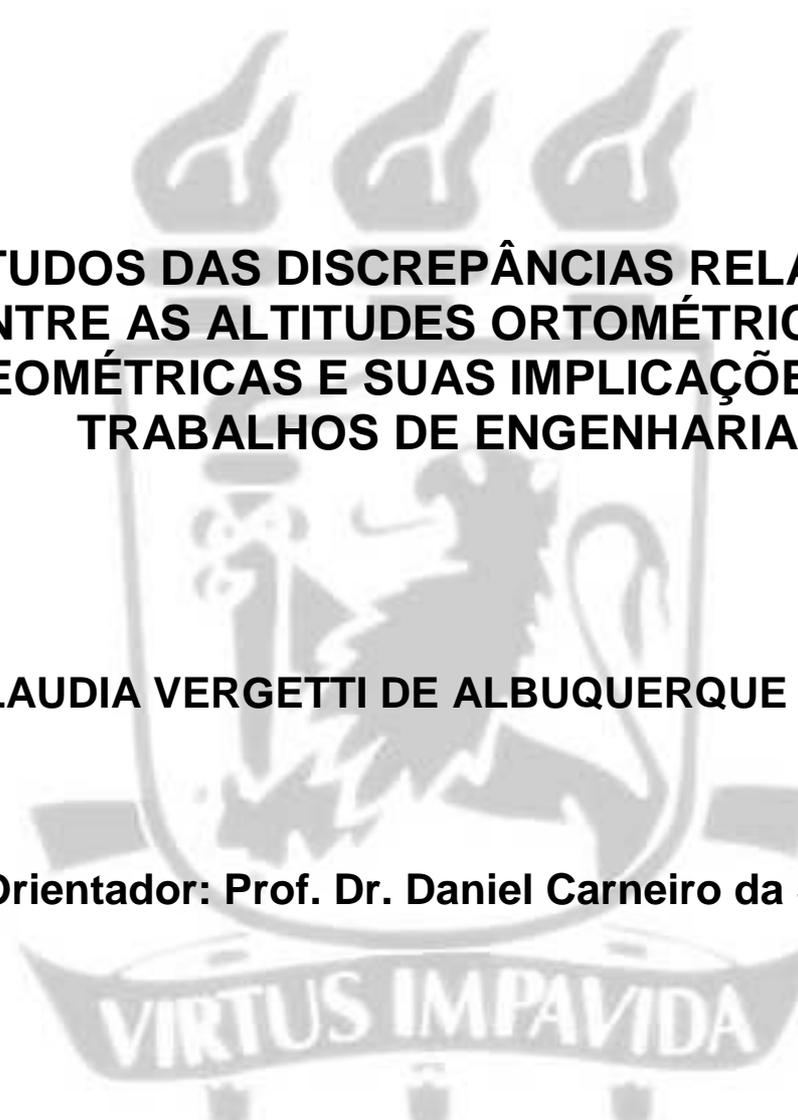

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO



ESTUDOS DAS DISCREPÂNCIAS RELATIVAS
ENTRE AS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS E
GEOMÉTRICAS E SUAS IMPLICAÇÕES EM
TRABALHOS DE ENGENHARIA

CLAUDIA VERGETTI DE ALBUQUERQUE SILVA

Orientador: Prof. Dr. Daniel Carneiro da Silva

Dissertação de Mestrado

Recife, 2012

Claudia Vergetti de Albuquerque Silva

**ESTUDOS DAS DISCREPÂNCIAS RELATIVAS ENTRE AS
ALTITUDES ORTOMÉTRICAS E GEOMÉTRICAS E SUAS
IMPLICAÇÕES EM TRABALHOS DE ENGENHARIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação, defendida e aprovada no dia 10/09/2012.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Carneiro da Silva

Recife
2012

Catálogo na fonte
Bibliotecário Marcos Aurélio Soares da Silva, CRB-4 / 1175

S586e Silva, Claudia Vergetti de Albuquerque.
Estudos das discrepâncias relativas entre as altitudes ortométricas e geométricas e suas implicações em trabalhos de Engenharia / Claudia Vergetti de Albuquerque Silva. - Recife: O Autor, 2012.
xxi, 130 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof^o Dr^o. Daniel Carneiro da Silva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2012.
Inclui Referências e Apêndices.

1. Ciências Geodésicas. 2. Altitude Geométrica. 3. Altitude Ortométrica. 4. Ondulação Geoidal. 5. Posicionamento GNSS. I. Silva, Daniel Carneiro da (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2013-007

**ESTUDO DAS DISCREPÂNCIAS RELATIVAS ENTRE AS ALTITUDES
ORTOMÉTRICAS E GEOMÉTRICAS E SUAS IMPLICAÇÕES EM
TRABALHO DE ENGENHARIA**

POR

CLAUDIA VERGETTI DE ALBUQUERQUE SILVA

Dissertação defendida e aprovada em 10/09/2012.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. DANIEL CARNEIRO DA SILVA
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. HAROLDO ANTONIO MARQUES
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. SÍLVIO JACKS DOS ANJOS GARNÉS
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação a minha mãe, Maria Auxiliadora, mais conhecida por “Dora”, a meu marido Roberval, e a meus filhos, Tatiana e Gabriel que são a minha fonte de energia, força e superação.

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos vão para todos que trabalharam direta ou indiretamente nesta minha dissertação.

Agradeço a todos os professores e colaboradores abaixo relacionados.

A professora Andréia de Seixas, pois foi a primeira pessoa que me incentivou e ajudou direta e indiretamente a tornar realidade esse mestrado.

Ao professor Sílvio Jacks por todas as horas que me ajudou com os seus conhecimentos, participando ativamente dos trabalhos de campo e por ter permitido o uso de seu programa AstGeoTop para testar os resultados desta pesquisa.

A Lucilene, à Ana Lúcia e todos os professores da pós-graduação pelo carinho e incentivo dentro do departamento.

Ao colega Vitor por ter cedido os resultados dos nivelamentos geométricos de seu Trabalho de Conclusão de Curso e por ter ajudado nos trabalhos de campo.

Aos colegas do mestrado que participaram da disciplina de Levantamentos Geodésicos, Ana, Rejane e Alexandre que contribuíram com dados para esta pesquisa.

A Erison, Tatiane, Wendson, Charles e a todos os colegas do mestrado que me incentivaram e ajudaram de forma direta e indireta na conclusão desta pesquisa.

A Fagner e Natan, amigos que me ajudaram nesta minha tarefa.

A Daniel Carneiro da Silva, meu professor orientador.

A Eduardo de Castro Melloni, engenheiro do consórcio Logos-Concremat, encarregado de fiscalizar a parte de levantamentos e controle dos trabalhos topográficos da transposição do rio São Francisco, por ter cedido os dados do levantamento do rio São Francisco para análise nesta pesquisa.

Ao meu marido, Roberval, pelo carinho, apoio e incentivo durante todo o mestrado. E aos meus filhos, Tatiana e Gabriel, que, juntamente com Roberval, foram os que mais se privaram da minha companhia durante todo o curso.

O conhecimento não é monopólio de
ninguém, é patrimônio comum dos dedicados.

(Autor desconhecido).

SUMÁRIO

RESUMO	X
ABSTRACT	XI
SUMÁRIO	VIII
LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE GRÁFICOS	XVII
LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS	XVIII
LISTA DE SÍMBOLOS	XX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo	4
1.2. Estruturação do Trabalho.....	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1. Elementos de Geodésia	5
2.1.1. Forma da Terra e Superfícies de Referências	5
2.1.2. Sistema Geodésico Brasileiro	8
2.1.3. Datum Vertical	10
2.1.4. Métodos de Posicionamento por Satélites	11
2.1.5. Fontes de Erros.....	15
2.1.5.1. Erro na Posição Orbital.....	16
2.1.5.2. Erro do Relógio do Satélite.....	16
2.1.5.3. Relatividade.....	17
2.1.5.4. Atraso do Hardware	17
2.1.5.5. Erro entre Canais (Interchannel Biases)	17
2.1.5.6. Erro do Relógio do Receptor	18
2.1.5.7. Ruído no Receptor.....	18
2.1.5.8. Variação do Centro de Fase.....	18
2.1.5.9. Refração Ionosférica.....	22
2.1.5.10. Refração Troposférica	25
2.1.5.11. Multicaminho	26
2.1.6. Determinação de Coordenadas.....	28
2.1.6.1. Equação da Pseudodistância	28
2.1.6.2. Equação de Observação da Fase da Portadora	30

2.1.6.3. Combinação Linear das Observáveis	33
a) Combinação Linear das Observáveis L1 e L2.....	33
b) Combinação Linear da Simples Diferença	35
c) Combinação Linear da Dupla Diferença	36
d) Combinação Linear da Tripla Diferença	37
2.1.6.4. Modelos Estocásticos de Ajustamento	38
2.1.7. Tipos de Altitudes.....	39
2.1.8. Precisão e Acurácia.....	45
2.2. Padrões e Especificações de Elementos Altimétricos em Obras de Engenharia Civil	47
2.2.1. Obras de Saneamento Básico.....	47
2.2.2. Drenagem de Pavimentos de Rodovias e Aeródromos.....	48
2.2.3. Projetos de Loteamento	51
2.2.4. Recomendações Gerais para Projetos de Engenharia do FGDC.....	51
3. ESTUDO DE CASOS	53
3.1. Estudo da área da UFPE (Caso 1).....	55
3.1.1. Recursos Materiais	55
3.1.2. Metodologia de Levantamento dos Pontos da UFPE	57
3.1.2.1. Pontos da rede	57
3.1.2.2. Nivelamento Geométrico	57
3.1.2.3. Levantamento com GNSS.....	58
3.2. Estudo da área da Transposição do Rio São Francisco (Caso 2).....	59
3.3. Resultados e Discursões	59
3.3.1. Resultado do Estudo do Caso 1	60
3.3.1.1. Levantamento Estático.....	62
3.3.1.2. Levantamento RTK	68
3.3.1.3. Cálculo da Ondulação Geoidal.....	70
3.3.1.4. Resumo de Discussão dos Resultados do Caso 1	81
3.3.2. Resultado do Estudo do Caso 2.....	82
3.3.3. Interpretação dos Resultados para Uso em Obras de Engenharia.....	88
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
APÊNDICE	99
MONOGRAFIA DAS RRNN IBGE.....	127

RESUMO

Silva, C. V. de A. - Estudo das discrepâncias relativas entre as altitudes ortométricas e geométricas e suas implicações em trabalhos de engenharia. Recife, 2012.

Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

Todas as obras de engenharia civil usam medidas de distâncias horizontais e verticais. No caso das verticais as diferenças de altura na maioria das obras podem ser apenas relativas, tem exigências de precisão variáveis que são mais rigorosas quando envolvem escoamento de líquidos, e são determinadas normalmente pelo método de nivelamento geométrico que fornece as altitudes ortométricas. Atualmente também estão se utilizando altitudes obtidas do GNSS (*Global Navigation Satellite System*) por questões de economia e produtividade nas obras, mas elas são medidas geométricas em relação à superfície de um elipsóide, sendo que para obras de drenagem e hidráulicas a referência adequada é uma superfície equipotencial da gravidade ou o geóide. A altitude ortométrica de um ponto também pode ser obtida através da altitude geométrica desde que se conheça a ondulação geoidal do mesmo. Como essa transformação contém os erros inerentes da determinação da ondulação geoidal essa metodologia tem sido questionada como não sendo confiável para uso em obras de engenharia civil. Este trabalho tem por finalidade analisar e propor o uso da altitude geométrica para obras de engenharia de modo direto, sem necessidade de ser feita a sua transformação para a altitude ortométrica. Para essas análises foram usados dois conjuntos de dados. Um foi de uma área levantada dentro e no entorno do perímetro da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco). O outro foi de dados obtidos no levantamento do trecho Norte do canal de Transposição do Rio São Francisco. Todos os dados foram analisados quanto ao processamento, precisões obtidas e procedimentos de campo para identificar os erros inerentes na obtenção da altitude geométrica. Finalmente são sugeridos alguns cuidados básicos, restrições e procedimentos no uso das altitudes geométricas em determinadas obras de engenharia civil.

Palavras-chave: Altitude geométrica, altitude ortométrica, ondulação geoidal, posicionamento GNSS.

ABSTRACT

All civil engineering works use measures of horizontal and vertical distances. In the case of vertical differences in height at most only works can be related, have varying accuracy requirements are more stringent when involve flowing fluids, and are typically determined by the method of leveling which provides the orthometric altitudes. Currently altitudes are also obtained using GNSS (Global Navigation Satellite System) for reasons of economy and productivity in the works, but they are geometric measurements from the surface of an ellipsoid, and for drainage and drain the proper reference is a equipotential surface of gravity or geoid. The orthometric height of a point can also be obtained through the geometric altitude since it knows the geoid undulation thereof. How this transformation contains the errors inherent in determining the geoidal undulation this methodology has been questioned as not being reliable for use in civil engineering works. This study aims to analyze and propose the use of geometric altitude for engineering works directly, without needing to be made to its transformation to orthometric altitude. For these analyzes we used two data sets. One was a raised area in and around the perimeter of UFPE (Universidade Federal de Pernambuco). The other data was obtained in the survey of the northern stretch of canal transposition of River São Francisco. All data were analyzed for processing accuracies obtained and field procedures to identify the errors inherent in obtaining the geometric altitude. Finally some basic care are suggested, restrictions and procedures in the use of geometric altitudes in certain civil engineering works.

