

**MODELAGEM DA ELEVAÇÃO DO TERRENO COM
ALTIMETRIA CONVENCIONAL E GPS**

Gilberto Jesus Colinski Girardon



UFSM

Dissertação de Mestrado

**MODELAGEM DA ELEVAÇÃO DO TERRENO COM
ALTIMETRIA CONVENCIONAL E GPS**

Gilberto Jesus Colinski Girardon

Programa de Pós-Graduação em Geomática

Santa Maria, RS, Brasil

2006

**MODELAGEM DA ELEVAÇÃO DO TERRENO COM
ALTIMETRIA CONVENCIONAL E GPS**

Por

Gilberto Jesus Colinski Girardon

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geomática.**

Programa de Pós-Graduação em Geomática

Santa Maria, RS, Brasil

2006

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

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

**MODELAGEM DA ELEVAÇÃO DO TERRENO COM ALTIMETRIA
CONVENCIONAL E GPS**

elaborada por

Gilberto Jesus Colinski Girardon

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira

Prof. Dr. José Américo de Mello Filho

Santa Maria, 7 de julho de 2006.

Dedico,

Aos meus Pais, que com retidão e caráter, sempre me incentivaram a continuar buscando conhecimento, fazendo-me acreditar que era possível, quando parecia impossível.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade para a realização do Programa de Pós-Graduação em Geomática.

À Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Santiago, através de sua Direção na liberação para obtenção do mestrado.

Ao Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina, que mais que um orientador foi um amigo, viabilizando as oportunidades para a realização deste trabalho.

Ao Professor MSc. Gomercindo Gaspar Martins Marques pelo inestimável apoio quando da implantação da poligonal teste.

Ao Professor MSc. Clovis Fernando Ben Brum pela confiança e pelo incentivo.

A professora Dra. Márcia Xavier Peiter pela indicação e confiança na realização deste trabalho.

Aos membros da Comissão Examinadora pela valiosa contribuição neste trabalho.

Ao acadêmico Alexandre ten Caten do curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, pela valiosa colaboração nos levantamentos de campo com GPS.

Ao acadêmico Fabiano Becker Brum do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Santiago, sempre presente aos levantamentos de campo.

Aos funcionários Minussi, Pacheco, Parizoli e Marqueti pelo companheirismo e atenção dispensados.

A Cledi, pelo companheirismo e pela oportunidade de convivermos em mais uma etapa de minha vida.

Enfim, a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Obrigado!

“Não, nada acabou!
Está, apenas começando...
As gerações vão se sucedendo:
De cada uma
Vão ficando suas marcas
Vão ficando seus feitos
Seus efeitos
Vão ficando suas palavras...
Vem, então, o advento
De uma nova era
E tudo recomeça
Com força
É hora de acreditar
De saber buscar...”

Fernando Veloso Filho

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Sistema global de navegação por satélite – GNSS	16
2.2 Sistema de Posicionamento Global	17
2.3 Princípio do sistema de posicionamento global	18
2.3.1 Formas de medição das distâncias no sistema GPS	18
2.3.2 Influência dos erros nas medições com GPS.....	19
2.4 Métodos de posicionamento com GPS	21
2.5 Métodos de posicionamento com GPS	21
2.5.1 Posicionamento absoluto pelo código C/A	21
2.5.2 Posicionamento relativo pelo código C/A	24
2.6 Métodos de nivelamento	26
2.7 Métodos de levantamento topográfico altimétrico	27
2.8 Consideração sobre os erros cometidos em levantamentos	28
2.9 Determinações altimétricas através do sistema de posicionamento global	28
2.10 Modelo de ondulação geoidal para território brasileiro	32
2.11 Trabalhos de altimetria utilizando a tecnologia GPS	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 Local do experimento	35
3.2 Levantamento topográfico da área experimental	35
3.2.1 Levantamento planimétrico	35
3.2.2 Levantamento altimétrico convencional.....	37
3.2.3 Levantamento altimétrico com GPS	38
3.3 Modelos de Ondulação Geoidal	38
3.3.1 Modelo utilizado pela Garmin	38
3.3.2 MAPGEO 2004.....	40
3.3.3 Modelos locais empíricos	41
3.4 Geração de altitudes a partir dos modelos de ondulação	43
3.4.1 Altitudes ortométricas via modelo do Garmin 12 XL (modelo 1).	43
3.4.2 Altitudes ortométricas via MAPGEO 2004 (modelo 2).	43
3.4.3 Altitudes ortométricas via modelo local empírico (modelo3).	43

3.5 Análise dos resultados	44
3.5.1 Altitudes ortométricas via modelo do Garmin 12 XL.....	44
3.5.2 Altitudes ortométricas via MAPGEO 2004.....	44
3.5.3 Altitudes ortométricas via modelo local empírico.....	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 Comportamento dos métodos quanto a altitude ortométrica	45
4.2 Análise estatística	49
5 CONCLUSÃO	51
6 REFERÊNCIAS	52
7 ANEXO	55
8 APÊNDICES	57

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Representação da determinação da distância entre satélite e receptor pelo código C/A	22
FIGURA 2 – Correção diferencial.....	24
FIGURA 3 – Correção diferencial com link por rádio.....	24
FIGURA 4 - Correção diferencial com link por satélite	25
FIGURA 5 – Relação entre altitude elipsoidal (h) e ortométrica (H)	30
FIGURA 6 – Modelo de ondulação geoidal segundo MAPGEO 2004 para Datum SAD69	33
FIGURA 7 – Modelo de ondulação geoidal segundo MAPGEO 2004 para Datum SIRGAS2000.....	33
FIGURA 8 – Marco pertencente a rede estadual, campus URI Santiago.....	35
FIGURA 9 – Distribuição dos pontos na área do Campus da URI	36
FIGURA 10 – Estaca nº 10 e piquete e em um ponto pertencente a poligonal demarcada por topografia convencional	37
FIGURA 11 – Receptor GPS de navegação conectado ao computador portátil e a antena	39
FIGURA 12 – Tela do programa que captura os dados do receptor Garmin12 XL ...	39
FIGURA 13 – Tela do programa MAPGEO 2004	41
FIGURA 14 – Tela do programa MGLE	42
FIGURA 15 - Regressão entre as altitudes ortométricas produzidas pelo GPS de navegação método Garmin 12XL (M1) e nivelamento tradicional (NC)	45
FIGURA 16 - Resultado do ajuste linear entre o método de cálculo da ondulação geoidal MAPGEO 2004 (M2) e o nivelamento convencional (NC) e realizado por nível ótico de precisão.....	46
FIGURA 17 - Regressão entre as altitudes ortométricas produzidas pelo método empírico (M3) e nivelamento tradicional (NC)	46
FIGURA 18 – Comparação entre os valores de altitude ortométrica obtidos pelo método 1 com GPS de navegação (M1) e o método 2 realizado com MAPGEO 2004 (M2).....	47
FIGURA 19 - Ajuste linear entre o método 1 a partir de GPS de navegação (M1) e o método 3 pelos modelos empíricos (M3)	48

FIGURA 20 - Ajuste linear entre o método 2 a partir do MAPGEO 2004 (M2) e o método 3 pelos modelos empíricos (M3)48

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Tipos de modelos de ondulação geoidal locais empíricos disponíveis no programa MGLE	42
TABELA 2 – Avaliação estatística da regressão linear entre os valores das altitudes ortométricas obtidas pelos métodos. Onde $GL=53$ e $t_{t\ 5\%}=2.006$ (COSTA NETO, 1977).	50

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – Monografia do Marco pertencente à Rede Estadual Passiva.....	56
--	----

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Planilha de levantamento caminhamento perimétrico	58
APÊNDICE B - Planilha de campo – nivelamento.....	59

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

MODELAGEM DA ELEVAÇÃO DO TERRENO COM ALTIMETRIA CONVENCIONAL E GPS

Autor: Gilberto Jesus Colinski Girardon
Orientador: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, 7 de Julho de 2006.

O sistema GPS fornece altitudes referenciadas ao elipsóide. No entanto, para aplicações em engenharia, necessita-se de altitudes relacionadas com o campo gravitacional terrestre, que possuem ligação com a realidade física. Desse modo, para determinar as altitudes ortométricas a partir das altitudes geométricas, determinadas com o GPS, é preciso, conhecer a ondulação geoidal. O objetivo deste trabalho é comparar o desempenho de um modelo empírico de ondulação geoidal local com o modelo nativo de receptores de navegação modelo Garmin 12XL e o programa MAPGEO2004 - IBGE. Para tanto, foi instalada uma poligonal teste dentro do campus da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), em Santiago, RS. Na mesma, foi executado um nivelamento de precisão para a determinação das altitudes ortométricas dos vértices. O modelo de ondulação geoidal existente nos receptores GPS modelo GARMIN 12XL, foi acessado por meio de um programa desenvolvido no Laboratório de Geomática da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Por meio deste programa, foram gravadas as ondulações geoidais dadas pelo equipamento para cada ponto rastreado. No programa MAPGEO2004 as ondulações geoidais foram obtidas a partir da entrada das coordenadas curvilíneas latitude e longitude dos pontos de interesse. Foram desenvolvidos modelos empíricos para a ondulação geoidal local, que posteriormente foram comparados com os oriundos do GARMIN 12 XL e do MAOGEO2004. A análise dos resultados foi realizada a partir de uma regressão linear entre cada um dos três modelos e o nivelamento tradicional com nível de precisão. Os resultados levantados apontam uma alta correlação entre o modelo empírico de ondulação geoidal local e o programa MAPGEO2004. No entanto, não houve um bom ajuste entre as altitudes ortométricas do modelo empírico e aquelas determinadas pelo receptor GPS de navegação GARMIN 12XL.

Palavras-chave: ondulação geoidal, altitude ortométrica, nivelamento com gps.

ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program in Geomática
Federal University of Santa Maria, RS, BRAZIL

TERRAIN ELEVATION MODELLING WITH CONVENTIONAL ALTIMETRY AND GPS

Author: Gilberto Jesus Colinski Girardon
Advisor: Adroaldo Dias Robaina
Local and date: Santa Maria, July, 7, 2006.

The Global Positioning System has all heights referred to the ellipsoid. However, for engineering applications it is necessary to have heights related to the earth gravitational field, which have physical meaning. In order to determine the orthometric height from the geoidal height, which is given at the GPS, it is necessary to know the geoidal undulation. The objective of this paper is to compare an empiric model of local geoidal undulation with a native model present in handheld GPS model GARMIN 12XL and the software call MAPGEO2004 – IBGE. A test poligonal had been seted up in the campus of Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), in Santiago, RS. The poligonal was leveled and all the poligonal vertices had their orthometric heights determinated. The model for geoidal undulation present in the GARMIN receivers was accessed by a software developed by Geomatics Laboratory at UFSM. Using this program, all geoidal undulations were recorded for each surveyed point. Geoidal undulation with MAPGEO2004 have been obtained from the points geographic coordinates as inputs to the program. Empiric models were developed for the local geoidal undulation, which were compared to the GARMIN 12XL and MAGEO2004 models. The results analyses were conducted with a linear regression between all the three models and the traditional leveling. The results indicate a high correlation has been observed between the empirical model for geoidal undulation and the MAPGEO2004 program. However, there has been no adjust between orthometrics heights of the empirical model and those determined by the handheld receiver.

Key words: geoidal undulation, orthometric height, leveling with gps.

1 INTRODUÇÃO

A união dos sistemas de posicionamento sob o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) ocorre simultaneamente à popularização destes sistemas, a saber: GPS, GLONASS, Galileo e EGNOS. Diversas ferramentas chegam ao mercado sempre visando suprir novas necessidades e preencher demandas dos usuários. Ao passo que ocorre esta difusão, indústria e pesquisadores buscam desenvolver novas aplicações para uso desta tecnologia. Para o desenvolvimento destas novas ferramentas é fundamental que sejam feitos testes e estabelecidas as circunstâncias que estas tecnologias possam vir a ser empregadas, para que seu uso posterior seja feito conhecendo-se as limitações envolvidas.

O mais popular dos sistemas conhecido como GPS vem sendo utilizado nas mais variadas atividades de posicionamento horizontal, mas, no que se refere às atividades relacionadas ao nivelamento de precisão, ainda são necessários mais testes acerca das potencialidades do sistema em usos práticos.

O sistema GPS fornece altitudes de natureza puramente geométrica, ao passo que, na maioria das atividades de engenharia, necessita-se de altitudes ortométricas relacionadas com o campo gravitacional terrestre, que possuem ligação com a realidade física. Para a determinação das altitudes ortométricas (H), a partir das altitudes geométricas ou elipsoidais (h), determinadas com o GPS, necessita-se conhecer a ondulação geoidal (N). O desenvolvimento de modelos de ondulação geoidal tem sido foco de inúmeros estudos.

No entanto, devido à forma irregular do geóide, a construção de um modelo de ondulação em escala que contemple regiões muito amplas, torna-se complexo e de baixa acurácia.

