DE ALTURA E COM 0,30 M DE DIAMETRO. ESTA ASSENTADO EM UMA BASE QUADRANGULAR DE CONCRETO MEDINDO 1,00 M X 1,00 M E AFLORANDO 0,30 M DO SOLO. POSSUI NO TOPO UM DISPOSITIVO DE CENTRAGEM FORCADA PADRAO UFPR. NO PILAR FOI CRAVADA E DIRECIONADA PARA O NORTE UMA CHAPA DE METAL PADRAO IBGE.</i> | | |
| ITINERARIO | | |
| <i>PARTE-SE COM ZERO KM DA PORTEIRA DE ACESSO AO CENTRO DE FORMACAO DA EMATER, NA ALTURA DO NUMERO 700 DA AVENIDA SERAFIM BRAVO(ACESSO A CIDADE DE TUPANCIRETA) E SEGUE-SE EM DIRECAO A SEDE. COM 0,2 KM PASSA-SE PELA SEDE. COM 0,5 KM DOBRA-SE A DIREITA E PASSA-SE POR UMA PORTEIRA. COM 0,8 KM CHEGA-SE JUNTO A DUAS PORTEIRAS. PARA O MARCO PRINCIPAL ENTRA-SE PELA DA ESQUERDA E SEGUE-SE COM RUMO DE 15 GRAUS PARA O MEIO DO PASTO. COM 1,4 KM CHEGA-SE JUNTO A ESTACAO. PARA SE CHEGAR AO MARCO DE AZIMUTE, ENTRA-SE PELA PORTEIRA DA DIREITA E SEGUE-SE MARGEANDO A CERCA DA DIREITA. A APROXIMADAMENTE 0,40 KM ENCONTRA-SE O MARCO JUNTO A UMA PEQUENA ARVORE. DO MARCO PRINCIPAL VISA-SE O MARCO DE AZIMUTE COM 165 GRAUS.</i> | | |
| OBSERVACAO. <i>CONHECEDOR DA ESTACAO: ARQUITETA MARA BEATRIZ MARDINI PAZ-PREFEITURA-RUA EXPEDICIONARIO JOAO MOREIRA ALBERTO, NUMERO 181. TELEFONE(55) 272-1811, CELULAR: 9966-7935. O CHEFE DO CENTRO DE FORMACAO DA EMATER. A ESTACAO NAO TEM CONDICOES DE ENERGIA ELETRICA.</i> | | |

ANEXO C

Exemplo de *report* - Sokkia Spectrum Survey

Data 06/10/04 Hora 00:29:44 Projeto: 15_2.SSP

| PONTO BASE | | ECEF | |
|------------|---------------------|------|--------------|
| wgs84 lat | S 29° 03' 24.35492" | X | 3291915.324 |
| wgs84 lon | W 53° 50' 52.46653" | Y | -4505731.956 |
| ant. Ht. | 0.1800 | Z | -3079617.750 |
| elip. Ht. | 443.2240 | | |

| ARQ | ÉPOCAS | BL | LATITUDE | LONGITUDE | ALTITUDE | X | Y | Z |
|-------------|--------|--------------|---------------------|----------------------|-----------|--------------|---------------|---------------|
| Dados float | | | | | | | | |
| pt5_r3, | 133 | ,448086.230, | S 28° 59' 47.32613" | ,W 53° 49' 16.92278" | ,428.2659 | ,3295908.327 | ,-4506813.241 | ,-3073767.523 |
| pt5_r2, | 133 | ,448087.738, | S 28° 59' 47.39164" | ,W 53° 49' 16.72519" | ,426.5722 | ,3295911.193 | ,-4506808.098 | ,-3073768.466 |
| pt4_r3, | 167 | ,447791.360, | S 28° 59' 37.70418" | ,W 53° 49' 17.09636" | ,422.7597 | ,3295986.463 | ,-4506928.043 | ,-3073505.729 |
| pt4_r2, | 150 | ,447792.966, | S 28° 59' 37.75421" | ,W 53° 49' 17.15670" | ,420.9238 | ,3295983.756 | ,-4506927.109 | ,-3073506.187 |
| pt4_r1, | 98 | ,447792.728, | S 28° 59' 37.73774" | ,W 53° 49' 17.29623" | ,419.6302 | ,3295980.185 | ,-4506928.623 | ,-3073505.116 |
| pt3_r3, | 115 | ,447942.523, | S 28° 59' 43.24691" | ,W 53° 49' 08.70964" | ,419.4122 | ,3296119.149 | ,-4506724.891 | ,-3073653.376 |

ANEXO D

Exemplo de relatório - Sokkia Spectrum Survey

Sokkia Spectrum Survey Version 1.20A Build 12 04/02/04 8:02:11PM
 Project: WGS30_1.SSP Fixed Point ID 4248
 File D:\TOPCOM\PIBICW~1\LEV_1\42482561.030
 RDOP 2.0 Obs Period 13/09/03 10:38:05-17:34:35 GPS
 WGS84 Lat. S 29° 43' 04.91012" Dry Bulb Temperature 15.00°C
 WGS84 Lon. W 53° 43' 00.30518" Wet Bulb Temperature 9.74°C
 Ellip. Ht. 90.3740 Atmospheric Pressure 1013.25hPa
 Ant. Ht. 18.0805 Relative Humidity 50.00 %