Keywords: Geometric Altitude, Altitude orthometric, analysis of precision and GNSS positioning

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Elipsóide de Revolução (Diferença Entre a Esfera e o Elipsóide)
- Figura 2 – Representação das ondulações do geóide.
- Figura 3 – Posicionamento de um Ponto em Relação à Superfície de Referência.
- Figura 4 – Datum Vertical Brasileiro.
- Figura 5 – Arquitetura Conceitual Básica de um Receptor GNSS.
- Figura 6 – Posicionamento Absoluto Estático.
- Figura 7 – Posicionamento Relativo Estático.
- Figura 8 – Erros do GPS.
- Figura 9 – Pontos e Superfícies de Referência de uma Antena GNSS.
- Figura 10 – Pontos e Superfícies de Referência das Antenas GNSS Hiper Lite
- Figura 11 – Pontos e Superfícies de Referência da Antena GPS GTR-1
- Figura 12 – Variações do Centro de Fase
- Figura 13 – Regiões Geográficas da Ionosfera
- Figura 14 – Esquema Ilustrativo de um Sinal GPS se Propagando na Atmosfera.
- Figura 15 – Multicaminho
- Figura 16 – Medida com o Código
- Figura 17 – Medida com a fase portadora
- Figura 18 – Interpretação Geométrica da Ambiguidade GPS
- Figura 19 – Geometria da Simples Diferença de Fase Entre Receptores
- Figura 20 – Geometria da Dupla Diferença de Fase
- Figura 21 – Geometria da Tripla Diferença de Fase
- Figura 22 – Sistema de altitudes.
- Figura 23 – Lance no Nivelamento Geométrico.
- Figura 24 – Não Paralelismo das Superfícies Equipotenciais.
- Figura 25 – Relação Entre as Superfícies Física (Superfície Topográfica), Geoidal e Elipsoidal.
- Figura 26 – Interpretação dos Sinais da Ondulação Geoidal.
- Figura 27 – Interpretação do Termo Acurácia e Precisão.
- Figura 28 – Exemplo de Seção Transversal em Corte de uma Rodovia.
- Figura 29 – Área do caso 1 com os pontos medidos na pesquisa.

Figura 30 – Área do caso 2 com os pontos do trecho estudado nesta pesquisa (Eixo Norte da Transposição do Rio São Francisco).

Figura 31 – Linhas de Base dos Pontos do Caso 1

Figura 32 – Mapa da Ondulação Geoidal Local do Caso 1.

Figura 33 – Mapa da Ondulação Geoidal Local do Caso 1, sem o ponto M022.

Figura 34 – Mapa da Ondulação Geoidal MAPGEO2010 do Caso 1.

Figura 35 – Mapa da Ondulação Geoidal AstGeoTop do Caso 1.

Figura 36 – Mapa da Ondulação Geoidal MAPGEO2010 do Caso 2.

Figura 37 – Mapa da Ondulação Geoidal (ASTGEOTOP) do Caso 2.

Figura 38 A – Interpretação dos Resultados da Declividade da Ondulação Geoidal para uso em Engenharia (Projeto e Geoide com declividades contrárias).

Figura 38 B – Interpretação dos Resultados da Declividade da Ondulação Geoidal para uso em Engenharia (Projeto e Geoide com declividades no mesmo sentido)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características das Observáveis.

Tabela 2: Máximo Efeito Sistemático Vertical Devido à Ionosfera.

Tabela 3: Combinação Linear de Fases.

Tabela 4: Declividades Mínimas Conforme o Diâmetro.

Tabela 5: Código de Referência de Aeródromo

Tabela 6: Largura de Pistas de Pouso e Decolagem

Tabela 7: Recomendações de Precisão e Tolerâncias

Tabela 8: Coordenadas Geodésicas e Altitudes Ortométricas dos pontos medidos no caso 1

Tabela 9: Pontos levantados dia 30-04-2011 com o receptor GTR-1.

Tabela 10: Pontos levantados dia 30-04-2011 com o receptor HIPER LITE.

Tabela 11: Dados da Altitude Geométrica do Ponto M021 Processados no Ezsuv 2.4, Topcon Tools 8.2, GNSS Solutions (receptor HIPER LITE).

Tabela 12: Dados da Altitude Geométrica do Ponto RN3641 B Processados no Ezsuv 2.4, Topcon Tools 8.2, GNSS Solutions (receptor HIPER LITE).

Tabela 13: Dados da Altitude Geométrica do Ponto RN3641 C Processados no Ezsuv 2.4, Topcon Tools 8.2, GNSS Solutions (receptor HIPER LITE).

Tabela 14: Dados da Altitude Geométrica Ponto M032 Processado no Ezsuv 2.4, Topcon Tools 8.2 e GNSS Solutions (receptor HIPER LITE).

Tabela 15: Dados da Altitude Geométrica Ponto M033 Processado no Ezsuv 2.4, Topcon Tools 8.2 e GNSS Solutions (receptor HIPER LITE).

Tabela 16: Dados Obtidos com o Receptor HIPER LITE (RTK UFPE)

Tabela 17: Dados Obtidos com o Receptor HIPER LITE (RTKIFPE)

Tabela 18: Diferença entre a altitude ortométrica do ponto e a ortométrica lida no receptor nos dois pares HIPER LITE (UFPE e IFPE)

Tabela 19: Variação da Ondulação Geoidal para o receptor GTR-1 (30/04/2011).

Tabela 20: Variação da Ondulação Geoidal para o receptor HIPER LITE (30/04/2011).

Tabela 21: Variação da Ondulação Geoidal para o receptor HIPER LITE (14/05/2011).

Tabela 22: Variação da Ondulação Geoidal para o receptor HIPER LITE (11/06/2011).

Tabela 23 A: Matriz de Discrepâncias entre Soluções para cada Ponto Controle obtida com o Astgeotop para o Caso 1. (1º Parte)

Tabela 23 B: Matriz de Discrepâncias entre Soluções para cada Ponto Controle obtida com o Astgeotop para o Caso 1 (continuação)

Tabela 24: Coordenadas Planas (UTM) dos Pontos usados na Geração dos Mapas da Ondulação Geoidal Local da UFPE.

Tabela 25: Exemplo de Resultado da Análise de Detecção de Erros Grosseiros pelo Programa AstGeoTop

Tabela 26: Dados do caso 2 (Transposição do Rio São Francisco)

Tabela 27: Declividades críticas de obras de engenharia.

Tabela 28: Pontos levantados no dia 30-04-2011 pelo receptor GTR-1 e processado no programa EZSURV 2.4.

Tabela 29: Pontos levantados no dia 30-04-2011 pelo receptor HIPER LITE e processado no programa EZSURV 2.4.

Tabela 30: Pontos levantados no dia 30-04-2011 pelo receptor GTR-1 e processado no programa Topcon Tools 8.2.

Tabela 31: Pontos levantados no dia 30-04-2011 pelo receptor HIPER LITE e processado no programa Topcon Tools 8.2.

Tabela 32: Pontos levantados no dia 30-04-2011 pelo receptor GTR-1 e processado no programa GNSS Solutions.

Tabela 33: Pontos levantados no dia 30-04-2011 pelo receptor HIPER LITE e processado no programa GNSS Solutions.

Tabela 34: Pontos levantados no dia 14-05-2011 pelo receptor HIPER LITE e processado no programa EZSURV 2.4.

Tabela 35: Pontos levantados no dia 14-05-2011 pelo receptor HIPER LITE e processado no programa Topcon Tools 8.2.

Tabela 36: Pontos levantados no dia 14-05-2011 pelo receptor HIPER LITE e processado programa GNSS Solutions.

Tabela 37: Pontos levantados no dia 11-06-2011 pelo receptor HIPER LITE e processado no programa EZSURV 2.4.

Tabela 38: Pontos levantados no dia 11-06-2011 pelo receptor HIPER LITE e processado programa Topcon Tools 8.2.

Tabela 39: Pontos levantados no dia 11-06-2011 pelo receptor HIPER LITE e processado no programa GNSS Solutions.

Tabela 40: Discrepância entre as Diferenças de Nível no Ezsurv 2.4, no Topcon Tools 8.2 e no GNSS Solutions do dia 30-04-2011 pelo receptor GTR-1.

Tabela 41: Discrepância entre as Diferenças de Nível no Ezsurv 2.4, no Topcon Tools 8.2 e no GNSS Solutions do dia 30-04-2011 pelo receptor HIPER LITE.

Tabela 42: Discrepância entre as Diferenças de Nível no Ezsurv 2.4, no Topcon Tools 8.2 e no GNSS Solutions do dia 14-05-2011 pelo receptor HIPER LITE.

Tabela 43: Discrepância entre as Diferenças de Nível no Ezsurv 2.4, no Topcon Tools 8.2 e no GNSS Solutions do dia 11-06-2011 pelo receptor HIPER LITE.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Altitudes Geométricas, Ortométricas e a Ondulação Geoidal do lado A do canal (Caso 2).

Gráfico 2: Altitudes Geométricas, Ortométricas e a Ondulação Geoidal do lado B do canal (Caso 2).

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AE	- Anomalia Equatorial
ARP	- ingl. antenna reference point
BIH	- ingl Bureau International de l'Heure
CFE	- Centro de Fase Eletrônico
CGED	- Coordenação de Geodésia
DNIT	- Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
DVB	- Datum Vertical Brasileiro
EPUSP	- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FGDC	- ingl. Federal Geographic Data Committee
GNSS	- ingl. Global Navigation Satellite System
GPS	- ingl. Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
GRS 80	- Sistema Geodésico de Referência de 1980
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPE	- Instituto Federal de Pernambuco
IGS	- ingl. International GPS Service
ITRS	- Sistema de Referência Terrestre Internacional
MDT	- Modelo Digital do Terreno
MGr	- Meridiano de Greenwich
MMQ	- Método dos Mínimos Quadrados
MVC	- Matriz Variância-Covariância
NMM	- Nível Médio do Mar
PCO	- ingl. Phase Center Offset
PCV	- ingl. Phase Center Variation (Variação do Centro de Fase)
PV	- Precisão Vertical
RBMC	- Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RN	- Referência de Nível
RTK	- ingl. Real-Time Kinematic (Cinemático em Tempo Real)
SAD 69	- South American Datum 1969
SCN	- Sistema Cartográfico Nacional
SGB	- Sistema Geodésico Brasileiro

- SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TEC - ingl. Total Electron Content
TGP - ingl. ground plane
UFPE - Universidade Federal de Pernambuco
UTM - Universal Transversa de Mercator
WGS-84 - World Geodetic System 1984

LISTA DE SÍMBOLOS

F_c	- Força Centrífuga
F_a	- Força de Atração
w	- Velocidade Angular da Terra
g	- Gravidade
p	- Distância perpendicular do ponto ao eixo de rotação da terra
φ	- Latitude do Ponto
λ	- Longitude do Ponto
h	- Altitude geométrica do Ponto
Δt	- Intervalo de tempo medido
t_R	- Instante de recepção do sinal do satélite no relógio do receptor
t^S	- Instante de transmissão do sinal no relógio do satélite
dt^S	- é o erro do relógio do satélite em relação ao tempo GPS no instante de transmissão
dt_R	- é o erro do relógio do receptor em relação ao tempo GPS no instante de recepção
c	- é a velocidade da luz no vácuo ($c = 299\,792\,458$ m/s)
ρ_R^S	- é a distância geométrica entre o satélite (S), no instante de transmissão do sinal, e o receptor (R), no instante de recepção do sinal
I_R^S e T_R^S	- são os atrasos devidos a propagação da ionosfera e troposfera
ϵ_{PDR}^S	- é o erro da pseudodistância devido a efeitos não modelados e aleatórios.
Φ_R^S	- Fase observada
dt_R	- é o erro do relógio do receptor em relação ao tempo GPS no instante de recepção
dt^S	- é o erro do relógio do satélite em relação ao tempo GPS no instante de transmissão
λ	- é o correspondente comprimento de onda;
N_R^S	- Ambiguidade da fase do receptor r e satélite s, no instante inicial de rastreamento

ε	- erros da fase devido aos efeitos sistemáticos não modelados e aleatórios (resíduos)
ρ_{AB}^S	- distância entre a antena do satélite, no instante de transmissão do sinal, e dos receptores A e B, no instante da recepção do sinal
dt_{AB}	- erro dos relógios dos receptores A e B em relação ao tempo GPS no instante de recepção
T_{AB}^S	- são os atrasos devidos a propagação troposfera
I_{AB}^S	- são os atrasos devidos a propagação da ionosfera
ε_{AB}^S	- erro da pseudodistância devido a efeitos não modelados e aleatórios (resíduos)
H	- Altitude ortométrica
h	- Altitude geométrica
dH	- Diferença de altitude ortométrica
dh	- Diferença de altitude geométrica
N	- Ondulação geoidal
Cp	- Número Geopotencial em P
W_0	- Geopotencial do Geóide
W_p	- Geopotencial do ponto P na superfície física
W	- Geopotencial
V	- Potencial Gravitacional
Φ	- Potencial Centrífugo
HH	- Altitude de Helmert
g_{obs}	- Gravidade do ponto P observada na superfície física
$H_{niv.}$	- Altitude nivelada
H_D	- Altitude Dinâmica
γ_{45°	- Gravidade Normal para uma Latitude Padrão (usualmente 45°) ou um valor constante da gravidade (tal como a gravidade média da região)
H_N	- Altitude Normal
γ_m	- Gravidade Normal

1. INTRODUÇÃO

Toda obra de engenharia necessita de um conhecimento prévio do local onde a mesma será implantada, para que se possa aperfeiçoar o projeto a ser elaborado. Para a execução da obra, previamente projetada, é necessária sua locação no terreno. Em relação a componente altimétrica é preciso conhecer a diferença de altura que a obra deverá ficar em relação ao terreno.

Existem vários tipos de altitudes, dentre estas se podem citar como exemplo a altitude nivelada, as geométricas (ou elipsoidais), a ortométrica, a normal, a científica, a de Helmert e a dinâmica. Algumas dessas altitudes serão descritas mais adiante, no decorrer do trabalho.

As altitudes mais conhecidas e utilizadas atualmente são as altitudes ortométricas e as geométricas (ou elipsoidais).

As altitudes ortométricas, obtidas, geralmente, através de nivelamentos geométricos, são relacionadas ao nível médio dos mares, estão correlacionadas ao campo gravitacional da terra e possuem uma realidade física.