No Brasil o IBGE distribuiu o MAPGEO2004, o qual fornece a ondulação geoidal para qualquer ponto do território nacional. Com tudo, para que estes modelos sejam mais acurados é necessário que ocorra um adensamento da rede de nivelamento, ou que sejam empregados modelos em escalas regionais ou locais.

O presente trabalho teve como objetivo comparar o desempenho de um modelo empírico de ondulação geoidal local com o modelo nativo de receptores de navegação modelo Garmin 12XL e o programa MAPGEO2004.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema global de navegação por satélite – GNSS

A utilização de ferramentas para a identificação de coordenadas de um determinado objeto ou fenômeno sobre a superfície da terra, está hoje associada entre o público usuário desta tecnologia, ao sistema de posicionamento global, ou, GPS, como ficou conhecido o programa mantido pelo governo americano através de seu departamento de defesa. Órgão responsável pela manutenção do NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System), que teve sua origem em um sistema iniciado na década de 60, conhecido como TRANSIT, o qual apresentava limitações devido a sua conformação.

A tecnologia GPS tem tido uma disseminação cada vez maior entre a população que passa a utilizá-lo devido à chegada ao mercado de novas aplicações da tecnologia de posicionamento global, tais como: sua incorporação a telefonia celular, rastreamento de frotas, difusão do SIG, etc.

Entretanto, existem outras configurações de sistemas de posicionamento por satélite que se colocam como opção para os usuários, algumas já disponíveis; outras ainda em fase de implementação.

O GLObal NAVigation Satellite System – GLONASS é a contraparte Russa ao sistema americano de posicionamento. Esse sistema utiliza-se dos mesmos princípios de posicionamento e transmissão de dados. Porém, está disponível nesse sistema um número menor de satélites, sendo a atual configuração composta por apenas 12 veículos, o que faz com que usuários dessa tecnologia tenham que planejar períodos maiores de rastreamento, para que se chegue a resultados similares aos usuários utilizando de receptores GPS. Uma nova série de satélites estará sendo lançada pelo governo russo. Quando os satélites GLONASS-K estiverem em órbita, por volta de 2006, estará disponível uma terceira frequência neste sistema. (STEDILE, 2005)

Previsto para entrar em operação a partir de 2008, o sistema europeu de posicionamento conhecido como Galileo terá seu foco direcionado ao público civil, diferente dos outros sistemas que o antecederam, os quais tiveram sua origem para fins militares. Mantido pela Agência Espacial Européia, o Galileo será composto de

30 satélites que irão emitir sinais em um serviço aberto (Open Service – OS) com acurácia por volta de 4 metros, em frequência aberta a qualquer usuário; serviço comercial (Commercial Service – CS) com acurácia melhor do que 1 metro em sinal criptografado, além de dois outros sinais, também codificados, conhecidos como serviço público regulado (Public Regulated Service – PRS) e serviço de segurança à vida (Sevety of Life Service – SoL), ambos destinados a atividades da polícia, bombeiros, aviação, exército etc. (EUROPEAN COMMUNITIES, 2005).

Outro sistema de posicionamento e navegação, o EGNOS, previsto para estar operando a partir de 2006, será constituído de três satélites geoestacionários e uma rede de base de monitoramento. Estes irão processar as informações disponíveis pelos dois sistemas já em operação GLONASS e GPS. Planejado pela Comissão Européia e pela Agência Espacial Européia, o sistema tem como principal objetivo abrir caminho para a consolidação futura do sistema Galileo (ESA, 2005).

2.2 Sistema de Posicionamento Global

Uma vez que os receptores utilizados neste trabalho capturam apenas sinais advindos do sistema GPS, este será aqui abordado com mais detalhes.

O GPS é um sistema de navegação eletrônico, baseado numa rede de satélites artificiais que permitem a obtenção instantânea do posicionamento tridimensional (latitude, longitude e altitude), velocidade e tempo. Estas informações podem ser obtidas, em qualquer ponto da superfície terrestre, a qualquer momento, ininterruptamente e independente das condições meteorológicas. O sistema é constituído por um conjunto de 24 satélites artificiais orbitando em torno da terra a uma altitude de 20.200 km (segmento espacial), estações rastreadoras posicionadas em diferentes pontos do globo terrestre (segmento de controle) e receptores de sinais de satélites do sistema GPS (segmento do usuário).

O segmento espacial é constituído por uma constelação de satélites GPS que enviam sinais de rádio navegação para qualquer ponto próximo a superfície terrestre. Esse segmento tem como função gerar e transmitir os sinais dos satélites GPS (mensagens de navegação, sinais de código e das portadoras L1 e L2). (HOFMANN-WELLENHOF et al., 1994; SEGANTINE, 1998).

A operacionalidade do sistema GPS é feita pelo segmento de controle, que tem como principal função, a atualização das mensagens de navegação transmitidas pelos satélites. Para tanto, esse segmento é composto de uma série de estações de monitoramento localizadas em Ascencion, Colorado Springs, Diego Garcia, Kwajalein e Hawaii. Essas estações estão continuamente rastreando todos os satélites visíveis e transmitindo os dados para uma estação mestre de controle, localizada em Colorado Springs (EUA). (LOCH & CORDINI, 1995).

O segmento do usuário está associado a tudo que se relaciona com a comunidade de usuários do sistema GPS para determinação da posição, velocidade e tempo. De um modo geral, os receptores GPS podem ser classificados em de navegação, topográficos e geodésicos. Esta distinção é feita de acordo com o tipo de sinal observado pelo receptor, se código (C/A e P) ou as fases da portadora (L1 e L2) e pela precisão fornecida por cada equipamento. (FORTES, 1994).

2.3 Princípio do sistema de posicionamento global

O posicionamento com GPS se baseia na medição da distância que separa os satélites de um receptor. Neste caso, são medidas, simultaneamente, as distâncias entre o observador e quatro satélites de posições conhecidas. Conhecendo-se as coordenadas dos satélites, num determinado tempo, pode-se calcular as coordenadas do receptor. Três satélites seriam suficientes para efetuar o cálculo geométrico das coordenadas (X, Y e Z) do receptor, porém o quarto é necessário para ajustar o sincronismo do relógio do receptor em relação ao tempo GPS. (FORTES, 1994).

2.3.1 Formas de medição das distâncias no sistema GPS

O principal objetivo do sistema GPS é utilizar os sinais emitidos pelos satélites para determinação da posição de um observador sobre a superfície terrestre. A medida fundamental que provém destas observações é a distância, que pode ser determinada por meio de receptores apropriados para captar sinais dos códigos C/A ou P e a fase da portadora.

Os códigos, também conhecidos por PRN (*Pseudo-Random Noise*), parecem ruídos aleatórios, mas possuem uma seqüência lógica. Os receptores GPS são

fabricados para decifrar somente estas seqüências, e não sofrerem interferências de outras fontes naturais ou intencionais de sinais de rádio. Os satélites GPS geram o código C/A a cada 0,001 segundos no tempo determinado por relógios atômicos de alta precisão. O código C/A fornece a distância a partir da medida do tempo necessário para correlacionar a seqüência do código que entra no receptor, com a seqüência do código gerado dentro do mesmo. Este tempo multiplicado pela velocidade de propagação da onda eletromagnética (velocidade da luz no vácuo), resulta na distância percorrida pelo sinal (LOCH & CORDINI, 1995; SILVA, 1997).

Quanto ao código P, como está reservado somente para usuários autorizados pelos gestores do sistema, não será abordado neste estudo.

A fase da portadora é captada pelo receptor por meio de duas freqüências de onda emitidas pelos satélites: a L1 (1.575 MHz) e L2 (1.227 MHz). As observações da fase também permitem a determinação da distância entre os satélites e o receptor, medindo-se a diferença de fase entre o sinal recebido do satélite e o sinal gerado pelo receptor. Os receptores GPS fornecem medidas da parte fracional da fase da onda portadora, acrescidas do número total de ciclos desde o início das observações. Esta característica faz com que as medidas de fase sejam ambíguas por um número inteiro de ciclos denominado de ambigüidade (SEGANTINE, 1998).

2.3.2 Influência dos erros nas medições com GPS

As medições realizadas com receptores GPS são afetadas por erros do tipo grosseiros, aleatórios e sistemáticos. Os erros grosseiros são causados pelo observador, devido a falta de cuidado na hora da tomada das observações. Os erros acidentais ou aleatórios são aqueles de natureza desconhecida, e tendem a se neutralizar quando o número de observações for grande. Aqueles que são produzidos por causas conhecidas são chamados de erros sistemáticos, e podem ser tratados através de técnicas especiais de observação ou eliminados posteriormente empregando-se modelos matemáticos (GEMAEL, 1994).

Segundo Camargo et al. (2000), os erros de natureza conhecida ou sistemáticos, que afetam o posicionamento de pontos com GPS estão relacionados com: as órbitas dos satélites, os erros dos relógios dos satélites e receptores, a propagação do sinal na atmosfera (refração troposférica e ionosférica), multicaminhamento do sinal, perdas de ciclos da portadora (chamada de *cycle slips*)

e a SA (*Selective Availability*).

Os satélites possuem relógios com osciladores de cristal de césio e rubídio, chamados de relógios atômicos, sendo a precisão destes relógios em torno de 10^{-12} segundos, e os relógios dos receptores são de cristais de quartzo, com uma precisão de 10^{-9} segundos. Essa diferença na precisão dos relógios resulta num erro de sincronia entre satélites e receptores, que pode ser eliminado adotando-se o método de posicionamento diferencial ou relativo (BERALDO & SOARES, 1995).

A atmosfera terrestre, de acordo com Silva et al. (1998), é constituída por uma mistura de gases e vapores d'água e é dividida em vários tipos de camadas. Para o estudo dos fenômenos de refração das ondas eletromagnéticas, transmitidas pelos satélites GPS, as camadas de interesse são a ionosfera e a troposfera. A refração é a mudança de direção e da velocidade da onda eletromagnética, quando esta se propaga pela atmosfera. Sendo que o efeito desta pode variar de poucos metros até aproximadamente 30 m, dependendo da densidade da atmosfera e do ângulo de elevação do satélite.

Ishikawa & Itame (2000) citam que uma outra origem para os erros sistemáticos sobre o posicionamento com o uso do sistema GPS, é o multicaminhamento do sinal emitido pelos satélites. Esse erro resulta da reflexão do sinal, devido a obstáculos localizados próximos da antena receptora, e que podem influenciar as medidas realizadas com receptores GPS. Os sinais emitidos pelos satélites percorrem um caminho direto até a antena receptora para determinar a distância satélite-receptor, porém a presença de obstáculos como: prédios, árvores, redes de transmissão e solo refletem o sinal resultando em caminhos mais longos que o direto. Tais sinais possuem um tempo de propagação maior, podendo distorcer o sinal em amplitude e fase. Tanto os de código, como das portadoras L_1 e L_2 são afetados por esse efeito.

A técnica conhecida pela sigla SA foi introduzida no sistema GPS pelo Departamento de Defesa dos EUA (DoD) para degradar a precisão do posicionamento absoluto para usuários do código C/A (usuários civis). A precisão do posicionamento, com a SA ativa, ficava em torno de 100 m na horizontal e 140 m na vertical. Essa técnica implantada em 04 de abril de 1994 e desativada em 01 de maio de 2000, consistia na manipulação das efemérides transmitidas nas mensagens de navegação (conhecida como Técnica *Épsilon*), e na desestabilização dos relógios dos satélites (Técnica *Dither*). Com a desativação da SA, obtém-se uma

precisão no posicionamento absoluto, com o código C/A, cerca de dez vezes melhor (MONICO, 2000).

No sentido de reduzir a influência dos erros citados anteriormente, e melhorar a precisão do posicionamento de pontos pelo sistema GPS, vários métodos de levantamento e técnicas de processamento das observações foram pesquisados. Os métodos e as técnicas serão abordados no decorrer deste trabalho, com maior ênfase para o método de posicionamento relativo, que é objeto de investigação deste estudo.

2.4 Métodos de posicionamento com GPS

Os métodos de posicionamento com GPS conhecidos são: posicionamento por ponto ou absoluto e posicionamento diferencial ou relativo.

Para Hofmann-Wellenhof et al. (1994) o posicionamento por ponto ou absoluto, caracteriza-se pela utilização de um único receptor que calcula a sua posição em relação a quatro ou mais satélite através das observações de códigos.

O método diferencial ou relativo é aquele em que as observações são realizadas por dois receptores, sendo um instalado num local de coordenadas conhecidas e o outro nos pontos a determinar, formando assim um vetor ou linha base. Neste caso, para obter uma melhor precisão no posicionamento, pode-se fazer as correções dos erros, citados anteriormente na seção 2.3.2, de duas maneiras: através do pós-processamento dos dados, obtidos simultaneamente pelos dois receptores, ou por transmissão dos dados de uma estação de referência para o receptor móvel, onde os erros são calculados em tempo real. (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 1994; SEGANTINE, 1998).