Solution Point ID 1701
 File D:\TOPCOM\PIBICW~1\LEV_1\17012561.030
 RDOP 1.6 Obs Period 13/09/03 10:53:35-11:26:05 GPS
 WGS84 Lat. S 29° 43' 10.85232" Dry Bulb Temperature 15.00°C
 WGS84 Lon. W 53° 43' 01.67859" Wet Bulb Temperature 9.74°C
 Ellip. Ht. 116.4367 Atmospheric Pressure 1013.25hPa
 Ant. Ht. 1.8975 Relative Humidity 50.00 %

Calculation Conditions
 Solution Type L1 Only
 Epoch Period Begin - End Tropospheric Correction Standard
 Elev. Mask 10 Ionospheric Correction Off
 Reference Sat. 0 Ambiguity Resolution Search
 Rejection 3.00 x rms Code Aiding None
 Transformation: WGS84

Floating Ambiguity Double Difference Solution Observations 1324 Observations Used 1312

| WGS84 | Fixed Point | Solution Point | |
|------------|---------------------|---------------------|--|
| Latitude | S 29° 43' 04.91012" | S 29° 43' 10.86195" | |
| Longitude | W 53° 43' 00.30518" | W 53° 43' 01.66863" | |
| Ellip. Ht. | 90.3740 | 96.4227 | |

| ECEF Cartesian | Fixed Point | Solution Point | Delta |
|----------------|---------------|----------------|-----------|
| X | 3280753.428m | 3280673.232m | -80.196m |
| Y | -4468942.459m | -4468895.143m | 47.316m |
| Z | -3143311.416m | -3143473.575m | -162.159m |

Chord Length 186.992m Azimuth 191° 18' 27.5306"

| Local System | Fixed Point | Solution Point | Delta |
|--------------|---------------------|---------------------|--------|
| Lat. | S 29° 43' 04.91012" | S 29° 43' 10.86195" | |
| Lon. | W 53° 43' 00.30518" | W 53° 43' 01.66863" | |
| Ellip. Ht. | 90.3740 | 96.4227 | 6.0487 |

Variance/Covariance [m²] Standard Deviation

| | X | Y | Z | WGS84 | Local Datum |
|---|-----------|-----------|------------|-----------|--------------|
| X | 4.877e-06 | 3.683e-06 | -7.711e-07 | X 0.0022m | Lat. 0.0016m |
| Y | | 3.509e-05 | 6.890e-06 | Y 0.0059m | Lon. 0.0044m |
| Z | | | 3.487e-06 | Z 0.0019m | Ht. 0.0047m |

Floating Ambiguity Standard Deviation

| | | | |
|------|---------------------|--------------|------------------|
| 4-9 | 8697983.9692 cycle | 0.0300 cycle | rms 0.002 meters |
| 5-9 | 18189719.9581 cycle | 0.0065 cycle | |
| 17-9 | 15380651.8811 cycle | 0.0155 cycle | |
| 24-9 | 17793092.9776 cycle | 0.0181 cycle | |
| 26-9 | 42400865.9120 cycle | 0.0143 cycle | |

Fixed Ambiguity Double Difference Solution Observations 1324
 Observations Used 1304 Search Method Ratio 8.66

Fixed Ambiguity

| | | |
|------|---------------------|------------------|
| 4-9 | 8697984.0000 cycle | rms 0.002 meters |
| 5-9 | 18189720.0000 cycle | |
| 17-9 | 15380652.0000 cycle | |
| 24-9 | 17793093.0000 cycle | |
| 26-9 | 42400866.0000 cycle | |

| WGS84 | Fixed Point | Solution Point | |
|------------|---------------------|---------------------|--|
| Latitude | S 29° 43' 04.91012" | S 29° 43' 10.86197" | |
| Longitude | W 53° 43' 00.30518" | W 53° 43' 01.66848" | |
| Ellip. Ht. | 90.3740 | 96.4452 | |

| ECEF Cartesian | Fixed Point | Solution Point | Delta |
|----------------|---------------|----------------|-----------|
| X | 3280753.428m | 3280673.232m | -80.196m |
| Y | -4468942.459m | -4468895.143m | 47.316m |
| Z | -3143311.416m | -3143473.575m | -162.159m |

| | | | |
|--------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| X | 3280753.428m | 3280673.246m | -80.182m |
| Y | -4468942.459m | -4468895.156m | 47.303m |
| Z | -3143311.416m | -3143473.586m | -162.171m |
| Chord Length | 186.992m | Azimuth | 191° 18' 23.1300" |
| Local System | Fixed Point | Solution Point | Delta |
| Lat. | S 29° 43' 04.91012" | S 29° 43' 10.86197" | |
| Lon. | W 53° 43' 00.30518" | W 53° 43' 01.66848" | |
| Ellip. Ht. | 90.3740 | 96.4452 | 6.0712 |

| Variance/Covariance [m ²] | | | Standard Deviation | | |
|---------------------------------------|-----------|------------|--------------------|-------------|--------------|
| X | Y | Z | WGS84 | Local Datum | |
| X | 6.871e-08 | -4.933e-08 | -2.408e-08 | X 0.0003m | Lat. 0.0002m |
| Y | | 8.777e-08 | 2.638e-08 | Y 0.0003m | Lon. 0.0002m |
| Z | | | 3.749e-08 | Z 0.0002m | Ht. 0.0004m |