As altitudes são usadas em engenharia para adequar os elementos de projetos com a topografia do terreno. O motivo de se usar a altitude ortométrica é a definição do sentido do escoamento de líquidos, visto que o nivelamento local é a definição de um plano paralelo à superfície equipotencial da gravidade (geópe) neste local, enquanto que a altitude geométrica está relacionada a superfície do elipsóide escolhido como referência para o levantamento geodésico. Nos casos de obras como urbanismo, pavimentação, drenagem e irrigação as declividades mínimas e máximas tem que ser rigorosamente definidas, visto que abaixo da declividade mínima não haverá o escoamento desejado e acima da declividade máxima ocorrerá desgaste do material e erosão.

As altitudes geométricas, obtidas através dos receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*), é uma grandeza matemática, pois se refere ao elipsóide. O GNSS é a denominação dos sistemas baseados em informações dos dados de navegação de satélites artificiais de várias constelações, simultaneamente. O NAVSTAR-GPS (*Navigation System With Time and Ranging Global Positioning System*), que é mais conhecido como GPS (*Global Positioning System*), está

incluído no conceito de GNSS assim como a constelação russa GLONASS. Também inserido no GNSS está o projeto GALLILEO, que é a resposta europeia aos dois sistemas existentes.

Os receptores GNSS, utilizados em levantamentos geodésicos, vêm sendo atualmente, utilizados também para levantamentos topográficos, com linhas de base curtas pois são instrumentos de fácil utilização no campo e de rápida obtenção de coordenadas. Por esse motivo, o seu uso está se tornando bastante difundido nas áreas de engenharia. As coordenadas fornecidas pelo GNSS X, Y e Z (coordenadas cartesianas) e transformadas para φ (latitude), λ (longitude) e h (altitude geométrica) permitem perfeitamente a análise da superfície topográfica do terreno, podendo gerar um MDT (Modelo Digital do Terreno) e inclusive com perfis e seções transversais em qualquer ponto desejado.

A altitude geométrica pode ser transformada em altitude ortométrica desde que se conheça a ondulação geoidal do lugar. O geóide é uma superfície equipotencial do campo de gravidade. O IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) disponibiliza o MAPGEO2010 (Modelo de Ondulação Geoidal) para o Brasil, com uma resolução de 5' de arco. O sistema de Interpolação fornece a ondulação geoidal (N) nos pontos desejados, referida aos sistemas geodésicos de referência SIRGAS2000 e SAD69. Em algumas regiões do Brasil, como nas regiões sul e sudeste o erro médio padrão da ondulação do MAPGEO2010 é de 32 cm, sendo que em alguns países a precisão chega a poucos centímetros (SEEBER, 2003). A precisão relativa da declividade da ondulação é de 1cm/km (MÔNICO, 2008).

Um mapa com as discrepâncias que variam de -1 m a + 1m entre ondulações geoidais do MAPGEO2010 em pontos nivelados e rastreados com GNSS está disponível no site do IBGE em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/imagens/Figura6.jpg>.

Apesar das vantagens o uso do receptor GNSS para a obtenção de altitudes geométricas e determinação da superfície topográfica para implantação de uma obra de engenharia gera ainda alguns questionamentos no meio técnico profissional, como:

a) Qual a diferença da superfície topográfica encontrada através da altitude geométrica se a mesma for comparada com as altitudes ortométricas e suas implicações no projeto?

b) Qual a precisão das coordenadas altimétricas encontradas de acordo com o método e o equipamento utilizado?

c) Qual a dimensão máxima da área que é possível usar a altitude geométrica no lugar da ortométrica?

Parte dessas questões é respondida em Ollikainen (1997), Monico (2008) e Seeber (2003) que as altitudes ortométricas derivadas do sistema GNSS com correção da ondulação geoidal atendem às especificações de nivelamento de baixa e média precisão.

Este trabalho propõe dar outros subsídios para responder às questões acima do ponto de vista prático, analisando o uso do GNSS para a obtenção de altitude geométrica e a comparação destas com as altitudes ortométricas para uso em projetos ou locação de obras de engenharia civil. Desse modo, foram testados dois tipos de receptores GNSS, o de uma frequência, GTR-1 (L_1), e o de duas frequências, HIPER LITE (L_1 , L_2), para levantar vários pontos dentro da área de interesse. Esses pontos foram levantados e processados em dias e programas de pós-processamento diferentes. Os métodos de levantamentos também foram diferentes, o estático e o RTK (Real-Time Kinematic - Cinemático em Tempo Real). Os dados obtidos foram analisados sob o ponto de vista das margens de erros cometidos na obtenção da altitude geométrica e na comparação e conversão para a altitude ortométrica.

A partir da comparação da declividade da ondulação geoidal e dos erros da altitude geométrica foi possível de analisar que tipo de projetos de engenharia é possível usar a altitude geométrica diretamente. Assim sendo, o profissional poderá definir a precisão esperada das coordenadas altimétricas encontradas e verificar se estas se adequam ao serviço a ser executado.

1.1 – Objetivos

Avaliar o método de obtenção de altitudes geométricas com o GNSS e a determinação de geóide local a partir de nivelamento simultâneo de altitudes ortométricas e as possibilidades do uso direto de altitudes geométricas em projetos de engenharia.

1.2 – Estruturação do Trabalho

O trabalho encontra-se dividido em quatro capítulos da forma descrita a seguir.

O capítulo 1 consiste na introdução e contém a problemática e justificativa do tema abordado nesta pesquisa, os objetivos a serem alcançados, assim como a estruturação da dissertação.

O capítulo 2 descreve o embasamento teórico de forma breve e alguns conceitos referentes à área de geodésia, bem como algumas especificações de declividades mínimas e máximas em projetos de engenharia civil.

O capítulo 3 descreve os experimentos, com as respectivas indicações dos pontos levantados. Relata quais os equipamentos e programas que foram utilizados na pesquisa e a metodologia adotada. Também apresenta como foram analisados os dados e os resultados obtidos.

Por fim o capítulo 4 apresenta as conclusões e recomendações, seguido das referências bibliográficas, apêndice e das monografias das RRNN do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 – Elementos de Geodésia

A Geodésia aplicada à engenharia é uma ferramenta de suporte de grande relevância para o levantamento, o projeto, a locação, a situação, o controle, monitoramento de grandes obras e estruturas da engenharia civil.

Os projetos a serem elaborados necessitam do conhecimento do terreno (superfície topográfica terrestre) aonde irão se localizar, e o projeto executivo precisa de pontos de uma rede de referência para ser devidamente implantado.

2.1.1 – Forma da Terra e Superfícies de Referências

Uma questão fundamental é a das superfícies de referência, pois dela depende todo o entendimento dos tipos de altitudes possíveis de serem utilizadas na engenharia. As superfícies de referências mais adotadas como modelos da Terra são: modelo plano, modelo esférico, modelo elipsoidal, modelo geoidal.

Nesta pesquisa, os modelos adotados são o elipsoidal e o geoidal. E como referência será usada à superfície física ou topográfica terrestre.

A primeira idéia que se tem da terra é que ela é uma esfera. A velocidade da terra (w), girando em torno do seu eixo, e mais a variação da gravidade, faz com que a terra assuma a forma aproximada de um elipsóide de revolução, achatada nos polos, onde a força centrífuga é menor, e alongada no equador (Figura 1). Assim sendo, o elipsóide de revolução em torno do eixo Norte-Sul é um modelo teórico utilizado para o estudo da terra (SANTOS, 2009).

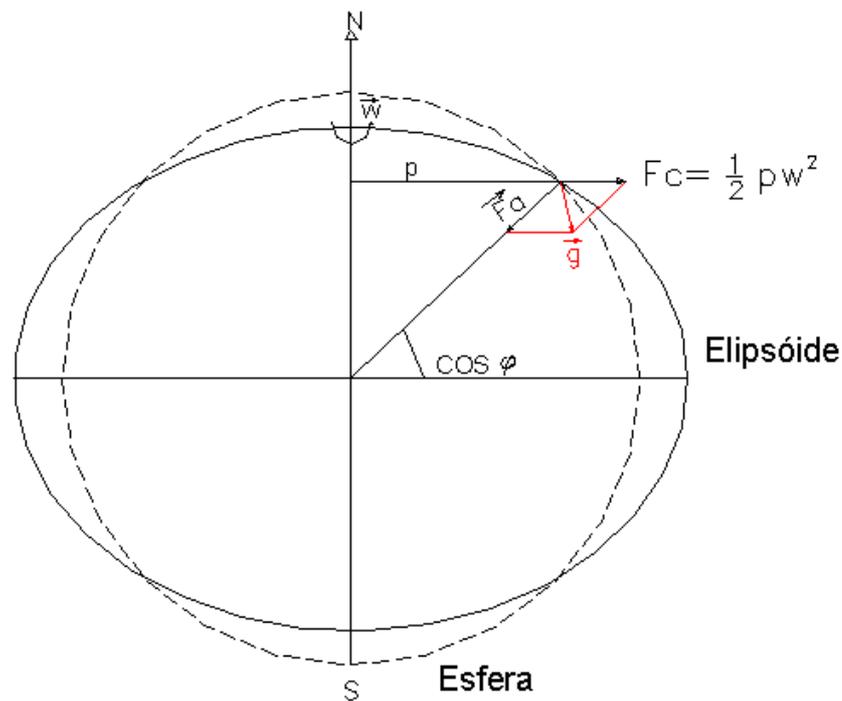


Figura 1 – Elipsóide de Revolução (Diferença Entre a Esfera e o Elipsóide)

Fonte: Adaptada Santos, (2009).

Em que:

F_c - Força Centrífuga

F_a - Força de Atração

w - Velocidade Angular da Terra

g - Gravidade

φ - Latitude Geocêntrica do Ponto

p - Distância perpendicular do ponto ao eixo de rotação da terra

A terra possui infinitas superfícies equipotenciais do campo de gravidade da terra, chamadas de geópes. O geópe que mais se aproxima do nível médio não perturbado dos mares é chamado de geóide. Esta superfície é suposta prolongada através dos continentes e representaria uma superfície na qual o campo gravitacional da Terra tem o mesmo valor em todos os pontos sobre ela. Portanto o geóide é outra forma atribuída a Terra. Esta superfície é mais irregular do que o elipsóide de revolução, conforme ilustra a figura 2.

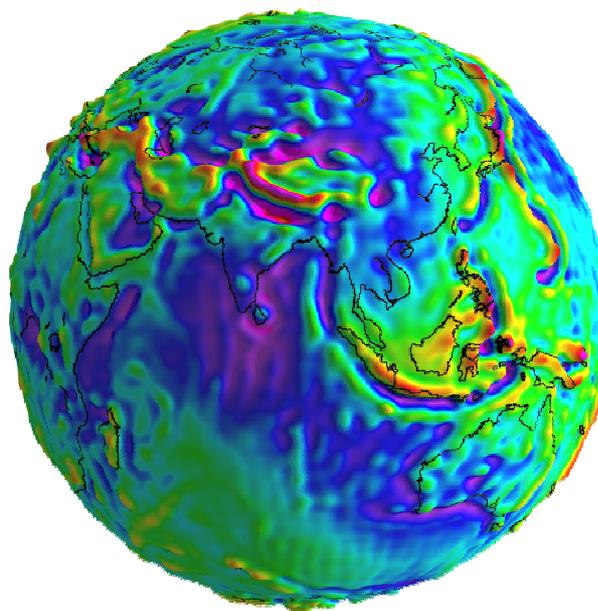


Figura 02: Representação das ondulações do geóide

Fonte: <http://op.gfz-potsdam.de/grace/results/>

Acesso: 07/05/2012

Um ponto sobre a superfície da terra é determinado quando se conhece as suas coordenadas cartesianas (X, Y, Z) ou suas coordenadas geodésicas (φ , λ , h). A Latitude Geodésica (φ) é o ângulo que a normal do ponto “P” faz com o plano do equador, varia de 0° a 90° positivo para o hemisfério Norte e de 0° a 90° negativo para o hemisfério Sul. Longitude Geodésica (λ) é o ângulo formado pelo meridiano geodésico de Greenwich (MGr) e o meridiano geodésico do ponto, positivo à leste do MGr e negativo à oeste, variando de 0° a 180° . As latitudes também podem ser indicadas por N (Norte) ou S (Sul) e as longitudes por E (Este) ou O (W) (Oeste). E a Altitude geométrica (h), ou Altitude Elipsóidica, é a distância entre um ponto “P” qualquer na superfície física da terra até a superfície do elipsóide, medida ao longo da normal de “P”. Ver Figura 3.

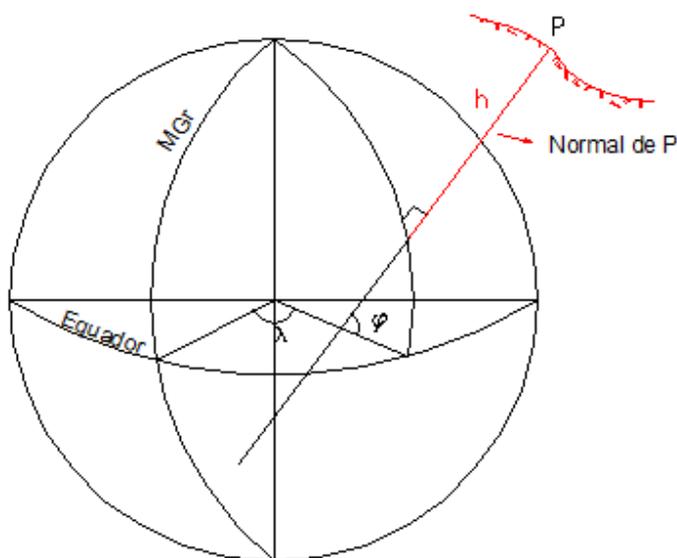


Figura 3 – Posicionamento de um Ponto em Relação à Superfície de Referência.