Para o cálculo do vetor formado no posicionamento relativo, são usadas as equações da pseudodistância através do código e da fase da portadora, sendo que as coordenadas de um dos pontos (base ou referência) são conhecidas.

2.5 Modos de Posicionamento

2.5.1 Posicionamento absoluto pelo código C/A

A equação básica do posicionamento por ponto, baseado na medida do tempo de propagação do sinal desde o satélite à antena do receptor através do uso do código, pode ser representada pelo modelo matemático simplificado:

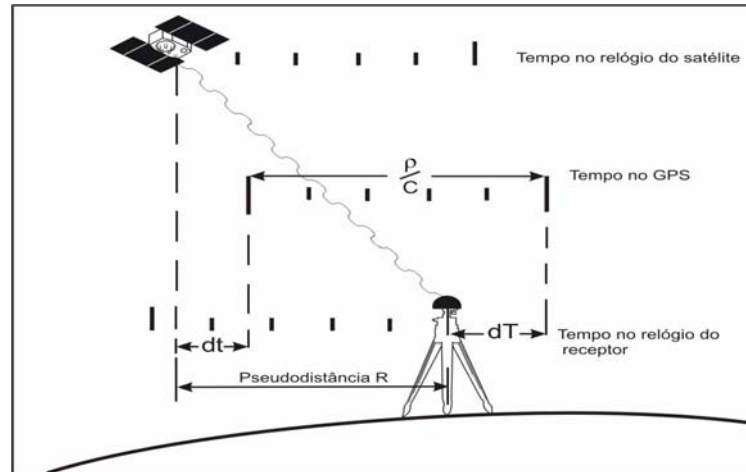


Figura 1 – Representação da determinação da distância entre satélite e receptor pelo código C/A.

$$R_A^j(t) = \rho_A^j(t) + c\delta^j(t) - c\delta_A(t) + \Delta T^j(t) + \Delta I^j(t) \quad j = 1,2,3,4,.. \quad (1)$$

em que:

R = distância satélite-receptor (pseudodistância);

ρ = distância real satélite-receptor;

$c\delta^j$ = diferença (erro) de sincronismo do relógio do satélite em relação ao tempo GPS;

$c\delta_A$ = diferença (erro) de sincronismo do relógio do receptor em relação ao tempo GPS;

ΔT^j = representa o atraso na propagação do sinal GPS na troposfera;

ΔI^j = representa o atraso na propagação do sinal GPS na ionosfera.

As coordenadas do receptor do usuário (X_A , Y_A e Z_A), para o caso estático, estão contidas na distância $\rho_A^j(t)$:

$$\rho_A^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_A)^2 + (Y^j(t) - Y_A)^2 + (Z^j(t) - Z_A)^2} \quad (2)$$

que pode ser escrita na forma linearizada, utilizando a expressão de Taylor, para 3 variáveis e truncada na primeira ordem:

$$\rho_A^j(t) = \rho_{Ao}^j(t) + \frac{X_{AO} - X^j(t)}{\rho_{Ao}^j(t)} \Delta X + \frac{Y_{AO} - Y^j(t)}{\rho_{Ao}^j(t)} \Delta Y + \frac{Z_{AO} - Z^j(t)}{\rho_{Ao}^j(t)} \Delta Z \quad (3)$$

sendo,

$$X = X_{AO} + \Delta X, \quad Y = Y_{AO} + \Delta Y \quad e \quad Z = Z_{AO} + \Delta Z \quad (4)$$

fazendo-se

$$L^j(t) = R_A^j(t) - \rho_{Ao}^j(t) - c\delta^j(t) - \Delta T^j(t) - \Delta I^j(t) \quad (5)$$

obtém-se

$$L^j(t) = \frac{X_{AO} - X^j(t)}{\rho_{Ao}^j(t)} \Delta X + \frac{Y_{AO} - Y^j(t)}{\rho_{Ao}^j(t)} \Delta Y + \frac{Z_{AO} - Z^j(t)}{\rho_{Ao}^j(t)} \Delta Z - c\delta_A(t) \dots$$

$$\dots A_{j1}(t) = \frac{X_{AO} - X^j(t)}{\rho_{Ao}^j(t)} \quad A_{j2}(t) = \frac{Y_{AO} - Y^j(t)}{\rho_{Ao}^j(t)} \quad A_{j3}(t) = \frac{Z_{AO} - Z^j(t)}{\rho_{Ao}^j(t)} \quad A_{j4}(t) = -1 \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ L_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & -1 \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & -1 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & -1 \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \\ c\delta_A \end{bmatrix} \quad (7)$$

ou,

$$L = A \cdot X \quad (8)$$

Se houver mais de 4 satélites, a solução será:

$$X = (A^T A)^{-1} \cdot A^T L \quad (9)$$

ou, para o caso mais geral, temos para o caso de observações com precisões diferentes:

$$X = (A^T P A)^{-1} \cdot A^T P L \quad (10)$$

onde,

P = é a matriz dos pesos das observações. (ROBAINA, 2004)

2.5.2 Posicionamento relativo pelo código C/A

O DGPS - Differential Global Positioning System - é uma técnica de medição baseada no código C/A, cujo principal objetivo desse método é a eliminação dos erros sistemáticos de navegação, sobretudo em função do SA. Com a alternativa do DGPS o erro fica na ordem de 1 a 3 metros no receptor móvel.

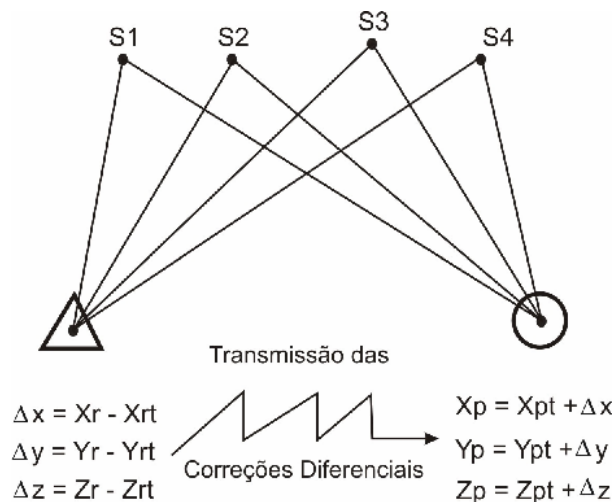


Figura 2 – Correção diferencial.

Um receptor GPS é colocado fixo num ponto com coordenadas previamente determinadas. Através da comparação de valores obtidos pelo rastreamento dos satélites com os valores conhecidos, são obtidas as correções a serem aplicadas.

Existem duas formas de obtenção das correções a serem aplicadas: diferenças de pseudodistâncias (ΔR) e diferenças de coordenadas (ΔX , ΔY , ΔZ), sendo as correções que utilizam a diferença de pseudodistâncias a forma mais precisa. Em relação à época de aplicação das correções, esta pode ser em tempo real ou pós-processada.

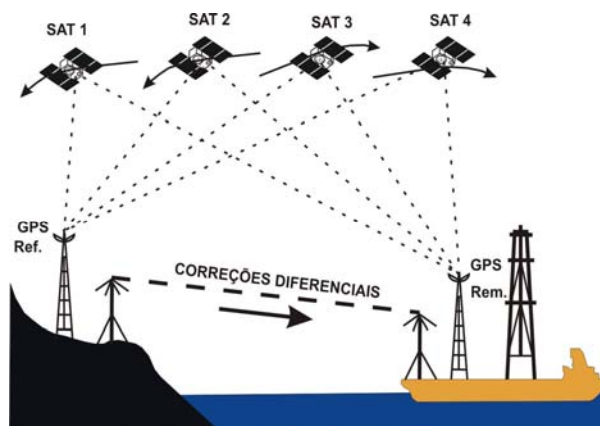


Figura 3 – Correção diferencial com link por rádio.

Quando se exige a posição da antena do receptor móvel em tempo real é necessário que o receptor da estação de referência (ou base) determine as correções (pseudodistâncias ou coordenadas) e as transmitam, via rádio, para que sejam recebidas e aplicadas as pseudodistâncias ou as coordenadas do receptor móvel (DGPS por rádio).

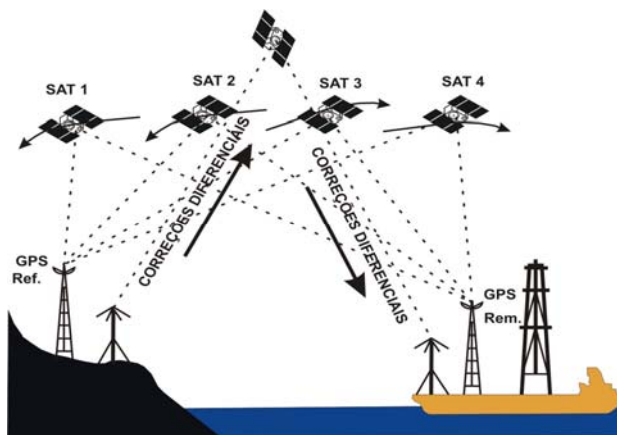


Figura 4 – Correção diferencial com link por satélite.

No Brasil, empresas privadas como a RACAL, a FUGRO e a OMNISTAR estão explorando o DGPS, via satélite, através de redes de estações no Brasil e na América do Sul (DGPS por satélite).

Quando não é exigida a posição da antena do receptor móvel em tempo real é necessário que o receptor da estação base determine as correções (pseudodistâncias ou coordenadas) e as armazene para serem usadas posteriormente por um programa computacional de processamento (pós-processamento).

O modelo matemático utilizado se baseia nas medidas verificadas na estação A para uma época t_0 cuja expressão é:

$$R_A^j(t_0) = \rho_A^j(t_0) + c\delta^j(t_0) - c\delta_A(t_0) + \Delta T^j + \Delta I^j \quad j = 1,2,3,4,.. \quad (11)$$

A correção para o satélite j na época de referência t_0 é dada por

$$PRC^j(t_0) = -R_A^j(t_0) + \rho_A^j(t_0) = -c\delta^j(t_0) + c\delta_A(t_0) - \Delta T^j - \Delta I^j \quad (12)$$

A taxa de correção $RRC^j(t_0)$ pode ser obtida por diferenciação numérica, de modo que a correção a ser aplicada ao receptor B é dada, aproximadamente por:

$$PRC^J(t) = PRC^J(t_0) + RRC^J(t_0) \cdot (t - t_0) \quad (13)$$

na qual a latência $(t - t_0)$ é fundamental para a precisão do resultado. As correções são transmitidas no formato RTMC (versão 2) e por isso essa técnica é conhecida como GPS diferencial RTCM.

Na estação B, a distância satélite-receptor pode ser modelada da mesma forma que a estação A, considerando os mesmos satélites para uma época t :

$$R_B^j(t) = \rho_B^j(t) + c\delta^j(t) - c\delta_B(t) + \Delta T + \Delta I \quad (14)$$

Aplicando as correções, a equação da pseudodistância referente ao ponto B, se obtém:

$$R_B^j(t)_{corr} = R_B^j(t) + PRC^J(t) \quad (15)$$

que se transforma na expressão:

$$R_B^j(t)_{corr} = \rho_B^j(t) - c\Delta\delta_{AB}(t) \quad (16)$$

na qual pode-se observar que os erros devido a troposfera e a ionosfera foram cancelados, bem como os erros devido ao relógio dos satélites. Como a SA é implementada no relógio dos satélites pode-se entender a vantagem desse tipo de posicionamento em relação à posição absoluta. (ROBAINA, 2004)

2.6 Métodos de nivelamento

Os métodos de nivelamento se dividem em: método barométrico, método trigonométrico e método geométrico.

O método barométrico consiste em determinar as diferenças de altitude com barômetros aneróides ou algum outro instrumento que marque a pressão atmosférica; já o trigonométrico baseia-se na resolução de triângulos para calcular alturas ou altitudes, e finalmente o método geométrico que apóia-se na diferença de alturas ou altitudes definidas por planos traçados um em relação ao outro (COMASTRI, 1998).

2.7 Métodos de levantamento topográfico altimétrico

Segundo Borges (1989), levantamento topográfico é o conjunto das operações pelas quais se consegue, com o auxílio de instrumentos apropriados, as medidas das grandezas lineares e angulares, ligadas por conhecidas relações matemáticas e capazes de bem definirem os acidentes naturais ou artificiais nas suas formas e posições relativas, objetivando a representação gráfica dos mesmos.

A altimetria ou hipsometria, definidos por Espartel (1965), tem por fim a medida da distância vertical ou diferença de nível entre diversos pontos.

Quando as distâncias verticais são referidas à superfície média dos mares tomam o nome de altitudes; recebem o nome de cotas quando se referem a uma superfície de nível fictícia, situada acima ou abaixo das superfície dos mares.