Em que:

φ - Latitude do Ponto

λ - Longitude do Ponto

h - Altitude geométrica do Ponto P

2.1.2 – Sistema Geodésico Brasileiro

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é regulamentado pelo Decreto Lei número 89.817 de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, e alterado pelo Decreto nº 5.334, de 2005. Os referenciais planimétricos e altimétricos são estabelecidos pelo artigo 21, parágrafo único:

Art. 21. Os referenciais planimétrico e altimétrico para a Cartografia Brasileira são aqueles que definem o Sistema Geodésico Brasileiro - SGB, conforme estabelecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, em suas especificações e normas. (Redação dada pelo Decreto nº 5.334, de 2005).

A Resolução do Presidente do IBGE Nº 1/2005, assinada em 25 de fevereiro de 2005, estabelece o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

(SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS2000), como novo sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN). A resolução acima citada também estabelece um período de transição a partir da assinatura da resolução com período não superior a dez anos, em que o SIRGAS2000 pode ser utilizado em concomitância com o SAD69 para o SGB e com o SAD69 e Córrego Alegre para o SCN.

De acordo com o anexo especificado nesta resolução o SIRGAS2000 fica caracterizado segundo as especificações abaixo:

- Sistema Geodésico de Referência: Sistema de Referência Terrestre Internacional - ITRS (*International Terrestrial Reference System*)
- Figura geométrica para a Terra: Elipsóide do Sistema Geodésico de Referência de 1980 (*Geodetic Reference System 1980 – GRS80*)
 - Semi-eixo maior $a = 6.378.137$ m
 - Achatamento $f = 1/298,257222101$
- Origem: Centro de massa da Terra
- Orientação: Pólos e meridiano de referência consistentes em $\pm 0,005''$ com as direções definidas pelo *BIH (Bureau International de l'Heure)*, em 1984,0.
- Estações de Referência: As 21 estações da rede continental SIRGAS2000, estabelecidas no Brasil e identificadas nas Tabelas 1 e 2 que constam no anexo do Decreto, constituem a estrutura de referência a partir da qual o sistema SIRGAS2000 é materializado em território nacional. Está incluída naquelas tabelas a estação SMAR, pertencente à Rede Brasileira cujas coordenadas foram determinadas pelo IBGE posteriormente à campanha GPS SIRGAS2000.
- Época de Referência das coordenadas: 2000,4
- Materialização: Estabelecida por intermédio de todas as estações que compõem a Rede Geodésica Brasileira, implantadas a partir das estações de referência.

A redação anterior do Decreto Lei 89.817 referiu-se ao Referencial Altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) como sendo o nível médio do mar na baía de Imbituba, no litoral de Santa Catarina.

2.1.3 – Datum Vertical

A RN (Referência de Nível) parte de um Datum vertical que é definido pelo Nível Médio do Mar (NMM), com diferentes períodos de observações, vinculados a uma época específica. Ainda não existe um Datum vertical único para a América do Sul.

O primeiro Datum vertical brasileiro foi o de Torres, porém este teve um caráter provisório já que foi definido com apenas um ano de observações do nível do mar (1919 – 1920). Posteriormente ele foi substituído pelo Datum de Imbituba em 1958, que contava com uma série temporal de observações do nível do mar mais longa (ALENCAR, 1990). Este DVB (Datum Vertical Brasileiro) foi definido através das observações do nível do mar do porto de Imbituba, em Santa Catarina, entre os anos de 1949 a 1957.

Segundo Dalazoana, Luz e Freitas (2005), a rede de nivelamento localizada ao norte do Rio Amazonas, no Estado do Amapá, não está referenciada ao Datum de Imbituba devido à grande largura do rio. Nesta rede as altitudes estão vinculadas ao Datum local definido no Porto de Santana (Figura 4).

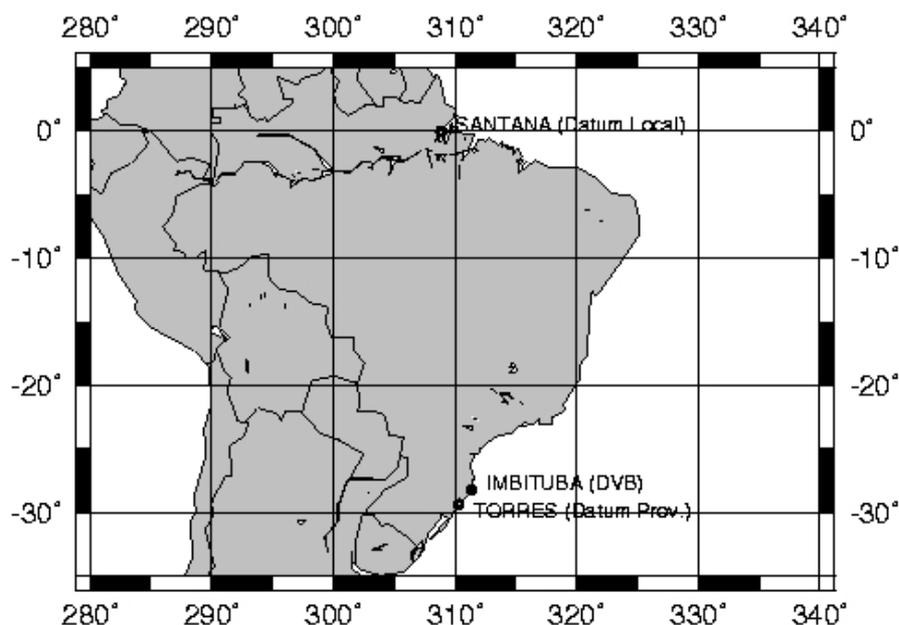


Figura 4 – Datum Vertical Brasileiro.

Fonte: Dalazoana, Luz e Freitas (2005).

2.1.4 – Métodos de Posicionamento por Satélites

A modernização do sistema americano de posicionamento global por satélite, o GPS, e o projeto europeu GALILEO deram origem a um sistema de navegação de multifrequência, o GNSS.

O GNSS viabiliza o conhecimento da localização de qualquer objeto sobre a superfície terrestre através das informações de latitude, longitude e altitude geométrica, bem como o tempo. Essas informações podem ser aplicadas na determinação de coordenadas precisas ao nível do milímetro, porém para atender a esta precisão devem-se levar em conta alguns erros sistemáticos.

Os receptores GNSS, em geral, possuem os mesmos componentes e as mesmas funções básicas, independentes da marca ou tipo, como antena, unidade de controle com microprocessadores, radio frequência (RF), seções de rastreo de sinais e correlação, osciladores, suprimento de energia e armazenagem de dados. A figura 5 apresenta esse esquema de funções básicas.

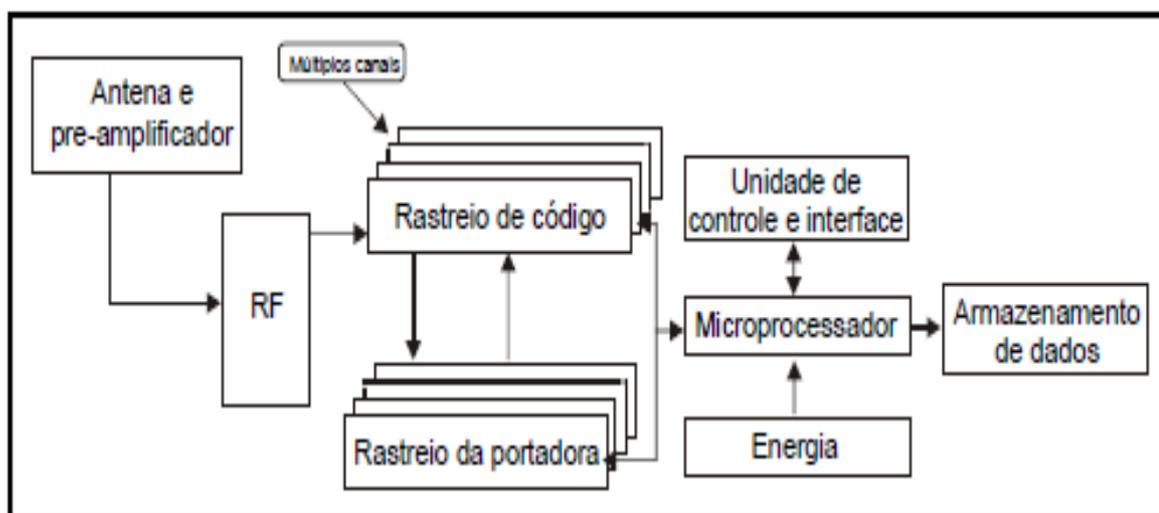


Figura 5 – Arquitetura Conceitual Básica de um Receptor GNSS.

Fonte: Adaptada de Seeber (2003) e Taylor e Francis (2002).

A classificação dos receptores quanto aos tipos de sinais observáveis que rastreiam, código C/A (Coarse Acquisition Code), código P (Precision Code) e portadoras pode ser (SEEBER, 2003):

1. código C/A;
2. código C/A + fase da portadora L₁;
3. código C/A + fase da portadora em L₁ e L₂;
4. código C/A + código P + fase da portadora em L₁ e L₂.

Atualmente os satélites GPS transmitem outra observável denominada de L₅, que minimiza o erro ionosférico. Os satélites do sistema europeu, o GALILEO, transmitem seus sinais de navegação em três bandas de frequência denominadas E5 (subdividida em E5a e E5b), E6 e E2-L1-E1. (SILVA, 2007).

As características dos diversos sinais observáveis podem ser vistas na tabela 1.

Tabela 1 – Características das Observáveis.

Fonte: Adaptada Lacy et. al. (2008).

OBSERVÁVEL	FREQUÊNCIA MHz	COMPRIMENTO DE ONDA
C/A	1,023	293 m
P	10,23	29,3 m
L1	1575,42	19,05 cm
L2	1227,60	24,45 cm
L5	1176,45	25,40 cm
E2-L1-E1	1575,42	19,00 cm
E5b	1207,14	24,80 cm
E5a	1176,14	25,40 cm

Os métodos de rastreamento, tanto com o código como com a portadora da fase, são classificados como absoluto e relativo. O absoluto também é conhecido como método de navegação, por ser o método usado para posicionamento de veículos em movimento.

O posicionamento absoluto caracteriza-se pela utilização de apenas um receptor GNSS para a determinação das coordenadas de um ponto sobre a superfície terrestre e é realizado através do rastreamento simultâneo de quatro (04) ou mais satélites. (KRUEGER et. al. 2010)

A precisão no posicionamento absoluto, no modo estático (figura 6) ou cinemático é baixa.

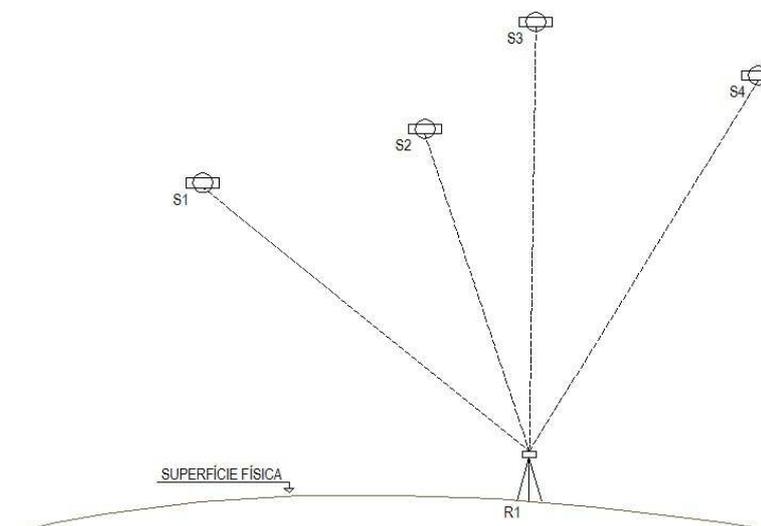


Figura 6 – Posicionamento Absoluto Estático

O Posicionamento Relativo consiste na determinação das diferenças de coordenadas entre dois pontos usando no mínimo dois (02) receptores, em que um é colocado em um ponto de coordenadas conhecidas, denominado de base e o outro nos pontos que se deseja posicionar (figura 7). As correções determinadas no receptor da base (coordenadas conhecidas) são usadas no receptor móvel. Este posicionamento pode ser pós-processado ou em tempo real, desde que exista comunicação entre o receptor da base e o móvel com transmissão das correções.

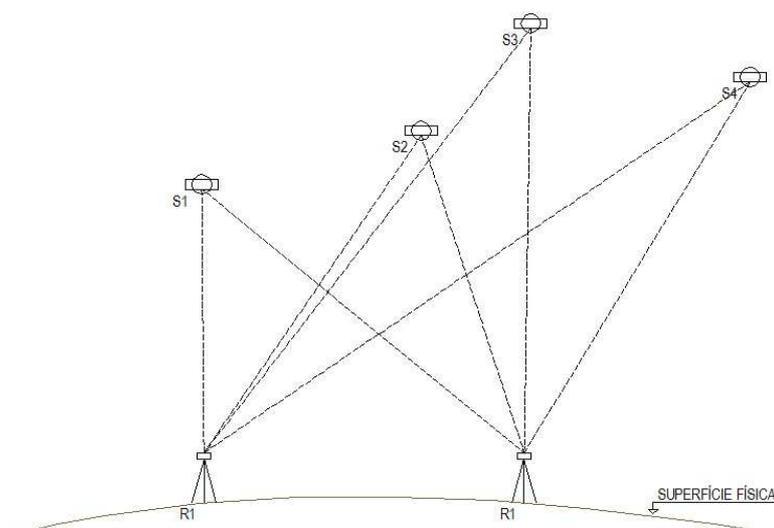


Figura 7 – Posicionamento Relativo Estático

O Posicionamento Relativo Estático Rápido diferencia do método citado anteriormente pelo tempo de rastreamento que é pequeno, de acordo com Seeber (2003), quinze minutos são suficientes. Este método é mais recomendado para linhas de base curtas.

O posicionamento Relativo Cinemático é assim denominado, pois usa dois ou mais receptores sendo que um deles fica imóvel, na base, que é a estação com as coordenadas conhecidas, e os dados dos receptores móveis (*rover*) são coletados com o mesmo em movimento. No que diz respeito à resolução da ambiguidade neste método, há duas opções: determiná-la antes de iniciar o movimento ou estimá-la através de um conjunto de dados coletados durante o movimento. O posicionamento cinemático pode se dividir em Cinemático Pós-processado, quando os dados coletados tanto no receptor base como no receptor móvel são processados posteriormente e as coordenadas dos pontos são obtidas após o levantamento, e em Cinemático em Tempo Real, também conhecido por RTK (*Real Time Kinematic*). No método RTK as coordenadas dos pontos ocupados são obtidas simultaneamente ao levantamento, para isso é necessário que os dados coletados na estação de referência (a base) sejam transmitidos para a estação móvel através de uma ligação de rádio, que transmita e receba as correções e observações da estação de referência.

O método de Posicionamento Semicinemático, também conhecido como *Stop & Go*, é semelhante ao Cinemático, um receptor é instalado na estação de referência (a base) para monitorar os erros observacionais e o outro receptor móvel desloca-se para os pontos a serem monitorados fazendo uma breve parada neles. A ambiguidade do receptor móvel deve ser resolvida antes que se inicie o movimento e o mesmo permanece ligado durante todo o levantamento, tomando-se o cuidado para não haver perda de sinal.

2.1.5 – Fontes de Erros

De um modo geral, qualquer sistema que envolva medições está sujeito a erros, sejam sistemáticos, aleatórios ou grosseiros e o GNSS não é diferente. Os erros são causados por falhas humanas, por imprecisão do equipamento ou por influência das condições ambientais. A figura 8 apresenta uma representação esquemática dos erros dos equipamentos e propagação do sinal.

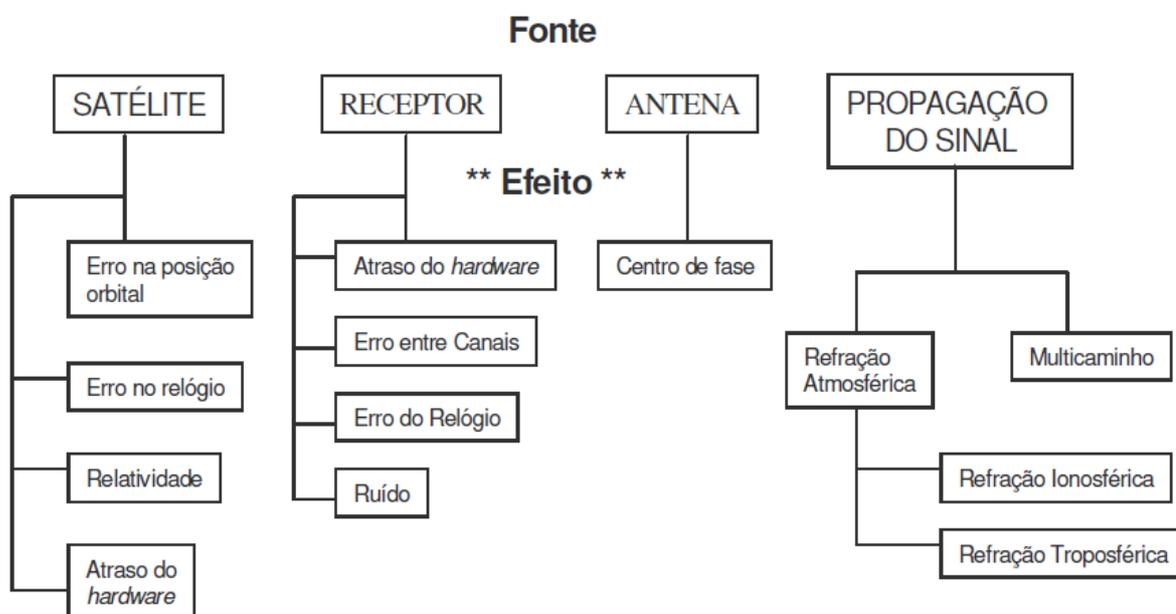


Figura 8 – Erros do GPS.

Fonte: Garnés, (2001).

Para levantamentos que exijam alta precisão, torna-se importante a análise da influência de cada um desses erros nos resultados pretendidos.

2.1.5.1 – Erro na Posição Orbital

Os satélites enviam informações de parâmetros de sua órbita através dos sinais emitidos para a antena receptora. Esses dados são conhecidos como efemérides transmitidas, que contém alguns erros para a posição orbital do satélite. Esse tipo de erro é causado por forças perturbadoras de natureza gravitacional, como por exemplo: as acelerações devidas a não esfericidade e distribuição não homogênea de massa da Terra, as acelerações de outros corpos celestes, como do Sol e da Lua, acelerações devidas às marés terrestres e oceânicas. E não gravitacional, como por exemplo: as cargas atmosféricas e a pressão de radiação solar direta e refletida da Terra (SEEBER, 2003).

O uso das efemérides precisas, produzidas pelo IGS (*International GPS Service*), minimiza as imprecisões da posição dos satélites e, portanto, os seus efeitos sobre a posição dos pontos incógnitos (RODRIGUES, 2006).

No posicionamento relativo o erro orbital é praticamente eliminado, porém ainda persistem erros residuais.

2.1.5.2 – Erro do Relógio do Satélite

O tempo no sistema GPS é definido com uma escala própria. Os relógios dos satélites, embora altamente estáveis, não acompanham o sistema de tempo GPS. O valor pelo qual eles diferem do tempo GPS é particular de cada satélite, e faz parte da mensagem de navegação.

Os erros dos relógios dos satélites podem ser calculados no processamento de dados, ou eliminados através do posicionamento relativo, com a diferenciação das observáveis (MONICO, 2008).

2.1.5.3 – Relatividade

Como o relógio do satélite e o relógio pelo qual o tempo GPS é contado operam em locais com potenciais gravitacionais diferentes, e movem-se a velocidades diferentes, é necessária a correção dos efeitos da relatividade.

Os efeitos relativísticos causam uma aparente mudança de frequência no oscilador do relógio do satélite. Parte desse efeito é compensado, pois o mesmo tem sua frequência nominal ligeiramente reduzida (0,0045 Hz a menos). Outra parte, que é uma constante, é absorvida no "*drift*" do relógio do satélite. Os efeitos remanescentes são eliminados através do método relativo de posicionamento (SEEBER, 1993).

2.1.5.4 – Atraso do *Hardware*

O atraso de *hardware* ocorre tanto no satélite quanto no receptor. É o atraso que o sinal experimenta ao percorrer os componentes eletrônicos do equipamento. No satélite corresponde ao tempo entre a geração do sinal e a transmissão a partir da antena. No receptor corresponde ao tempo de percurso da recepção na antena até o "correlator" de sinal no receptor (TEUNISSEN e KLEUSBERG, 1998).

Segundo Rodrigues (2006), a magnitude desse erro é determinada durante a fase de calibração do satélite, e introduzida como parte da mensagem de navegação, atualizada a cada 12 horas.

2.1.5.5 – Erro entre Canais (*Interchannel Biases*)

Os receptores, que possuem canais múltiplos, cada canal é dedicado à recepção do sinal de um satélite. O caminho percorrido por cada sinal, dentro do receptor, é diferente para cada canal. Para corrigir o erro resultante deste fato, o receptor realiza uma calibração intercanais no início de cada levantamento, fazendo com que cada canal, ao rastrear um satélite particular, determine o erro com relação

a um canal padrão. Todas as medidas subsequentes são ajustadas com esta diferença (MONICO, 2008).

2.1.5.6 – Erro do Relógio do Receptor

Os receptores geralmente são equipados com relógios de cristal de quartzo de alta qualidade (WELLS et al., 1986). Assim como nos satélites, os relógios dos receptores não são sincronizados com o tempo GPS, possuindo, cada um, a sua escala de tempo. O posicionamento relativo elimina este erro através da diferenciação das observáveis. Para tanto, a diferença entre os erros dos relógios dos receptores envolvidos devem ser inferiores a 1 milissegundo (MONICO, 2008).

2.1.5.7 – Ruído no Receptor

O ruído está relacionado com as emissões eletromagnéticas do próprio funcionamento do receptor e que podem interferir com os sinais emitidos pelos satélites ou com o seu processamento, ou seja, é a limitação dos receptores eletrônicos na realização das medidas (GARNÉS, 2001).

2.1.5.8 – Variação do Centro de Fase

As antenas GNSS são construídas com parte mecânica e eletrônica que visam captar os sinais dos satélites com a melhor relação sinal/ruído. A figura 9 apresenta de maneira esquemática os pontos e superfícies de referência de uma antena GNSS, inclusive o centro do sistema da antena ARP (*antenna reference point*) que não coincide com o centro de fase.

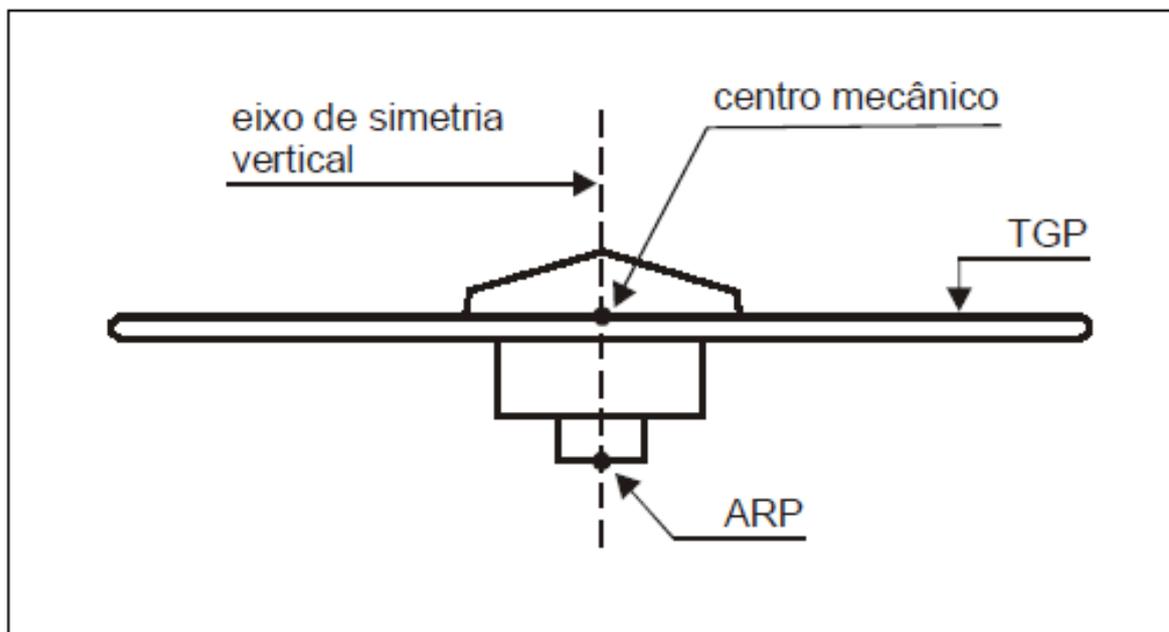
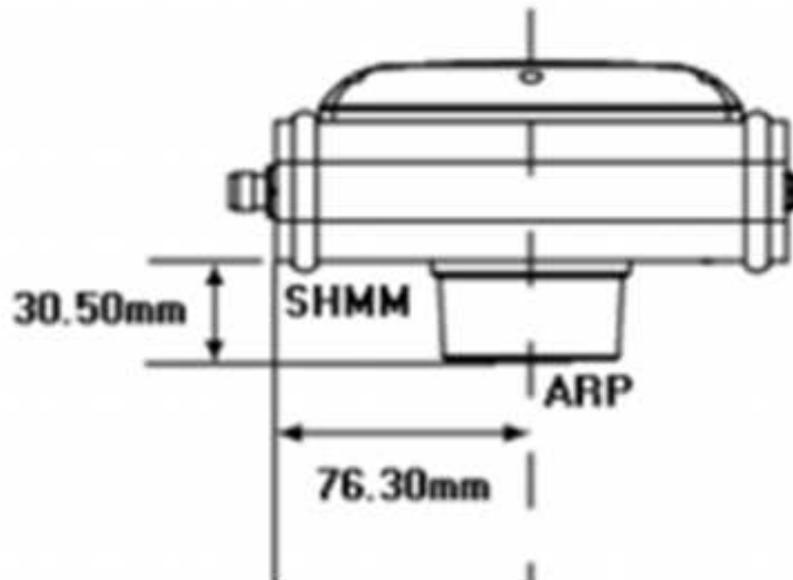


Figura 9 – Pontos e Superfícies de Referência de uma Antena GNSS.

Fonte: Freiburger Junior, (2004).

A superfície superior do disco é uma proteção contra o efeito multicaminho é denominada TGP (*ground plane*). O ARP também é definido mecanicamente, sendo normalmente a intersecção do eixo vertical de simetria com a superfície mais inferior do corpo da antena, como ilustra a figura 9. O ARP é a origem do sistema de coordenadas da antena, dado por um sistema topocêntrico local com a antena orientada ao norte, e pode variar de posição de acordo com o modelo do instrumento.

As figuras 10 e 11 ilustram os pontos e superfícies de referência da antena Hiper Lite e GTR-1, respectivamente, que foram usadas neste trabalho.



- Deslocamento vertical SHMM a ARP = 30.5mm
- Deslocamento horizontal SHMM a ARP = 76.30mm

ARP – Antenna Reference Point

SHMM – Slant Height Measure Mark

Deslocamento Vertical para L ₁	106.1mm
Deslocamento Vertical para L ₂	95.7mm

FIGURA 10 – Pontos e Superfícies de Referência das Antenas GNSS Hiper Lite

Fonte: Topcon Positioning Systems – Manual do Operador , (2003).