Deve-se distinguir nível verdadeiro de nível aparente. O primeiro é o nível da superfície dos mares ou do esferóide terrestre, e o segundo é do plano tangente a esta superfície. O método barométrico nos proporciona informações relacionados ao nível verdadeiro, enquanto que os métodos geométrico e trigonométrico relacionam-se com o nível aparente (ESPARTEL, 1965).

A altura de um ponto é a distância desse ponto à superfície de nível. Quando referida ao nível médio dos mares, a altura toma o nome de altitude. Quando a altitude é expressa em unidades, denominamos de cota de um ponto. Diferença de nível entre dois pontos é a diferença entre suas cotas ou altitudes, conforme afirma Gondim (1963).

Dizemos que uma diferença de nível é negativa quando o ponto determinado, em relação a um plano de referência, acha-se em nível inferior, e será positiva em caso contrário.

A altimetria segundo Marques (1978), é a parte da topografia que estuda a posição dos pontos em um plano vertical. Distância esta medida segundo a vertical do local, desde o ponto considerado até uma superfície arbitrária, denominada plano de referência, ou uma superfície real, chamada de geóide.

Três são os tipos de nivelamentos:

O primeiro tipo de nivelamento é o barométrico, que se utiliza de um barômetro que pode ser aneróide ou não. É o método mais impreciso.

O segundo tipo é o trigonométrico, que é a determinação das diferenças de nível por meio da resolução de triângulos situados em planos verticais, que passam pelos pontos cuja diferença de nível se quer medir. É também chamado de nivelamento indireto. É menos exato que o nivelamento geométrico, porque um pequeno erro na medida do ângulo dá lugar a um erro sensível na diferença de nível.

O terceiro tipo de nivelamento é o geométrico ou diferencial, que usa o nível de precisão para as determinações das diferenças de altitude entre um ou mais pontos GODOY (1983).

2.8 Consideração sobre os erros cometidos em levantamentos

Segundo Espartel (1965), os erros cometidos numa medição topográfica podem ter sido originados de fontes naturais, instrumentais ou pessoais. Naturais, quando ocasionados por fatores, tais como: temperatura, ventos, refração, gravidade e obstáculos; instrumentais, quando devido às imperfeições na construção dos instrumentos ou na retificação destes, e pessoais, quando devidos a defeitos da visão do operador ou outros enganos.

2.9 Determinações altimétricas através do sistema de posicionamento global

Merege Filho (1993) comenta que as altitudes determinadas pelo sistema GPS são confiáveis, desde que se leve em consideração que as coordenadas são referenciadas a um sistema cartesiano com origem no geocentro da Terra, e, que a origem, orientação e escala dessas coordenadas são definidas através de coordenadas afixadas para um conjunto de estações rastreadoras fixas, as quais coletam dados continuamente dos satélites para o cálculo de suas órbitas, que são utilizadas pelos usuários do sistema para o cálculo do posicionamento de suas estações. No entanto, as coordenadas das estações fixas e de todo sistema GPS estão referenciadas a um elipsóide (modelo matemático utilizado para representar a forma da Terra) denominado de WGS84. Neste caso, as determinações com GPS resultam em coordenadas cartesianas X, Y e Z ou latitude, longitude e altitude

relacionadas a este elipsóide. Portanto, a altura do ponto é obtida em relação à superfície do elipsóide e recebe a denominação de altura elipsoidal (h).

Beraldo (1995) comenta que a representação altimétrica relativa ao elipsóide torna-se muito difícil para pontos sobre a superfície física da Terra, uma vez que não se sabe onde o elipsóide passa exatamente em relação ao ponto que está sendo determinado. Por esta razão, adota-se uma referência mais fácil de ser percebida que é o Nível Médio dos Mares, ou seja, a superfície geoidal denominada de geóide. As altitudes referenciadas ao geóide são chamadas de ortométricas, e são representadas pela letra H . As altitudes ortométricas de todo território nacional estão referenciadas a um marco de altitude zero, materializado na cidade Imbituba-SC. O órgão responsável pela distribuição dessas Referências de Nível (RN) é o IBGE.

O mesmo autor coloca que a altitude elipsoidal (h) muda com o Datum Horizontal selecionado. Já a altitude ortométrica (H), não varia seja qual for o Datum Horizontal escolhido. A altitude ortométrica referenciada ao nível médio dos mares é a mesma para qualquer Datum, portanto esta é que fica registrada nos mapeamentos e na caracterização das RN estabelecidas por órgãos como o IBGE e a DSG (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército). Neste caso, Merege Filho (1993) comenta que para se determinar as altitudes ortométricas a partir das elipsoidais é necessário que se conheça a diferença entre as duas. Esta diferença é denominada de ondulação geoidal (N), determinada por $H = h - N$.

A determinação da ondulação geoidal (N) para uma região pode ser realizada através de medições astronômicas, gravimétricas (medições de gravidade na superfície) e, por modelamento matemático para fins de mapeamento geoidal ou modelagem geoidal (interpolação geoidal). No entanto, o modelamento matemático é o mais utilizado para transformação das altitudes elipsoidais em ortométricas, uma vez que os outros dois métodos são muito demorados, complexos, e necessitam de alta precisão nas determinações (BERALDO, 1995).

Diversos modelos geoidais estão disponíveis atualmente, podendo ser citados o OSU (Ohio State University 1991), o EGM 96 (Earth Goddard Model 96) e o mapa geoidal MGB 92 (IBGE/EPUSP) (BLITZKOW et al., 1993b *apud* MONICO (2000)). O MGB-92, oficialmente adotado no Brasil, proporciona ondulação geoidal com precisão absoluta e relativa da ordem de 3 m e 1cm/km, respectivamente.

No Canadá e nos EUA, o nível de precisão absoluta do geóide é da ordem de 10 cm e, a relativa de 4 a 1 ppm para distâncias de até 1000 km (SIDERIS & SHE, 1995 *apud* MONICO(2000)).

Dentre outros modelos descritos pode-se citar o Geóide Gravimétrico do Estado de São Paulo (SÁ & MOLINA, *apud* MONICO, 2000), comparados com alturas geoidais obtidas a partir do posicionamento de GPS sobre pontos pertencentes a rede altimétrica fundamental do Brasil que apresentou desvio padrão da ordem de 38 cm.

Para Teixeira et al. (2000), o sistema GPS fornece coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude) com alta precisão, através do método de posicionamento relativo, num curto intervalo de tempo. Porém, as altitudes determinadas a partir do sistema GPS apresentam certas restrições para determinadas aplicações de engenharia, uma vez que esta não tem um significado físico e sim geométrico, pois está relacionada ao elipsóide WGS84. Essas limitações podem ser eliminadas fazendo uso de altitudes relacionadas ao campo gravitacional da terra ou superfície geoidal, ou seja, as altitudes ortométricas (H). Nesse sentido, as altitudes geométricas ou elipsoidais (h) podem ser transformadas em ortométricas (H), através do conhecimento da ondulação geoidal (N) do local, Figura 5. Para tanto, as altitudes elipsoidais são determinadas por GPS, ocupando-se as Referências de Nível (RN) de altitudes ortométricas conhecidas. A partir das diferenças entre as altitudes elipsoidais (h) e ortométricas (H), determinam-se as ondulações geoidais por:

$$N = h - H \quad (17)$$

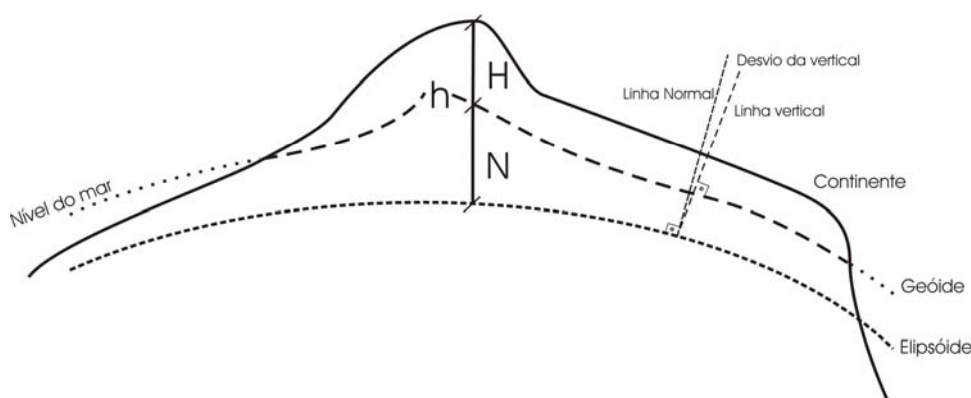


Figura 5 - Relação entre altitude elipsoidal (h) e ortométrica (H).

Com o aprimoramento dos modelos geoidais locais, é esperado que o sistema GPS venha a substituir as operações de nivelamento feitas por equipamentos tradicionais. A determinação de altimetria de precisão utilizando-se o sistema GPS ainda requer bastante estudo, e para que isso ocorra recorre-se a soluções locais, desde que a área não seja muito extensa, e que não existam evidências de variações bruscas no geóide. Uma solução pode ser a interpolação, a partir de estações levantadas utilizando GPS, com altitudes ortométricas conhecidas. Trata-se de uma técnica bastante utilizada, mas ressalva-se que a metodologia utilizada seja adequada, para evitar problemas de precisão (MONICO, 2000).

Se a localização de referência de nível não for propícia para a coleta de dados GPS, recomenda-se transportá-la para um local apropriado, utilizando nivelamento que permita obter precisão do vértice de origem. Os demais vértices podem ser ocupados com GPS.

Dessa forma, disponibilizam-se as coordenadas horizontais das referências de nível (E' , N'), também as altitudes ortométricas (H) e geométrica (h), e as informações sobre a Matriz de Variância e Covariância.

As ondulações geoidais das referências de nível podem ser obtidas a partir do modelo geoidal disponível para a região. Esses dados podem ser integrados para produzir um modelo local do geóide para a região do projeto usando, por exemplo, uma das superfícies:

$$z = aE' + bN' + c \quad (18)$$

$$z = aE' + bN' + cE'N' + d \quad (19)$$

$$z = aE' + bN' + cE'^2 + dN'^2 + e \quad (20)$$

Onde:

z = Altitude do local;

E' = Longitude;

N' = Latitude;

a , b , c , d e e = Coeficientes do modelo.

Nesta expressão, a integração ocorre ao serem obtidos valores de z , o qual é dado por:

$$z = H - h + N \quad (21)$$

Os termos a , b , c , d e e são parâmetros a estimar a partir de técnicas de ajustamento. Portanto, é importante a adoção de uma Matriz de Variância e Covariância adequada para os elementos de z (MONICO, 2000).

As altitudes determinadas pelo sistema GPS são confiáveis, desde que se leve em consideração que as coordenadas são referenciadas a um sistema cartesiano com origem no geocentro da Terra, e que a origem e orientação das mesmas sejam definidas através de coordenadas fixadas por um conjunto de estações rastreadoras fixas. Estas coordenadas estão referenciadas a um elipsóide (modelo matemático utilizado para representar a forma da terra) denominado WGS84. Neste caso as determinações com GPS resultam em coordenadas cartesianas X , Y e Z ou latitude, longitude e altitude relacionados a este elipsóide (MEREGE FILHO, 1993).

Os aprimoramentos dos modelos geoidais locais, tornarão a prática do GPS mais confiável na obtenção de altitudes, e possivelmente substituirão os métodos e equipamentos tradicionais de nivelamento (PESSOA, 1995).

2.10 Modelo de ondulação geoidal para território brasileiro

O IBGE, através da Coordenação de Goedésia e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, geraram um novo Modelo de Ondulação Geoidal com uma resolução de 10' de arco, desenvolvendo o Sistema de Interpolação de Ondulação Geoidal, o MAPGEO2004. Através desse sistema, os usuários podem obter a ondulação geoidal (N), em um ponto, ou conjunto de pontos, referida aos sistemas SAD69 (Figura 6) e SIRGAS2000 (Figura 7) para qualquer ponto do território nacional.

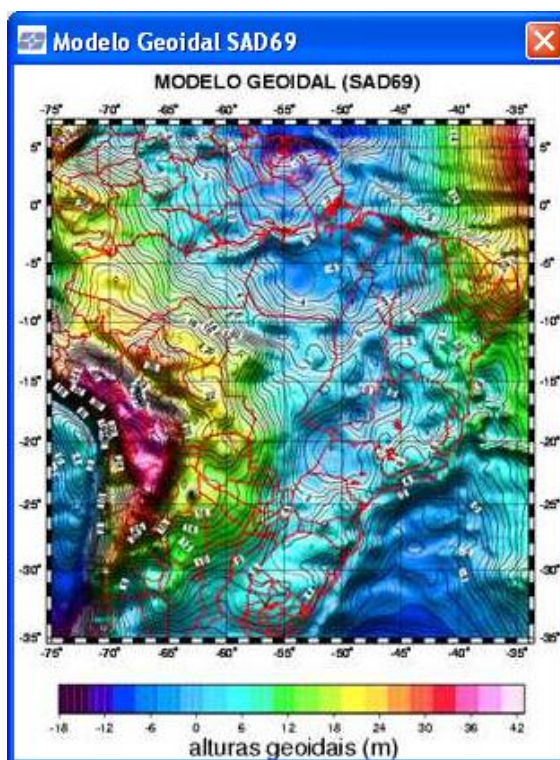


Figura 6 – Modelo de ondulação geoidal segundo MAPGEO2004 para Datum SAD69.