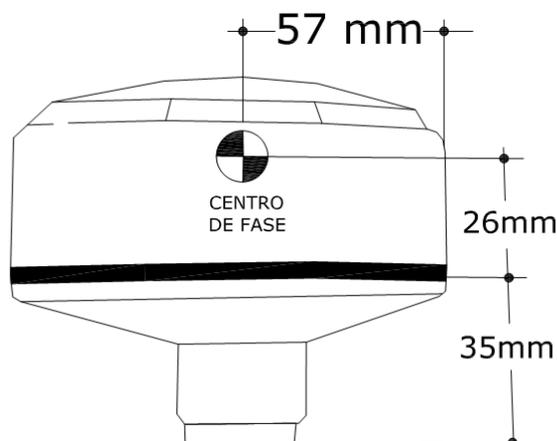


FIGURA 11 – Pontos e Superfícies de Referência da Antena GPS GTR-1

O posicionamento de um ponto GNSS é realizado com base nas observações a partir do sinal recebido na antena. A localização de referência no registro dessas informações é o centro de fase da antena, também conhecido com centro de fase mecânico ou geométrico. Porém a recepção do sinal vindo do satélite ocorre no centro de fase eletrônico (CFE) e este ponto não coincide necessariamente com o centro geométrico da antena.

O centro de fase eletrônico não é um ponto fixo na antena, pode variar de acordo com o modelo de cada uma e com a direção do sinal proveniente do satélite, isto é, depende do azimute e da elevação do satélite emissor. Além disso, o centro de fase eletrônico da portadora L_1 é diferente da portadora L_2 , e conseqüentemente da observável gerada da combinação linear entre elas (FREIBERGER JUNIOR, 2004).

A variação do centro de fase mecânico com relação ao ARP é denominada de *offset* do centro de fase, sendo formada por uma parte mecânica e outra parte eletrônica (Freiberger Junior, 2004). A primeira, denominada de *offset* do centro de fase (PCO - *Phase Center Offset*), consiste no deslocamento entre o centro de fase e o ARP; e a segunda parte, denominada variação do centro de fase (PCV - *Phase Center Variation*), consiste de um deslocamento adicional do centro de fase (figura 12) de caráter sistemático, que varia conforme a configuração dos satélites GNSS (azimute e ângulo de elevação).

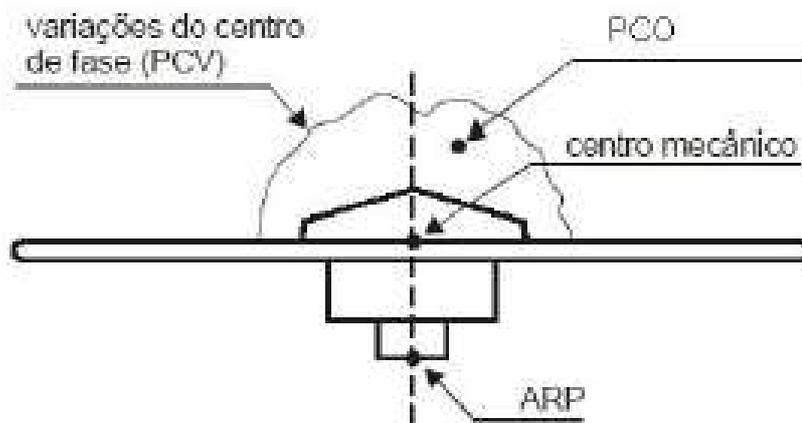


Figura 12: Variações do Centro de Fase

Fonte: Huinca e Krueger, (2010).

A não consideração da variação do centro de fase faz com que a linha de base fique definida em relação aos centros médios de fases das duas antenas, caracterizados pela média ponderada de todos os centros de fase individuais de cada época observada (MADER, 1999).

A determinação do centro de fase médio de cada antena e sua variação são feitas através da calibração da mesma, que pode ser efetuada pelo método absoluto (em ambientes controlados e em campo) ou relativo (em campo). Porém quando a antena não foi calibrada, podem-se usar os valores do seu modelo de fabricação.

De acordo com Garnés (2001), quando não se têm os elementos de calibração das antenas (centros de fase e suas variações) a serem utilizadas em uma determinada campanha, recomenda-se o uso, no processo relativo, de um mesmo modelo de antena e uma correta orientação azimutal. Com isso, os erros do centro de fase deverão ser minimizados.

Nos experimentos realizados por Huinca e Krueger (2010), em que foi usado o método de calibração relativo em campo, para a antena TRM22020.00+GP, as maiores variações do centro de fase médio (PCO), em módulo, ocorreram para a componente vertical, tanto para L_1 como L_2 . Nestes mesmos experimentos as variações do centro de fase resultaram em valores inferiores a 1mm nas componentes Norte e Este e superior a 1mm na componente vertical.

2.1.5.9 – Refração Ionosférica

A atmosfera terrestre pode ser dividida em função da temperatura, ionização, campo magnético e propagação de ondas eletromagnéticas (SEEBER, 2003). No que diz respeito à propagação eletromagnética a atmosfera pode ser dividida em troposfera e ionosfera. Na literatura GNSS, a ionosfera está compreendida na camada da atmosférica entre aproximadamente 50 km a 1.000 km de altitude.

A ionosfera é um meio dispersivo e é uma região onde a densidade de íons e elétrons livres são suficientemente altos para afetar a propagação de ondas eletromagnéticas (KIRCHHOFF, 1991). Os sinais do GNSS, bem como, qualquer

sinal eletromagnético ao se propagar pelo meio ionizado são afetados pelas características dispersivas do mesmo (WELLS ET AL., 1986)

A estrutura global da ionosfera não é homogênea e pode ser dividida em função da latitude em três grandes regiões geográficas: altas latitudes, médias latitudes e região equatorial (Salomoni, 2008), como indicado na figura 13.

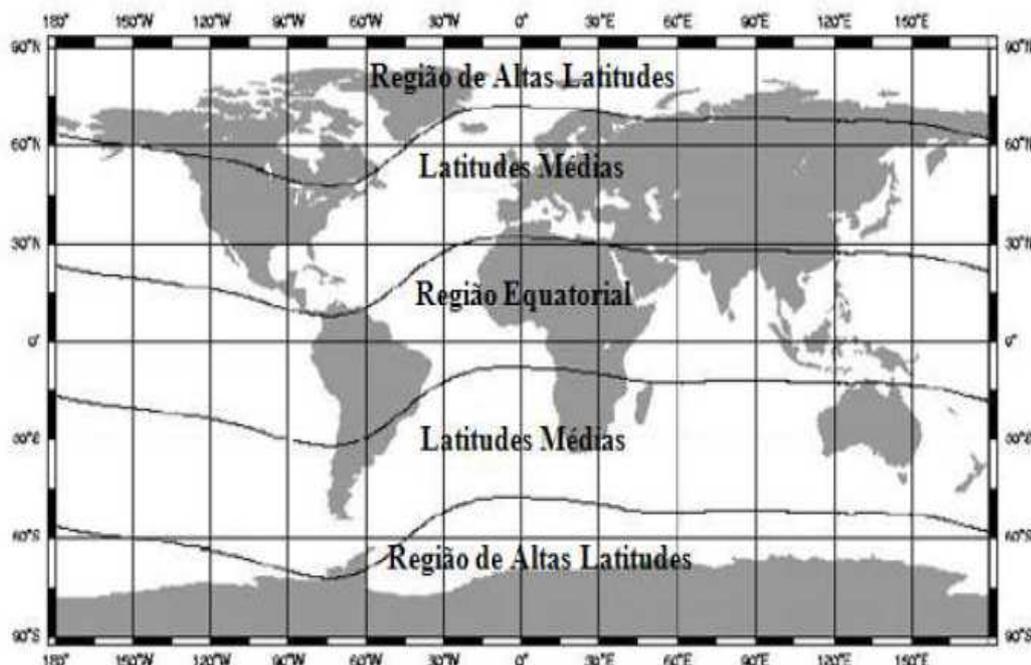


Figura 13 – Regiões Geográficas da Ionosfera

Fonte: Fonseca Junior (2002).

A região de alta latitude é uma área extremamente instável, onde ocorrem alguns fenômenos que afetam a propagação do sinal GNSS (como por exemplo, as linhas de campo geomagnético, grande densidade de elétrons concentrado na camada da ionosfera e cintilação).

A região de média latitude é uma área menos perturbada da região geográfica da ionosfera

Na região equatorial ocorrem dois fenômenos que afetam a propagação do sinal GNSS:

- A Cintilação Ionosférica que são rápidas flutuações na fase ou na amplitude de um sinal GNSS, causadas por irregularidades na densidade de elétrons ao

longo do trajeto do sinal na ionosfera, que pode provocar perda do sinal GNSS.

- Anomalia Equatorial (AE) ou Anomalia de Appleton, que provoca variações no TEC (*Total Electron Content*), que é o número de elétrons presentes ao longo do caminho entre o satélite (s) e a antena receptora (r).

A tabela 2 que apresenta o erro ionosférico máximo, na direção vertical, que pode ser esperado para as portadoras L₁, L₂ e para a combinação linear *ion-free* (L₀). Para direções inclinadas, a influência aumenta em até 3 vezes, aproximadamente (SEEBER, 2003).

Tabela 2 – Máximo Efeito Sistemático Vertical Devido à Ionosfera.
 Fonte: Adaptada Hoffmann-Wellenhof, Lichtenegger, Collins (1994).

Frequência	1^a ordem (1 / f²)	2^a ordem (1 / f³)	3^a ordem (1 / f⁴)
L₁	32,5 m	0,036 m	0,002 m
L₂	53,5 m	0,076 m	0,007 m
L₀	0,0 m	0,026 m	0,006 m

Segundo Rodrigues (2006), em posicionamento absoluto, modelos regionais para a ionosfera, como o modelo desenvolvido por Camargo (1999), permitem reduzir os efeitos da ionosfera ao nível centimétrico. Em posicionamento relativo, há duas situações a serem consideradas. Em linhas de base curtas (até 15 km), os efeitos da ionosfera sobre os sinais GNSS são praticamente iguais, o que permite que, no processo de diferenciação das observáveis, eles sejam eliminados. Para linhas de base mais longas, a suposição de igualdade para o erro nas estações já não é válida. Porém, a natureza dispersiva da ionosfera é uma vantagem para quem dispõe de receptores de dupla frequência, pois uma combinação linear das

observáveis L_1 e L_2 remove praticamente todo o erro ionosférico, é a chamada L_0 (ou L_3 , em algumas bibliografias).

2.1.5.10 – Refração Troposférica

A troposfera é a camada atmosférica compreendida entre a superfície terrestre e a ionosfera e alcança aproximadamente 50 km de altura. Ela constitui a zona neutra da atmosfera.

A propagação do sinal na troposfera depende principalmente da pressão do ar, da temperatura e do conteúdo do vapor d'água. (SAPUCCI, 2001).

Os efeitos causados pela troposfera terrestre sobre os sinais GNSS são:

- atenuação atmosférica - que é a diminuição da potência da onda eletromagnética, exercida por um dos elementos que constituem a atmosfera, sendo esse elemento diferente para cada frequência.
- cintilação troposférica - são as alterações na fase de batimento da onda portadora no receptor.

Para pequenos ângulos de elevação e curta fração de tempo, a atenuação e a cintilação troposférica podem ser significativas, mas, para ângulos acima de 10° e períodos relativamente longos, tais efeitos são muito pequenos, sendo frequentemente negligenciados (SAPUCCI, 2001).

- atraso troposférico - esse efeito retarda a propagação do sinal GNSS, em consequência disso tanto as medidas da pseudodistância com o código, como as medidas de fase da portadora, sofrem o mesmo efeito. Esse efeito também é conhecido por refração troposférica. A figura 14 apresenta um esquema ilustrativo de um sinal GNSS se propagando na atmosfera, desde um satélite até um receptor localizado na superfície terrestre. A trajetória curva (traço contínuo) difere da distância geométrica (traço intermitente) devido à influência dos gases que compõem a troposfera.

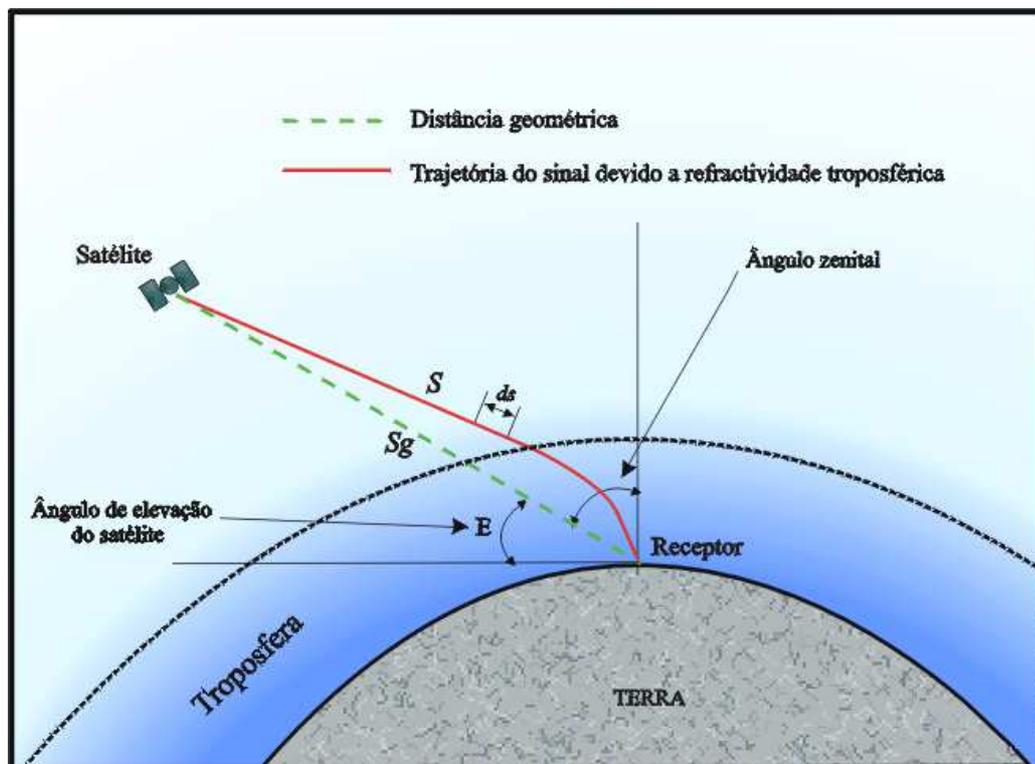


Figura 14 – Esquema Ilustrativo de um Sinal GPS se Propagando na Atmosfera.

Fonte: Sapucci, (2001).

2.1.5.11 – Multicaminho

O multicaminho é o erro cometido pelas reflexões indesejadas sofridas pela onda emitida pelo satélite. Assim sendo, um sinal chega à antena do receptor por caminhos múltiplos.

O efeito do multicaminho ocorre durante o levantamento quando as antenas estão próximas a obstáculos, como por exemplo, prédios, casas, árvores, carros, superfícies de águas ou até mesmo o chão (figura 15).

Devido aos diferentes tipos de superfícies refletoras, o multicaminho pode se dividir em três categorias (MOELKER, 1997):

- Reflexão especular, proveniente da reflexão em uma superfície suave (lisa), sendo que a frente de onda resultante é uma cópia atrasada do sinal direto, diferindo deste apenas em fase e amplitude;
- Difração, proveniente de reflexões nas bordas ou cantos dos objetos refletores; e
- Multicaminho difuso, proveniente da reflexão em superfícies rugosas, semelhante a várias reflexões especulares.

O erro máximo causado pelo multicaminho do sinal é proporcional ao comprimento da onda na razão de um quarto. Em ambientes "benignos", ou seja, não propícios ao multicaminho, o erro incidente sobre a pseudodistância é aproximadamente de 0,5 m; já em ambiente muito reflexivo, o erro pode chegar a 4 ou 5 m (LANGLEY, 1997).

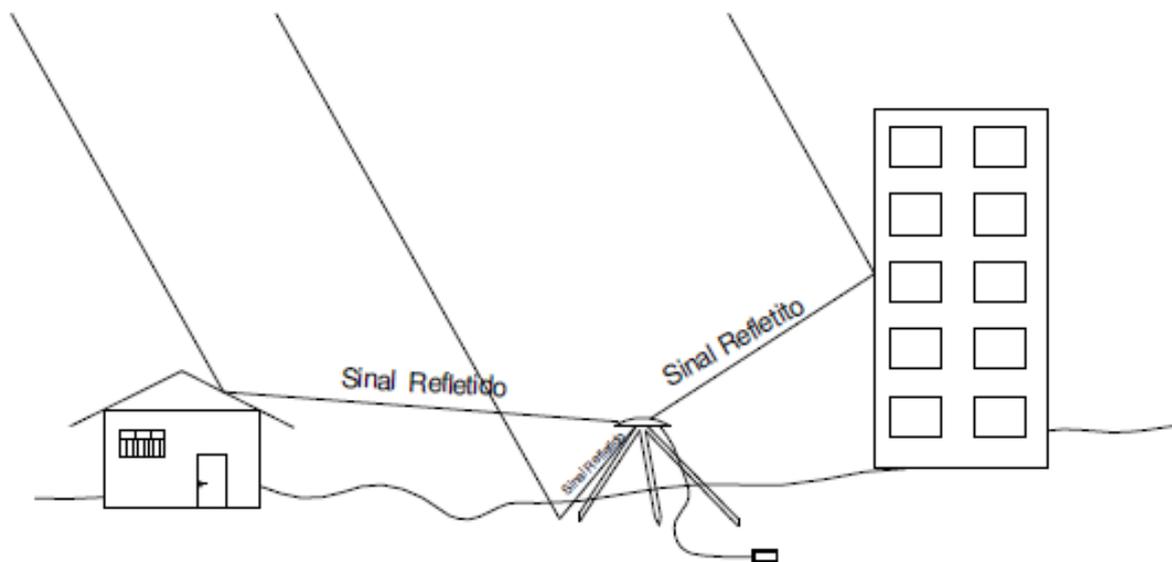


Figura 15 – Multicaminho

Fonte: Garnés, (2001).

2.1.6 – Determinação de Coordenadas

As coordenadas das estações medidas no GNSS podem ser obtidas através das observações fundamentais que são as pseudodistância e fase da onda portadora.

Segundo Monico (2008), várias combinações lineares das observações GNSS podem ser realizadas, tais como entre dois receptores (simples, dupla e tripla diferença) e as combinações lineares realizadas num mesmo receptor de dupla frequência (*ion-free*, *wide lane*) ou a combinação envolvendo as medidas de pseudodistâncias e da fase da onda portadora. Importante para este trabalho é a definição das observáveis da pseudodistância, da fase portadora e a combinação linear *ion-free*, pois os dados dos receptores de dupla frequência, em geral, são processados utilizando esta combinação linear em linhas de base longas. Tem-se ainda outro tipo de combinação conhecida como *narrow lane*.

2.1.6.1 – Equação da Pseudodistância

Nos receptores GNSS são geradas réplicas idênticas aos códigos transmitidos pelos satélites, porém defasados de um intervalo de tempo Δt . O intervalo de tempo medido é definido conforme a expressão abaixo:

$$\Delta t = t_R - t^S \quad (1)$$

Em que:

Δt - intervalo de tempo medido

t_R - instante de recepção do sinal do satélite no relógio do receptor

t^S - instante de transmissão do sinal no relógio do satélite

A figura 16 apresenta, de forma esquemática, o código transmitido pelo satélite e a réplica gerada pelo receptor.

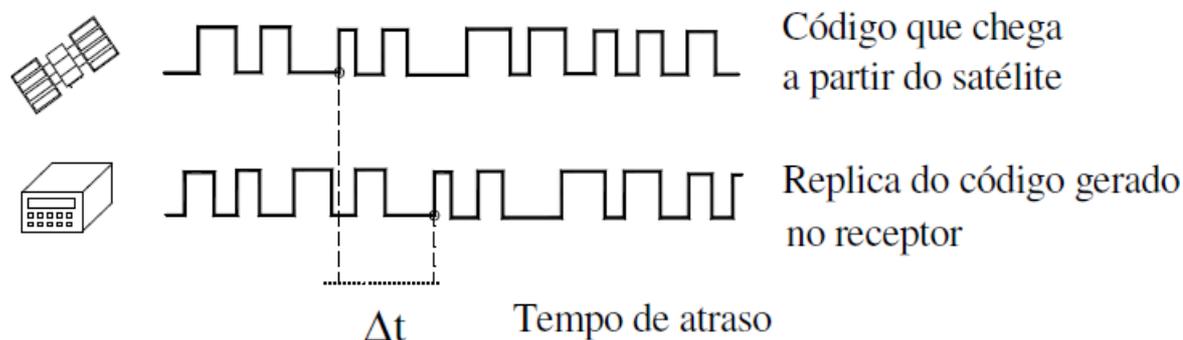


Figura 16 – Medida com o Código

Fonte: Wells et al (1986).

O produto da velocidade da luz no vácuo ($c = 299\,792\,458$ m/s) pelo deslocamento do tempo necessário para alinhar a réplica do código gerado no receptor, com o código recebido do satélite (Δt), produz uma distância (P_R), afetada de todo tipo de erro inerente ao processo de medição (sistemáticos e aleatórios). Essa distância recebeu a denominação em inglês de *pseudo-range*, traduzida no Brasil como *pseudodistância*. De uma maneira simplificada a equação da pseudodistância é descrita como:

$$P_R = c \Delta t \quad (2)$$

A pseudodistância (P_R) é a medida que o receptor registra quando utiliza os códigos P(Y) ou C/A.

Para se determinar as coordenadas da estação observada a partir da pseudodistância é necessária incluir mais alguns termos na equação acima. Assim, segundo Garnés (2001) a equação simplificada da *pseudodistância* (P_R) medida de um receptor (R) para um satélite (S) em uma dada época (t), pois não considera os efeitos do multicaminhamento, do atraso do hardware do receptor e do satélite, pode se expressa por:

$$P_R^S = \rho_R^S + c(dt_R - dt^S) + I_R^S + T_R^S - \epsilon_{PDR}^S \quad (3)$$

Em que:

dt^S - é o erro do relógio do satélite em relação ao tempo GPS no instante de transmissão;

dt_R - é o erro do relógio do receptor em relação ao tempo GPS no instante de recepção;

c - é a velocidade da luz no vácuo ($c = 299\,792\,458$ m/s);

ρ_R^S - é a distância geométrica entre o satélite (S), no instante de transmissão do sinal, e o receptor (R), no instante de recepção do sinal;

I_R^S e T_R^S - são os atrasos devidos a propagação da ionosfera e troposfera; e

ϵ_{PDr}^S - é o erro da pseudodistância devido a efeitos não modelados e aleatórios.

2.1.6.2 – Equação de Observação da Fase da Portadora

Pode ser obtida a distância entre o receptor e o satélite através da *diferença de fase*, que é a fase do sinal que permanece quando o deslocamento de frequência Doppler da portadora do satélite é comparado com a frequência gerada no receptor. Ver figura 17 abaixo:

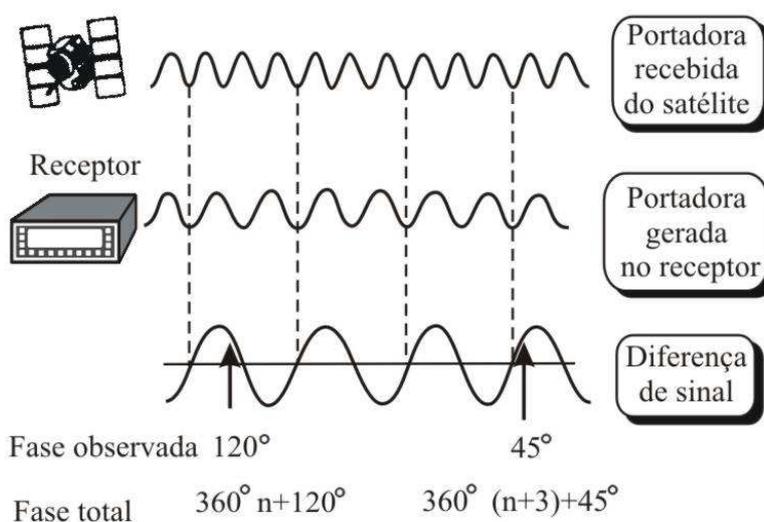


Figura 17 – Medida com a fase portadora

Fonte: De Sá, (2004).

Na figura 17 “n” refere-se ao número inteiro de ciclos.

Como o comprimento de onda da portadora é muito menor que o comprimento de onda dos códigos, a precisão da diferença de fase é muito maior do que a precisão da pseudodistância.

Segundo Garnés (2001), o inconveniente em se utilizar as observações da fase em comparação com as do código, é que o receptor registra somente os ciclos inteiros acumulados a partir da primeira observação, mais a parte fracionária da fase medida pelo comparador. Assim, fica incógnito o número inteiro de ciclos desde o centro de fase da antena do satélite, até o centro de fase da antena do receptor (no instante da primeira observação). A este número inteiro de ciclos denominou-se *ambiguidade GPS*. O conceito geométrico está ilustrado na figura 18 abaixo:

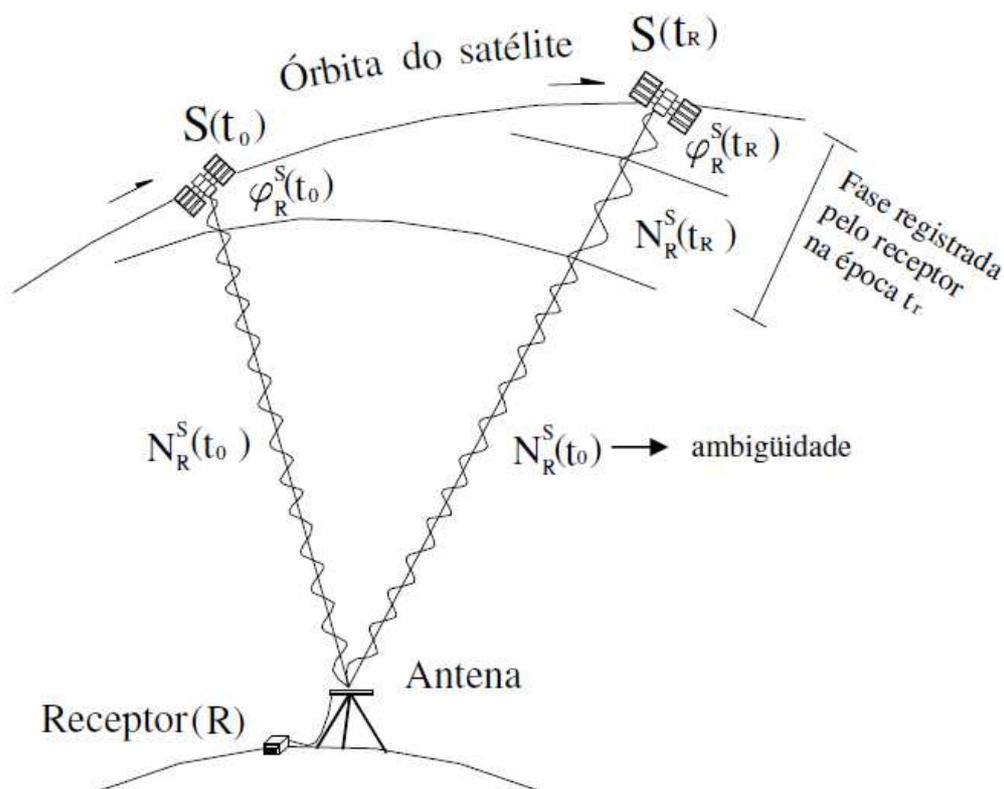


Figura 18 – Interpretação Geométrica da Ambiguidade GPS

Fonte: Garnés, (2001)

De acordo com Polezel (2010), para a solução das ambigüidades duas tarefas são executadas: a procura dos valores inteiros e a validação desses valores. A procura pelo inteiro é realizada a fim de determinar uma série de inteiros que são os valores prováveis. A validação da ambigüidade é o processo de determinar se o valor é ou não o correto. A determinação deste “valor correto” é o que define a fixação da ambigüidade.