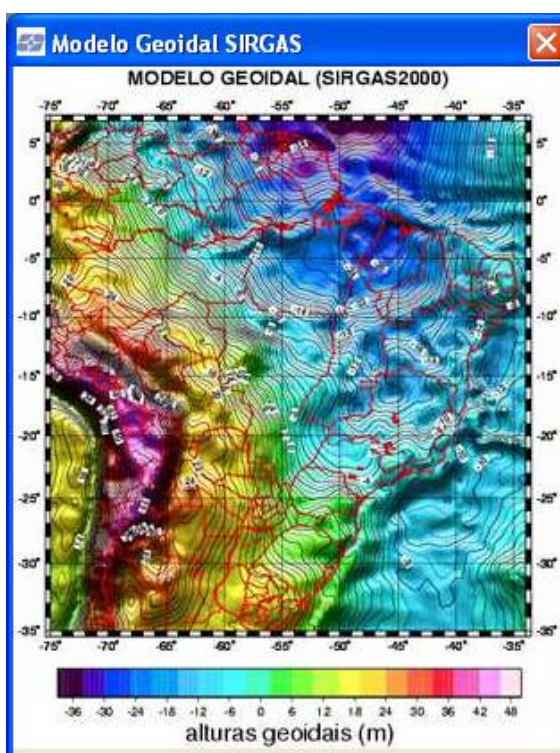


Figura 7 – Modelo de ondulação geoidal segundo MAPGEO2004 para Datum SIRGAS2000.

O erro médio padrão associado ao modelo MAPGEO2004 é de mais ou menos 0,5 metros, determinado a partir das comparações de altitudes GPS com altitudes de referências de nível. Isso significa que, no Brasil, poderão ocorrer erros

maiores do que 0,5 metros em regiões onde existe carência de informações para subsidiar a elaboração do modelo, por exemplo, a região Amazônica. AUGUSTO (2004).

2.11 Trabalhos de altimetria utilizando a tecnologia GPS

Marques & Sampaio (1999), utilizaram GPS para levantar uma área de 4,5 ha em Niterói - RJ. Nesse trabalho, após a coleta de dados, os autores reforçam a necessidade de utilização de um modelo geoidal local, já que as “alturas” fornecidas pelo GPS são altitudes elipsoidais (h), as quais necessitam transformadas em altitudes ortométricas (H).

Para o uso do GPS em altimetria é indispensável o conhecimento da ondulação geoidal, mas as dificuldades para a determinação do modelo são grandes. Segundo Arana (2000), é possível obter precisão de 0,5 m calculados a partir de modelos geopotenciais.

Conforme comentário de Brandão (1999), se a altura geoidal não for obtida com rigorismo, a precisão obtida por RN transportados com altitudes ortométricas conhecidas ficam superiores a 40 cm, muito diferentes do 5 cm de diferença obtidos com dados de altura geoidal precisos.

Carvalho (2004) conclui que o sistema de posicionamento global pode ser utilizado para levantamento de pequenas bacias hidráulicas utilizando-se de receptores de frequência simples, aliados a modelos locais de ondulação geoidal.

Em experimento realizado com diferentes receptores e declividades do terreno, Coelho (2004) afirma que é viável a utilização de receptores GPS geodésicos em levantamentos altimétricos, descartando-se, no entanto, a utilização de receptores do tipo navegação, com o qual se encontrou erros de até 10 metros nas determinações altimétricas. O autor afirma ainda, que a declividade do terreno influencia diretamente no desempenho altimétrico de receptores GPS.

Para Corseuil (2003), desde que seja efetuada a adequada modelagem da ondulação geoidal local, receptores GPS podem ser utilizados em levantamentos altimétricos. Sendo, segundo o autor, asseguradas precisões centimétricas até mesmo em tempos de rastreamento entre 5 e 15 minutos, no método relativo estático.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O trabalho foi realizado na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Campus de Santiago na cidade de Santiago – RS, de coordenadas geográficas centrais latitude $54^{\circ}53' 06''$ S e longitude $29^{\circ}11' 28''$ W. Onde existe um marco oficial da Rede Estadual GPS de Marcos Passivos, Figura 8. Ver Anexo A para descrição do marco.

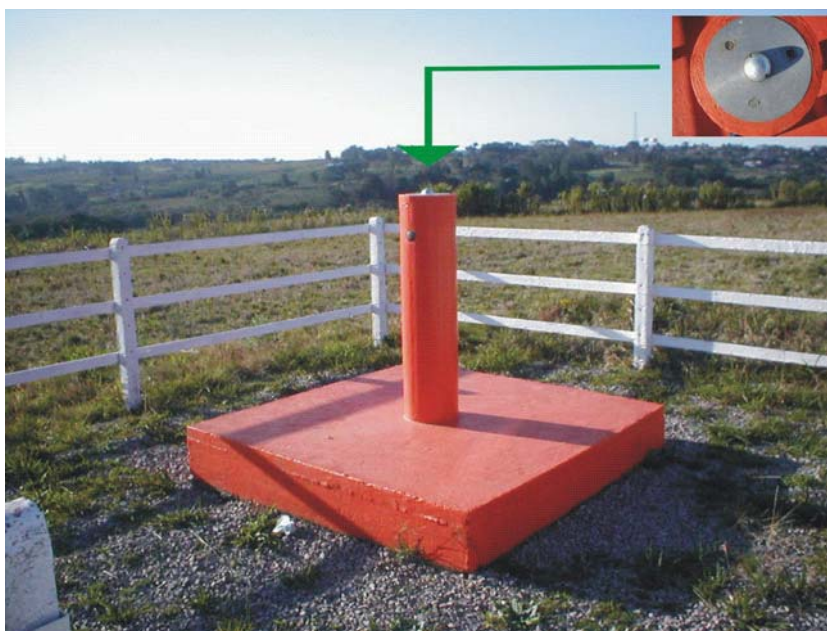


Figura 8 – Marco pertencente à rede estadual, campus URI Santiago.

3.2 Levantamento topográfico da área experimental

3.2.1 Levantamento planimétrico

Foi implantada na área de trabalho, utilizando-se de estação total, uma poligonal base com 17 vértices, os quais foram identificados por caracteres numéricos (00 a 16), utilizando-se o método do caminhamento perimétrico, cuja planilha de cálculo pode ser vista no Apêndice A.

Dos vértices da poligonal base foram obtidos pontos, nos limites da área e em seu interior, por irradiação trigonométrica, que foram identificados por caracteres

alfanuméricos (0A até 16C), onde o primeiro caractere (numérico) identifica o vértice utilizado para a irradiação, e o segundo caractere (alfabético) permite a identificação do ponto irradiado, Figura 9.

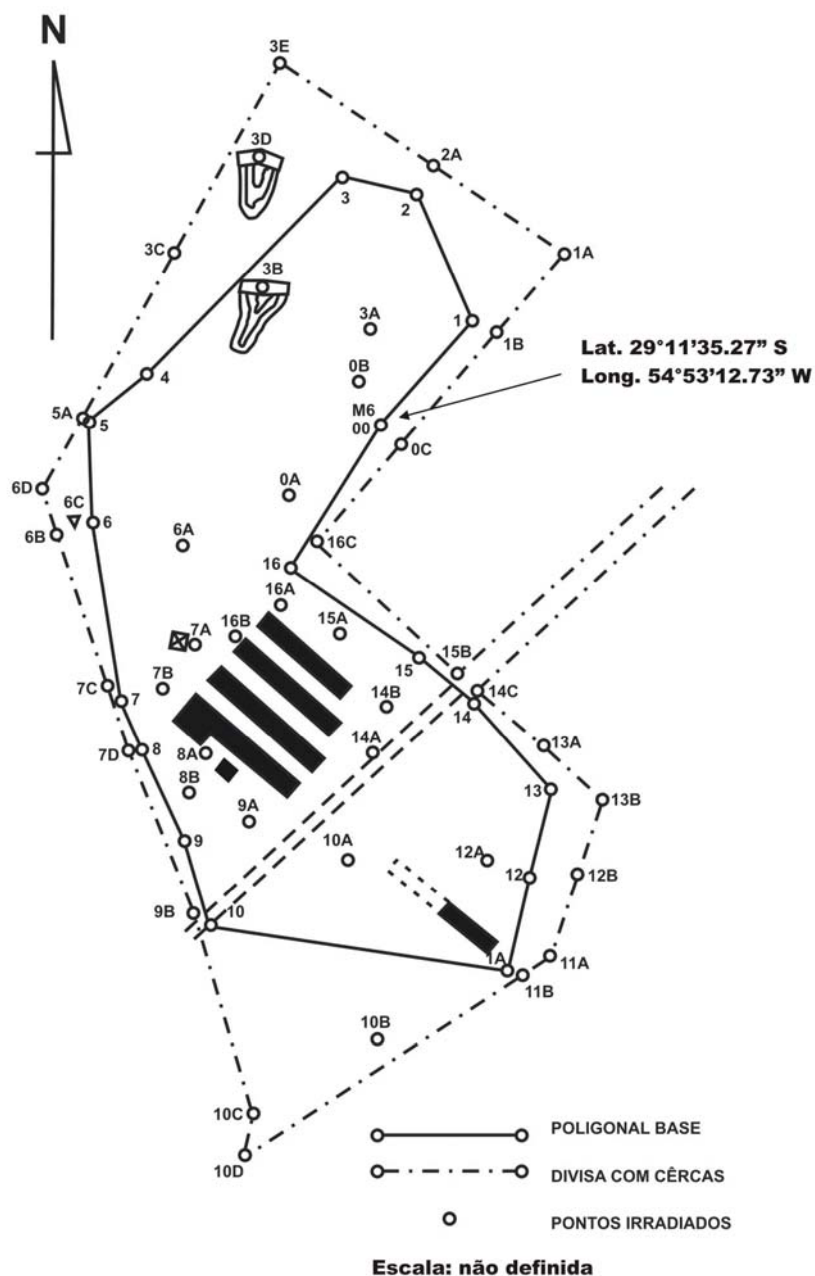


Figura 9 – Distribuição dos pontos na área do Campus da URI.

Os pontos foram demarcados no terreno com piquetes, e a sua localização pode ser feita através de estacas de madeira de 25 cm, pintadas de branco e identificadas com os caracteres alfanuméricos, de acordo com a descrição anterior, Figura 10.



Figura 10 – Estaca nº 10 e piquete e em um ponto pertencente a poligonal demarcada por topografia convencional.

3.2.2 Levantamento altimétrico convencional

As altitudes ortométricas dos vértices da poligonal base (identificados na Figura 5, por caracteres numéricos) foram obtidas através do nivelamento geométrico composto utilizando-se um nível de precisão. Foi feito um contranivelamento para verificar a qualidade do nivelamento dos pontos da poligonal base. Ver Apêndice B para os dados de nivelamento.

Feito o nivelamento geométrico dos vértices da poligonal base, as altitudes ortométricas dos pontos restantes do terreno (identificados por caracteres alfanuméricos), foram obtidas por irradiação a partir dos vértices da poligonal base utilizando-se o nivelamento trigonométrico com o auxílio de uma estação total.

3.2.3 Levantamento altimétrico com GPS

Utilizando-se a expressão $N = h - H$ (equação 17), podemos reescrevê-la como:

$$H = h - N \quad (22)$$

Nesta, o valor da ondulação geoidal (N) é expresso em função das coordenadas plano retangulares falso Este (E) e falso Norte (N').

Neste trabalho, foram utilizados três tipos de modelos de ondulação geoidal:

- a) o modelo utilizado pelos receptores de navegação modelo 12XL da Garmin;
- b) o modelo disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (MAPGEO2004);
- c) um dos modelos de ondulação geoidal empíricos locais, dentre os propostos em Carvalho (2004) e Galera (2000).

3.3 Modelos de Ondulação Geoidal

3.3.1 Modelo utilizado com receptor de navegação

As informações geradas pelo receptor de navegação são todas obtidas apenas através do código C/A, sendo que estes equipamentos não realizam processamento e posicionamento através da fase da portadora L1 ou L2. Além do que, essas informações do código C/A não são armazenadas para posterior correção diferencial. Desta forma, foi necessário utilizar um programa computacional, desenvolvido pelo Laboratório de Geomática do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, para capturar os dados do receptor GPS, em tempo real, com a opção de armazená-los em arquivo. Isto foi feito a partir da interface entre o receptor GPS de navegação modelo 12XL da Garmin, e um computador portátil, Figura 11.



Figura 11 – Receptor GPS de navegação conectado ao computador portátil e a antena.

A Figura 12 mostra a tela principal do programa, quando da coleta dos dados em tempo real.

Coleta de dados - Raw Garmin							
Gravar							
GPS 12XL SOFTWARE	4.58	VERBMAP S America City Data 2.01				Modelo 96	
Latitude	-29.18778420 *	Longitude	-54.86029491 *	Fix	3 D	EPH	4.045 m
Altitude h	423.973 m	Ond N	9.615 m	Altitude H	414.359 m	EPV	4.976 m
Data	25/07/2005	Hora	20:34:55	Datum	WGS 84	EPE	6.429 m

Figura 12 – Tela do programa que captura os dados do receptor Garmin 12 XL.

O programa mostra na primeira linha da tela de interação com o usuário, o modelo do GPS utilizado, o software residente no receptor e sua versão.

Na segunda linha, podem ser vistos a latitude, a longitude do ponto, o tipo de posicionamento, se bidimensional (2D) ou tridimensional (3D), e a estimativa do erro na posição horizontal (EPH). Na terceira linha, pode ser visto a altitude elipsoidal (h), a ondulação geoidal (Ond N), a altitude ortométrica (H) e a estimativa do erro na posição vertical (EPV).

Na quarta e última linha, pode-se ver a data e a hora do rastreamento, o Datum escolhido, neste caso WGS84, e a estimativa do erro tridimensional do ponto (EPE).

Na barra de menus, a opção gravar, armazena os dados coletados em tempo real para posterior pós-processamento dos pontos rastreados.

As coordenadas tridimensionais dos pontos rastreados com o receptor de navegação foram obtidas a partir dos dados coletados a campo, corrigidos diferencialmente pelo método relativo estático, utilizando como base um receptor posicionado em coordenadas conhecidas dentro da poligonal teste.

3.3.2 MAPGEO2004

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibiliza um sistema de interpolação de ondulação geoidal, denominado de MAPGEO2004, cuja tela principal pode ser vista na Figura 13.

A ondulação geoidal, obtida por este software, é determinado em função das coordenadas curvilíneas (latitude, longitude).



Figura 13 – Tela do programa MAPGEO2004.

O programa permite a entrada de dados (longitude e latitude), no formato de graus e frações de grau, ou, no formato graus, minutos e segundos, via teclado, ideal para um pequeno número de pontos ou via arquivo, para a obtenção de valores de ondulação geoidal de um maior número de pontos.

O sistema de interpolação de ondulação geoidal permite que os resultados obtidos possam ser expressos em relação ao sistema de referência SAD69 (South American Datum) ou ao SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico da América do Sul).

3.3.3 Modelos locais empíricos

Para a obtenção dos modelos de ondulação geoidal local empíricos, foi utilizado um programa computacional (MGLE) desenvolvido no Laboratório de Geomática do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, Figura 14. Carvalho (2004) verificou que este programa é eficiente na geração de modelos de ondulação geoidal em pequenas bacias hidrográficas.

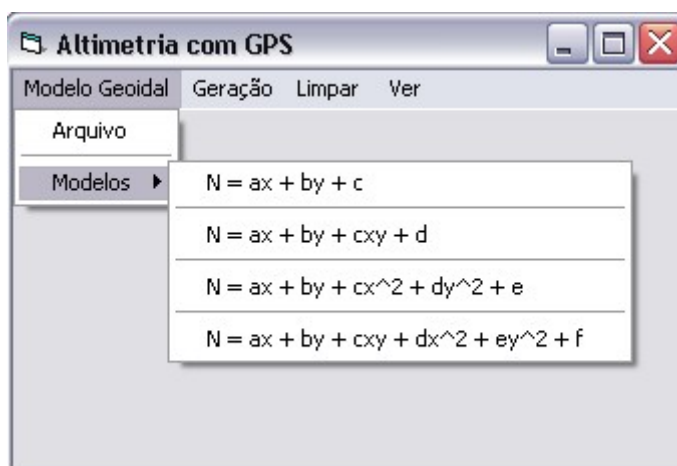


Figura 14 – Tela do programa MGLE.

Foram utilizados quatro modelos empíricos locais disponíveis, para representar a ondulação geoidal N , que podem ser vistos na tela principal do programa.

Os modelos de ondulação geoidal local empíricos utilizados neste trabalho foram identificados, segundo a Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de modelos de ondulação geoidal locais empíricos disponíveis no programa MGLE.

Modelo	Expressão matemática
MGLE 1	$N = ax + by + c$
MGLE 2	$N = ax + by + cxy + d$
MGLE 3	$N = ax + by + cx^2 + dy^2 + e$
MGLE 4	$N = ax + by + cx^2 + dy^2 + exy + f$

Nas expressões matemáticas dos modelos utilizados N é a ondulação geoidal local e os parâmetros a , b , c , d , e e f são coeficientes dos diferentes modelos matemáticos que foram obtidos pelo método dos mínimos quadrados (MMQ).

O valor da variável $x = E - E_r$ representa a diferença entre a coordenada plana E do ponto considerado e a coordenada plana E_r do Ponto 00.

O valor da variável $y = N' - N_r$, representa a diferença entre a coordenada plana N' do ponto considerado e a coordenada plana N_r do Ponto 00, sendo o valor de $E_r = 705669,003\text{m}$ e o de $N_r = 6768939,087\text{ m}$ (SAD69).

Para determinar os coeficientes dos diferentes modelos de ondulação geoidal empíricos, foram utilizados 20 (vinte) pontos, distribuídos na área de interesse.

Para testar os diferentes tipos de modelos de ondulação geoidal empíricos e selecionar o modelo que melhor ajuste apresentou aos dados de campo, foram utilizados outros 20 (vinte) pontos, distribuídos na área em estudo.

3.4 Geração de altitudes a partir dos modelos de ondulação

3.4.1 Altitudes ortométricas via modelo do Garmin 12XL (modelo 1).

Os valores das alturas ortométricas, resultantes desse método, foram obtidos após o processamento diferencial dos dados fornecidos por um receptor GPS de navegação modelo Garmin 12XL, posicionado no marco de precisão (Ponto 00) e os dados coletados por um outro receptor GPS, de mesmo modelo, nos diferentes pontos de interesse.

Após o processamento diferencial dos arquivos, obteve-se a latitude, a longitude, a altitude elipsoidal e a altitude ortométrica de cada ponto.

3.4.2 Altitudes ortométricas via MAPGEO2004 (modelo 2).

Os valores das alturas ortométricas fornecidas por esse método foram obtidas em duas etapas.

A primeira etapa foi a obtenção das coordenadas geodésicas (latitude e longitude) após o processamento diferencial dos dados obtidos por um receptor GPS posicionado no marco de precisão (Ponto 00) e os dados coletados por outro receptor GPS nos diferentes pontos de interesse.

A partir da latitude, longitude e altura elipsoidal corrigidas diferencialmente, foi utilizado o programa MAPGEO2004, para a obtenção da ondulação geoidal de cada ponto.

As altitudes ortométricas dos pontos foram obtidas a partir das alturas elipsoidais resultantes da correção diferencial GPS e das ondulações geoidais, através do MAPGEO2004 por $H = h - N$ (equação 22).

3.4.3 Altitudes ortométricas via modelo local empírico (modelo3).

Após a transformação das coordenadas curvilíneas (latitude e longitude) em coordenadas plano retangulares (E, N'), pode-se com o modelo empírico adequado,

determinar as ondulações geoidais dos pontos de interesse. O modelo utilizado foi o MGLE1, onde os parâmetros a , b e c obtiveram o melhor ajuste entre os modelos obtidos através do método dos mínimos quadrados (MMQ).

O procedimento para a determinação das altitudes ortométricas novamente foi utilizando a expressão $H = h - N$.

3.5 Análise dos resultados

A análise dos dados foi executada utilizando-se do Programa estatístico TableCurve 2D, e a tabulação dos dados em Planilha eletrônica Excel 2003, através do seguinte roteiro:

3.5.1 Altitudes ortométricas via modelo do Garmin 12XL

A análise dos resultados foi feita através do modelo de regressão linear ($Hg1 = a_0 + b_0.H$) entre os valores das altitudes ortométricas transformadas, via modelo de ondulação geoidal residente no receptor Garmin 12XL ($Hg1$) e os valores das altitudes ortométricas obtidas por nivelamento tradicional (H).

3.5.2 Altitudes ortométricas via MAPGEO2004

A análise dos resultados foi feita através do modelo de regressão linear ($Hg2 = a_0 + b_0.H$) entre os valores das altitudes ortométricas transformadas, via MAPGEO2004 ($Hg2$), e os valores das altitudes ortométricas obtidas por nivelamento tradicional (H).

3.5.3 Altitudes ortométricas via modelo local empírico

A análise dos resultados foi feita através do modelo de regressão linear ($Hg3 = a_0 + b_0.H$) entre os valores das altitudes ortométricas transformadas, via modelo de ondulação geoidal ($Hg3$), e os valores das altitudes ortométricas obtidas por nivelamento tradicional (H), para apenas o modelo empírico de ondulação geoidal que apresentou melhor desempenho (MGLE1).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Comportamento dos métodos quanto à altitude ortométrica

As Figuras 15 a 17 possibilitam uma análise dos métodos testados, para a determinação da altitude ortométrica no local do experimento, em relação à testemunha (nivelamento convencional). Já as Figuras 18 a 20 demonstram graficamente os resultados dos ajustes entre os diferentes métodos testados para o local do experimento. Pode-se dizer que os métodos testados são iguais estatisticamente, se a inclinação da reta for 45° . Isto é, no modelo testado $H_g = a + b.H$, o valor da constante a não deve diferir estatisticamente de 0, ao mesmo tempo em que, o coeficiente b não difere de 1.

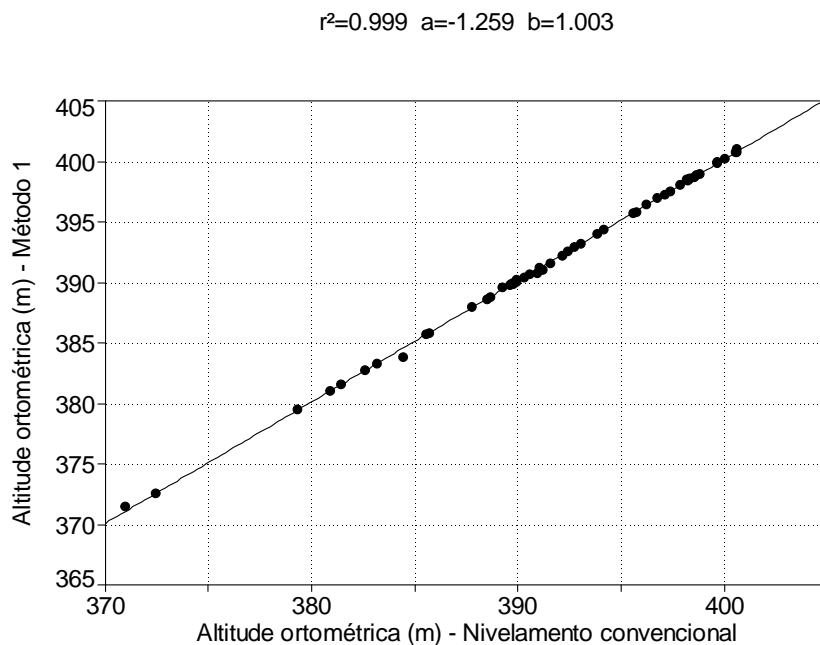


Figura 15 - Regressão linear entre as altitudes ortométricas produzidas pelo GPS de navegação modelo Garmin 12XL (M1) e nívelamento convencional (NC).

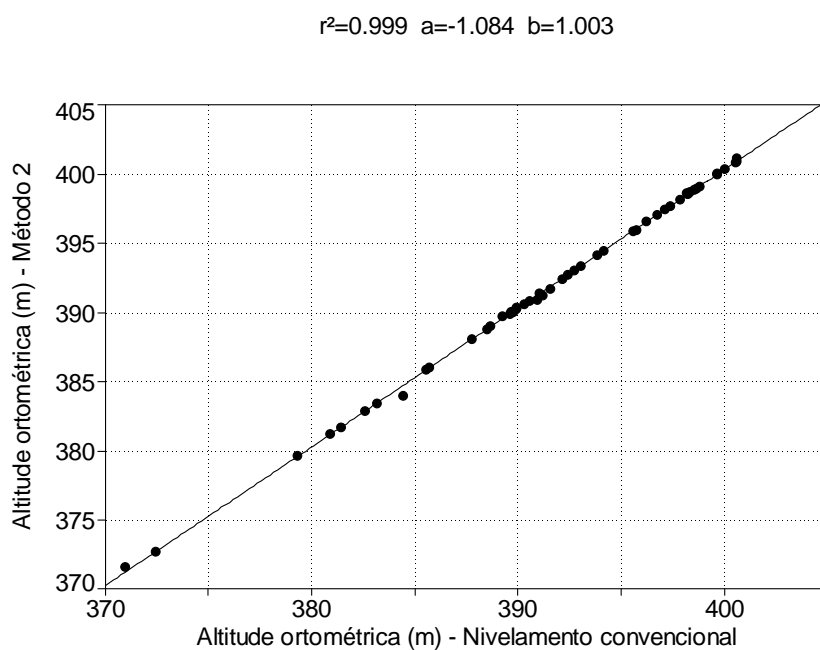


Figura 16 - Resultado do ajuste linear entre o método de cálculo da ondulação geoidal MAPGEO2004 (M2) e o nivelamento convencional (NC) e realizado por nível ótico de precisão.

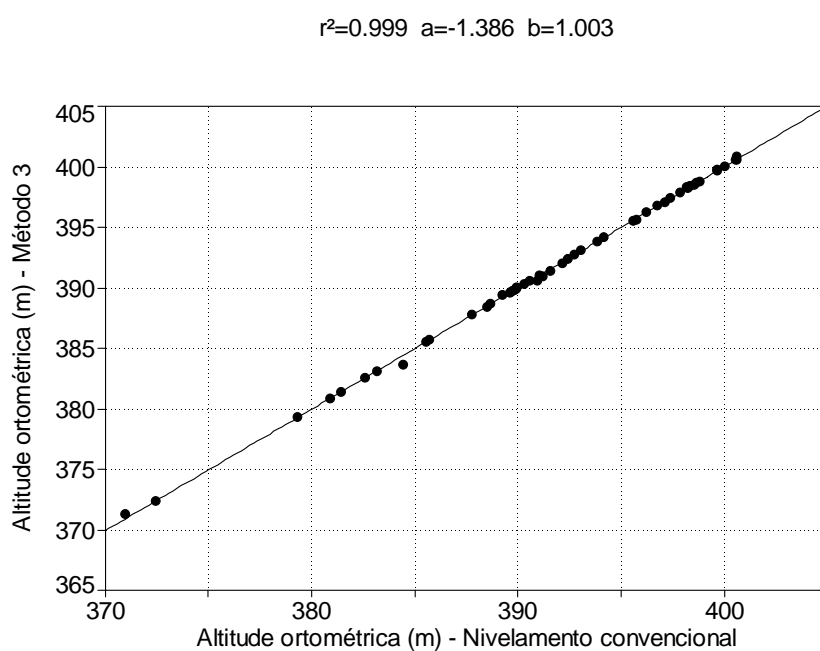


Figura 17 – Regressão linear entre as altitudes ortométricas produzidas pelo método empírico (M3) e nivelamento tradicional (NC).

Verifica-se em todas as três figuras um ótimo ajuste entre as altitudes ortométricas, oriundas dos modelos de ondulação geoidal testados, e o nivelamento conduzido em topografia convencional com nível de precisão. Os valores de coeficiente de determinação (r^2) encontrados foram todos de 0,999. Por sua vez, os valores da constante de reta a variaram de -1,386 à -1,084. Já os valores do coeficiente b foram da mesma forma idênticos com valor de 1.003.

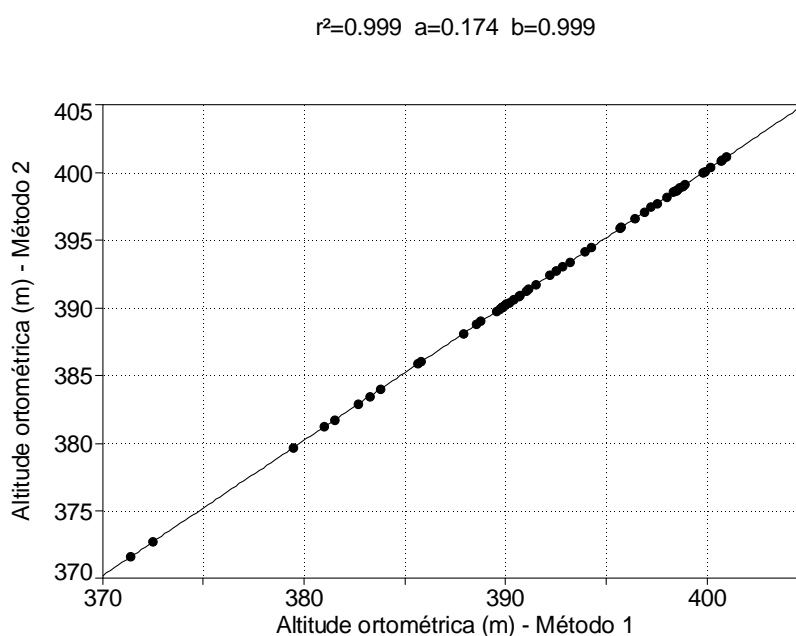


Figura 18 – Ajuste linear entre os valores de altitude ortométrica obtidos pelo método 1 com GPS de navegação (M1) e o método 2 realizado com MAPGEO2004 (M2).

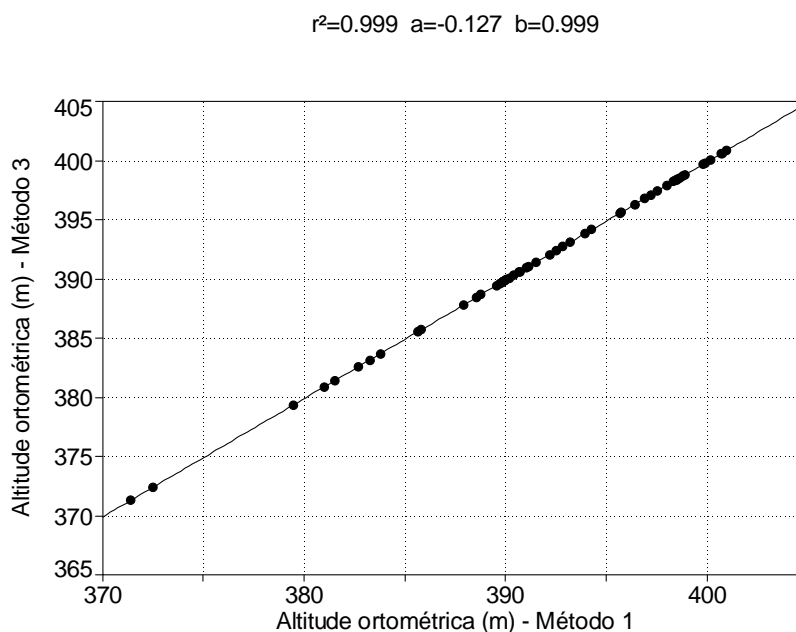


Figura 19 - Ajuste linear entre o método 1 a partir de GPS de navegação (M1) e o método 3 pelos modelos empíricos (M3).

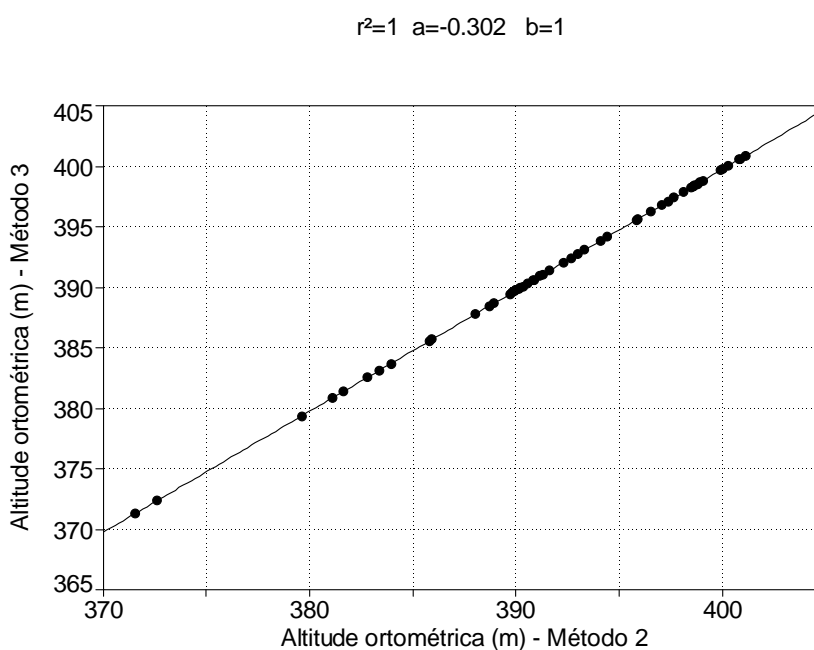


Figura 20 – Regressão linear entre o método 2 a partir do MAPGEO2004 (M2) e o método 3 pelos modelos empíricos (M3).

Quando as altitudes ortométricas determinadas através dos três modelos foram comparadas graficamente entre si, verificou-se um coeficiente de determinação (r^2) variando de 0,999 a 1. A constante de reta a esteve situada entre

0.174 e -0.302. Já os valores do coeficiente b obtidos tiveram pequena variação de 0,999 à 1.

4.2 Análise estatística

Na Tabela 2 estão os resultados estatísticos para as regressões realizadas entre os diferentes métodos. A coluna **a** representa os valores dos coeficientes lineares (a) encontrados para cada um dos seis ajustamentos testados, sendo que para um ajuste perfeito entre os métodos, este valor deveria estar próximo a 0. A coluna **b** traz os valores encontrados para os coeficientes angulares (b), sendo que para que o ajuste entre os modelos fosse de 1:1, o valor a ser encontrado teria de ser igual a 1.

Já na coluna r^2 , estão os valores de coeficiente de determinação encontrados para as diferentes regressões. Buscamos, neste caso, valores iguais a 1, que confirmariam existir alta correlação entre os valores testados. No entanto, é importante que seja realizado um teste estatístico dos valores de a e b das equações lineares ajustadas. Esse teste irá nos confirmar se realmente os dados encontrados para cada um dos métodos testados, além de possuírem correlação (confirmada por r^2), também são de mesma magnitude, sendo isso confirmado pelo teste estatístico de a e b, que irá demonstrar se os mesmos não diferem de 0 e 1, respectivamente.

Nas colunas $t_c(a)$ e $t_c(b)$ encontram-se os valores de t calculados para a e b. O teste de hipótese será feito com um valor de t tabelado de 2.006, a nível de 5% de significância e com 53 graus de liberdade, segundo Costa Neto(1977).

As duas ultimas colunas desta tabela trazem os resultados para os testes de hipóteses de a e b. Caso na coluna $a_{(0)}$ o valor da tabela seja igual a 1, o ajuste 1:1 entre os métodos já não será confirmado. Caso o valor de $a_{(0)}$ seja 0, e simultaneamente o valor de $b_{(0)}$ seja 1, temos uma inclinação de reta igual a 45° entre os métodos testados. Também será comprometido o ajuste 1:1 entre os métodos quando o valor encontrado na coluna $b_{(0)}$ for igual a 0.

Tabela 2 – Avaliação estatística da regressão linear entre os valores das altitudes ortométricas obtidas pelos métodos. Onde $GL=53$ e $t_{t\ 5\%}=2.006$ (COSTA NETO, 1977).

teste	Regressão ¹	a	b	r ²	t _c (a)	t _c (b)	a ₍₀₎	b ₍₁₎
1	NC x M1	-1.2594*	1.0035**	0.9996	1.10	1.19	0	1
2	NC x M2	-1.0848*	1.0034**	0.9996	0.95	1.16	0	1
3	NC x M3	-1.3868*	1.0034**	0.9996	1.21	1.16	0	1
4	M1 x M2	0.1745	0.9999	1.0000	12.40	2.52	1	0
5	M1 x M3	-0.1275	0.9999	1.0000	9.05	2.52	1	0
6	M2 x M3	-0.3020*	1.0000**	1.0000	0.00	0.00	0	1

¹M1 = método 1 Garmin 12 XL, M2 = método 2 MAPGEO2004, M3 = método 3 modelos empíricos, NC = nivelamento convencional

* valores de *a* não diferem de 0 a nível de 5% de significância.

** valores de *b* não diferem de 1 a nível de 5% de significância.

Chama atenção o excelente resultado alcançado pelas comparações se levarmos em consideração o coeficiente de determinação (r^2), o qual variou de 0,9996 até 1, nos testes.

Os valores de $t(a)$ e $t(b)$ para os testes 1, 2, 3 e 6 são menores do que 2.006. Assim, aceitamos a hipótese H_0 de que os valores de *a* e *b* encontrados nesses testes não diferem estatisticamente de 0 e 1 a nível de 5% de significância, respectivamente.

5 CONCLUSÃO

De acordo com a análise dos resultados obtidos e para as condições em que o trabalho foi realizado, pode-se concluir que a metodologia proposta foi capaz demonstrar que:

a) As altitudes ortométricas determinadas através do modelo empírico de ondulação geoidal local e o modelo inerente aos receptores GPS de navegação GARMIN apresentam alta correlação;

b) Os coeficientes angular e linear da reta ajustada entre os modelos empírico e de ondulação geoidal diferem estatisticamente ao nível de significância testado de 1 e 0, respectivamente. Sendo necessário o uso da equação proposta para transformar a altitude ortométrica entre os métodos testados.

c) As altitudes ortométricas determinadas através do modelo empírico de ondulação geoidal local e o sistema MAPGEO 2004 são iguais ao nível de significância testado.

Como já mencionado, os resultados foram encontrados especificamente a partir desta metodologia adotada para o estudo. Recomenda-se que outros trabalhos sejam conduzidos, buscando explorar as potencialidades do sistema GPS através do uso de receptores de navegação. Visando principalmente a coleta e armazenamento dos dados de código C/A e da portadora L1. Utilizando destes receptores de baixo custo para posterior correção diferencial, conduzindo a resultados mais precisos.

6 REFERÊNCIAS

ARANA, J. M. O uso do GPS na elaboração de carta geoidal. 2000. 300f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

AUGUSTO, Eduardo Agostinho Arruda. Infraestrutura geoespacial brasileira moderniza-se. **InfoGPS**, Curitiba, nº2, p. 26-28, 2005

BERALDO, P.; SOARES, S. M. **GPS introdução e aplicações práticas**. Ed. Luana Ltda. Brasília. 1995. 86 p.

BORGES, A. C. **Topografia aplicada a engenharia civil**, ed. Edgard Blücher, 1999. 224p.

BRANDÃO, A. C. Carta Geoidal dos Municípios de Salvador e Lauro de Freitas / Bahia - Resultados Preliminares. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 1999, Recife-PE, **Anais...** Sociedade Brasileira de Cartografia, 1999.

CAMARGO, O. P.; MONICO, J. F. G.; FERREIRA, L. D. D. Influência da ionosfera no posicionamento por ponto com GPS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 5., 2000. Florianópolis. **Anais...**Santa Catarina: CIASC, 2000. p. 1-12.

CARVALHO, L.F.D. de, **Altimetria de pequenas barragens com o sistema de posicionamento global**. Dissertação(Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

COELHO, A.C.S.; ANGULO FILHO, E.R., Avaliação do desempenho de receptores gps em levantamentos altimétricos. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, **Anais...** Piracicaba: Simpósio Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2004.

COSTA NETO, P. O. **Estatística**. São Paulo, Edgard Blucher. p. 178-228, 1997.

CORSEUIL, C. W.; ROBAINA, A.D., Determinação altimétrica através do sistema de posicionamento global. *Ciência Rural*, v.33, n.5, p.673-678, jul-ago. 2003

EUROPEAN SPACE AGENCY – ESA, 2005. Disponível em http://www.esa.int/esaNA/GGG63950NDC_index0.html
Acessado em: 12 set. 2005.

EUROPEAN COMMUNITIES, 2005. Disponível em http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/indexen.htm
Acessado em: 12 set. 2005.

FORTES, L. P. S. Especificações e norma gerais para levantamentos GPS. **Fator GIS**, Curitiba, n. 05, p. 31-34, 1994.

GARNÉS, S. J. dos A.; KRUEGER, C. P. & SAMPAIO, R. J. B. Determinação das ambigüidades GPS mediante análise do número de épocas e geometria dos satélites. In: II SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE AGRIMENSURA E CARTOGRAFIA. **Anais...** Foz do Iguaçu: II Simpósio Latino Americano de Agrimensura e Cartografia, 2000.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba. Ed. UFPR Curitiba, 1994. 283p.

GODOY, R. **Topografia Básica**. 2º ed. São Paulo: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1983.

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

ISHIKAWA, M. I.; ITAME, O. Y. Efeitos de multicaminhamento em levantamentos utilizando GPS aplicados ao cadastro técnico urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 5, 2000. Florianópolis. **Anais...**Santa Catarina: CIASC, 2000. P. 1-10

LOCH, C.; CORDINI, J. **Topografia contemporânea: planimetria**. Florianópolis: UFSC. 1995. 320p.

MARQUES, A. B. & SAMPAIO, A. C. F. Modelagem digital de terreno com GPS. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA. Recife, Pernambuco. 1999.

MEREGE FILHO, P. A confiabilidade de altitudes determinadas com GPS. **Fator GIS**, Curitiba, n. 03, p. 16-17, 1993.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR GPS**: descrição, fundamentos e aplicações, editora UNESP, 2000, 287 p.

MAIA, T. C. B. **Estudo e análise de poligonais segundo a NBR 13.133 e o sistema de posicionamento global**. São Carlos: USP, 1999. 176f. Dissertação (Mestrado em Transporte) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 1999.

ROBAINA, A.D. **Curso Georeferenciamento de Imóveis Rurais Lei Nº10267**. Centro de Ciências Rurais. Departamento de Engenharia Rural. Santa Maria. 2004

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

SILVA, A. J. P. **O uso do GPS nas medições geodésicas de curta distância**. Curitiba: UFPR, 1990. 180 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.

SILVA, A. S. Global positioning system. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE AGRIMENSURA E CARTOGRAFIA, 1997, Foz do Iguaçu. 117p.

STEDILE, P. A revolução GNSS. **InfoGPS**, nº09, p. 19-22, 2005.

SILVA, A. S. **Global positioning system**. Universidade de Viçosa. Viçosa. MG. 1997. 117p.

PESSOA, L. M. C. Posicionamento GPS centimétrico em tempo real. **Fator GIS**, Curitiba , n 11, p. 44-47, 1995.

TEIXEIRA, N. N.; FERREIRA; L. D. D. & GARNÉS, S., J. A. **Carta Geoidal de Belo Horizonte**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 5, 2000. Florianópolis. **Anais...**Santa Catarina: CIASC, 2000.

ANEXO

ANEXO A – Monografia do Marco pertencente à Rede Estadual Passiva.

Município de SANTIAGO		
Código: 91988 Nome: 91988 UF: RS		
DADOS PLANIMETRICOS		
Latitude : 29 11 28.1534 S Longitude: 54 53 06.0777 w Sigma Lat: 0.003 m Sigma Lon: 0.010 m	UTM(N): 6768973.007 UTM(E): 705644.015 Fator Escala: 1.00012187 Conv.M.Plana: -01 01 53	MC: 57 Medicao: ABR/2002 Ajuste: SET/2002 Datum : SAD-69
DADOS ALTIMETRICOS		
Altitude : 392.50 m Classe : Sat,lite	Datum: Imbituba	Medicao: ABR/2002 Ajuste:
SITUACAO DOS MARCOS		
Ultima Visita: ABR/2002 Principal: Bom Azimute: Seg./Prof.:	Ref.1/A: Ref.2/B: Ref.3/C:	
MEMORIAL DESCRITIVO		
<p>LOCALIZACAO</p> <p>A ESTACAO ESTA LOCALIZADA NO CAMPUS DA URI-UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSOES. ESTA NO MEIO DE UMA PLANTACAO, MAIS OU MENOS 180 M AO NORTE DO MARCO CARAVELA 500 ANOS E DO MARCO PEDRA FUNDAMENTAL, SITUADOS NA ENTRADA DO CAMPUS. O CAMPUS SITUA-SE NA RUA BATISTA BONOTTO SOBRINHO, NA CIDADE DE SANTIAGO/RS.</p> <p>DESCRICAO</p> <p>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 DE 1,90 M X 1,90 M X 0,30 M, POSSUI NO TOPO UMA PLACA METALICA COM UM PINO DE CENTRAGEM FORCADA COM ROSCA UNIVERSAL. FOI CRAVADA NA PARTE NORTE DO PILAR UMA CHAPA DE METAL PADRAO IBGE E NELA FOI ESTAMPADO: SAT-91988.</p> <p>ITINERARIO</p> <p>ESTANDO NA CIDADE DE SANTIAGO, LOCALIZAR O CAMPUS DA URI-UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSOES, LOCAL DA ESTACAO.</p> <p>OBSERVACAO</p> <p>CONHECEDOR DA ESTACAO PROFESSOR CLOVIS FERNANDO BEN BRUM. TELEFONE PARA CONTATO: (55) 251.3151 E (55) 9979-3406. A ESTACAO TEM CONDICoes DE ENERGIA ELETRICA UTILIZANDO UMA EXTENSAO DE 180 M.</p>		

APÊNDICES

APÊNDICE A – Planilha de levantamento caminhamento perimétrico

CR - TPO 7.0 - Planilha de Cálculo: Caminhamento perimétrico

Vértice	Código	Ângulo	Distância	Azimute	Projeções Compensadas			
					Eixo X	Eixo Y	Ordenadas	
1	MG	190.1045	119.877	41.5822	80.1834	89.1224	0.0000	0.0000
2	01	112.3900	113.837	334.3720	-48.7813	102.8500	80.1834	89.1224
3	02	131.1410	68.126	285.5126	-65.5234	18.6146	31.4021	191.9724
4	03	119.0850	242.263	225.0015	-171.2922	-171.2963	-34.1213	210.5869
5	04	191.4545	48.057	236.4553	-40.1899	-26.3396	-205.4134	39.2906
6	05	125.0210	101.341	181.4800	-3.1829	-101.2929	-245.6034	12.9511
7	06	168.4600	156.768	170.3358	25.6996	-154.6507	-248.7862	-88.3418
8	07	168.2605	41.187	158.5955	14.7633	-38.4518	-223.0867	-242.9926
9	08	117.4715	101.145	156.4707	39.8753	-92.9575	-208.3234	-281.4443
10	09	182.3940	60.169	159.2641	21.1292	-56.3394	-168.4481	-374.4018
11	10	121.2335	243.921	100.5015	239.6075	-45.8641	-147.3189	-430.7411
12	11	102.4100	93.664	23.3113	37.3846	85.8807	92.2886	-476.6052
13	12	170.2205	74.609	13.5314	17.9096	72.4268	129.6732	-390.7245
14	13	124.5035	100.672	318.4346	-66.3945	75.6640	147.5828	-318.2977
15	14	173.4425	64.243	312.2806	-47.3816	43.3749	81.1883	-242.6337
16	15	170.5350	133.795	303.2153	-111.7264	73.5816	33.8067	-199.2587
17	16	268.2550	147.868	31.4740	77.9197	125.6771	-77.9197	-125.6771
					554.3866	687.2051		
					-554.5577	-687.1791		
					-0.1710	0.0260		
					157432.5			
Área da Poligonal (m²):								
Tipo de Compensação:				Compensação nas projeções				
Erro Linear (m/km):				0.095				
Soma dos Ângulos Lidos:				2700.01				
Soma Angular da Poligonal:				2700				
Soma das Distâncias (m):				1911.54				

APÊNDICE B – Planilha de campo - nivelamento.

PV	Ré	Cota Nivel	Vante	Cota
MG	0.513	393.233		392.720
4			3.544	389.689
MG	0.559	393.279		
4			3.588	389.691
0A			2.346	390.933
1	1.485	391.074		389.589
3A	0.180	388.696	2.558	388.516
aux1	0.298	385.637	3.357	385.339
2			1.205	384.432
aux2	0.509	382.544	3.602	382.035
3			3.225	379.319
4	3.024	392.714		389.690
5			1.511	391.203
6	1.495	391.429	2.780	389.934
7			1.148	390.281
MG			2.758	388.671
7	1.484	391.765		390.281
8	0.424	390.279	1.910	389.855
aux3	1.189	388.336	3.132	387.147
9			2.787	385.549
aux4	0.285	385.084	3.537	384.799
aux4	3.312	384.726		384.799
aux5			3.670	381.414
10			3.811	380.915
aux6	3.953	388.566	0.113	384.613
aux7	3.339	391.809	0.096	388.470
10a	3.900	395.434	0.275	391.534
aux8	3.164	398.274	0.324	395.110
11			1.521	396.753
aux9	3.584	401.555	0.303	397.971
12	1.759	402.362	0.952	400.603
13			1.827	400.535
			1.808	400.554
13	1.405	401.940		400.535
14	0.782	399.099	3.623	398.317
15			1.244	397.855
16			3.547	395.552
MG	2.887	395.607		392.720
16			0.046	395.561
MG	3.068	395.788		392.720
16			0.227	395.561
16	1.695	397.256	0.158	395.561
marco azul				397.098
16	1.986	397.547		395.561
marco azul			0.450	397.097
MG	0.209	392.929		392.720
1			3.341	389.588
MG	0.239	392.959		392.720
1			3.369	389.590

0B"			2.410	390.549
	1.291	394.011		392.720
MG			0.945	393.066
0C"				
<hr/>				
			16	395.561
				395.552
				0.009
			p/km	0.005