A distância entre o satélite e o receptor varia com o tempo, e manter uma leitura de número de ciclos inteiros é algo que os receptores quase sempre podem fazer. Entretanto, o receptor está sujeito à perda de ciclo, por algumas razões como sinal com ruído ou obstrução da antena.

Com a ambigüidade fixada, determina-se a distância entre o satélite e o receptor. A equação da fase observada (ϕ_R^S) simplificada, segundo Garnés (2001), dada em metros é:

$$\phi_R^S = \rho_R^S + c (dt_R - dt^S) - I_R^S + T_R^S - \lambda N_R^S - \varepsilon \quad (4)$$

Em que:

ϕ_R^S - fase observada;

ρ_R^S - é a distância geométrica entre o satélite s no instante de transmissão do sinal e o receptor r no instante de recepção;

c - é a velocidade da luz no vácuo;

dt_R - é o erro do relógio do receptor em relação ao tempo GPS no instante de recepção;

dt^S - é o erro do relógio do satélite em relação ao tempo GPS no instante de transmissão;

I_R^S e T_R^S - são os atrasos devidos a propagação da ionosfera e troposfera;

λ - é o correspondente comprimento de onda;

N_R^S - ambigüidade da fase do receptor r e satélite s, no instante inicial de rastreio;

ε - erros da fase devido aos efeitos sistemáticos não modelados e aleatórios (resíduos).

2.1.6.3 – Combinação Linear das Observáveis

As observáveis GNSS são geradas pelos códigos ou pela fase da onda portadora. De acordo com Monico (2008) várias combinações lineares das observações GNSS podem ser realizadas, tais como entre dois receptores (simples, dupla e tripla diferença) e, as combinações lineares realizadas num mesmo receptor de dupla frequência (*ion-free, wide lane*). Elas foram inicialmente usadas para eliminar o atraso da ionosfera, e mostraram-se bastante úteis na solução da ambiguidade.

a) Combinação Linear das Observáveis L₁ e L₂

A combinação linear entre as observáveis L₁ e L₂, podem minimizar, eliminar ou detectar alguns erros no posicionamento GNSS.

A equação da combinação linear para o caso da fase portadora (em ciclos) é:

$$\varphi_{n,m} = n \varphi_1 + m \varphi_2 \quad (5)$$

com $n, m \in \mathbf{R}$. Existe uma infinidade de combinações possíveis dependendo da escolha de n e m , porém segundo Seeber (2003), duas combinações específicas são particularmente importantes, são elas:

- L_w é a *wide lane* (Banda Larga), em que $n = 1$ e $m = -1$;

$$L_w = L_1 - L_2 \quad \lambda_w = 86,2 \text{ cm}$$

- L_N é a *narrow lane* (Banda Estreita), em que $n = m = 1$;

$$L_N = L_1 + L_2 \quad \lambda_N = 10,7 \text{ cm}$$

A combinação linear da banda larga tem a vantagem, em relação à observável original L₁, de ter um comprimento de onda quatro vezes maior, que facilita na

resolução da ambiguidade, porém a desvantagem é que o ruído também será amplificado. A observação na banda estreita, por ter um comprimento de onda menor, tem um ruído também menor, mas existe uma dificuldade maior em se determinar a ambiguidade, por isso é usada em distâncias curtas. (SEEBER, 2003).

De acordo com Garnés (2001) a média aritmética da combinação linear L_w (banda larga) com L_N (banda estreita) resulta numa combinação livre da ionosfera (*ionospheric free*), L_0 :

$$L_0 = \frac{L_w + L_N}{2} \quad (6)$$

A diferença da combinação linear L_N (banda estreita) com L_w (banda larga) resulta numa combinação com a ionosfera completa, L_I :

$$L_I = L_N - L_w \quad (7)$$

A tabela 3 apresenta características de algumas das combinações lineares de fase formadas com as portadoras L_1 e L_2 . Onde L_w representa a combinação wide lane, L_N a narrow lane, L_0 a livre de ionosfera e L_I a combinação que contém o efeito completo da ionosfera.

Tabela 3 – Combinação Linear de Fases.

Fonte Adaptada: Seeber (2003).

Observável	n	m	λ_{LI} (cm) (valor aproximado)	Ruído (mm)
L_1	1	0	19,0	3,0
L_2	0	1	24,4	3,9
L_w	1	-1	86,2	19,4
L_N	1	1	10,7	2,1
L_0	-	-	≈ 5,4	10,0
L_I	-	-	≈10,7	20,0

b) Combinação Linear da Simples Diferença

No método da simples diferença, a equação de observação (da pseudodistância ou da fase portadora), é a combinação linear entre as equações de observações de duas estações receptoras, em posições distintas, sintonizadas a um mesmo satélite ou então dois satélites sintonizados a uma única estação receptora (figura 19).

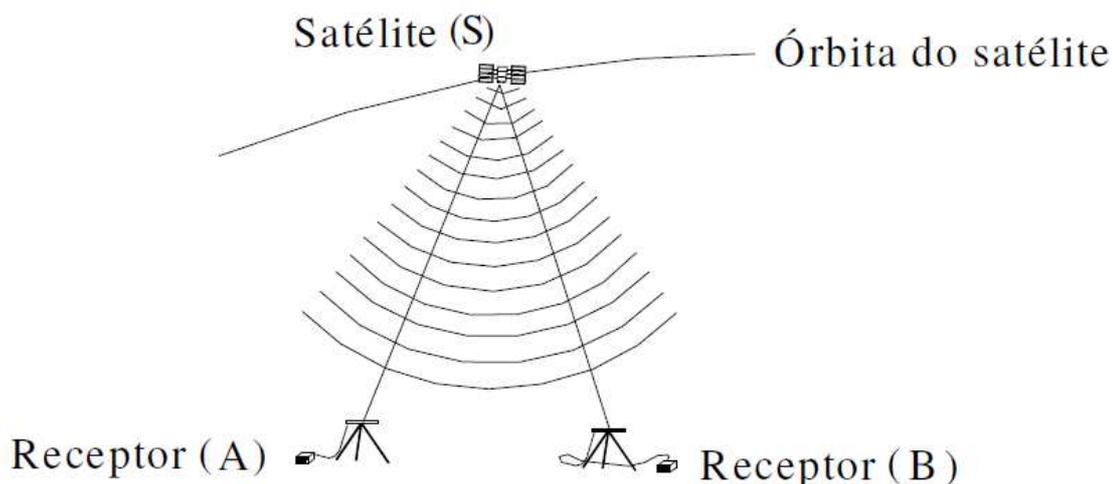


Figura 19 – Geometria da Simples Diferença de Fase Entre Receptores

Fonte: Garnés, (2001).

A equação de observação da simples diferença da pseudodistância, para os receptores A e B e o satélite S, é escrita abaixo, (GARNÉS, 2001):

$$P_{R\ AB}^S = \rho_{AB}^S + cdt_{AB} + T_{AB}^S + I_{AB}^S - \epsilon_{AB}^S \quad (8)$$

Em que:

ρ_{AB}^S - distância entre a antena do satélite, no instante de transmissão do sinal, e dos receptores A e B, no instante da recepção do sinal;

c - é a velocidade da luz no vácuo ($c = 299\,792\,458$ m/s);

dt_{AB} - erro dos relógios dos receptores A e B em relação ao tempo GPS no instante de recepção;

T_{AB}^S - são os atrasos devidos à propagação da troposfera

I_{AB}^S - são os atrasos devidos à propagação da ionosfera

ε_{AB}^S - erro da pseudodistância devido a efeitos não modelados e aleatórios (resíduos).

De acordo com Garnés (2001), a simples diferença entre satélites é obtida da mesma forma da simples diferença entre receptores. A diferença entre elas é que o erro a ser cancelado, é o erro do relógio do receptor (dt_R). Os demais erros não são cancelados porque o caminho de propagação do sinal de dois satélites, até um mesmo receptor, é bastante diferente.

Assim, a equação de observação onda portadora para a simples diferença de fase é expressa da forma abaixo:

$$\phi_{AB}^S = \rho_{AB}^S + cdt_{AB} - I_{AB}^S + T_{AB}^S - \lambda N_{AB}^S - \varepsilon_{AB}^S \quad (9)$$

c) Combinação Linear da Dupla Diferença

A combinação da dupla diferença implica na observação a dois satélites (S e P) por duas estações receptoras (A e B), simultaneamente, conforme exemplifica a figura 20. Este modelo matemático elimina o erro proveniente do relógio dos satélites e do receptor.

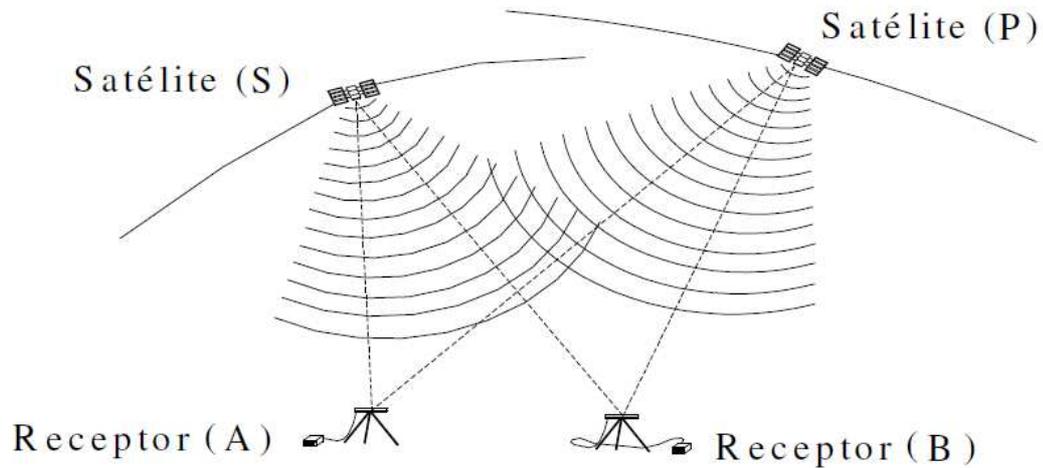


Figura 20 – Geometria da Dupla Diferença de Fase
 Fonte: Garnés, (2001)

A equação da observação da pseudodistância para a dupla diferença de fase é:

$$P_{AB}^{SP} = \rho_{AB}^{SP} + T_{AB}^{SP} + I_{AB}^{SP} - \epsilon_{AB}^{SP} \quad (10)$$

A equação de observação da onda portadora para a dupla diferença de fase, segundo Garnés (2001) é:

$$\phi_{AB}^{SP} = \rho_{AB}^{SP} - I_{AB}^{SP} + T_{AB}^{SP} - \lambda N_{AB}^{SP} - \epsilon_{AB}^{SP} \quad (11)$$

d) Combinação Linear da Tripla Diferença

O método da tripla diferença é obtido realizando-se a diferença entre duas duplas diferenças em épocas distintas. Esta técnica permite a eliminação das ambiguidades, reduz os efeitos da atmosfera e dos parâmetros orbitais e minimiza os efeitos dos erros sistemáticos.

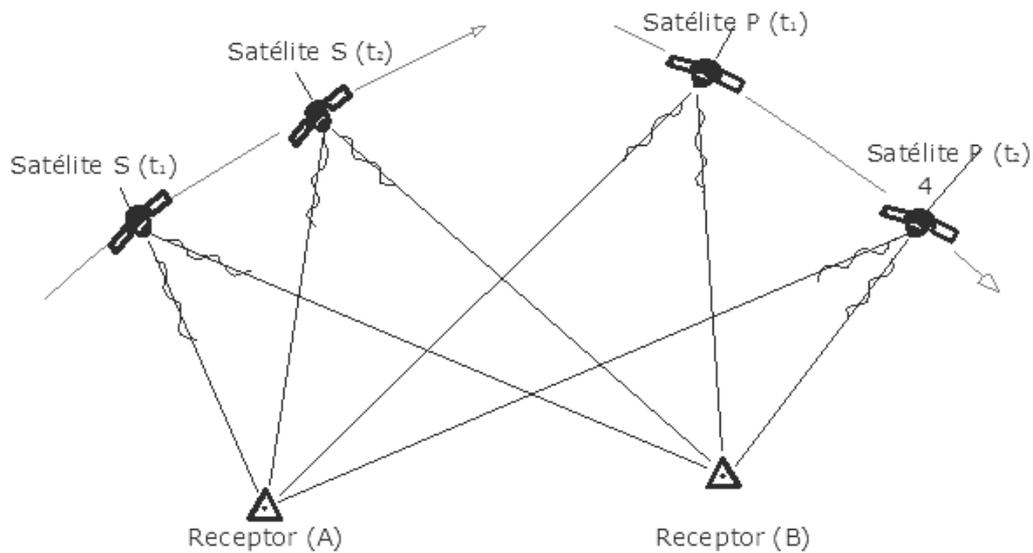


Figura 21 – Geometria da Tripla Diferença de Fase

A equação da observação da pseudodistância para a tripla diferença de fase, segundo Garnés, (2001) é:

$$P_{AB}^{SP}(t_2-t_1) = [\rho_{AB}^{SP}(t_1) - \rho_{AB}^{SP}(t_2)] + [T_{AB}^{SP}(t_1) - T_{AB}^{SP}(t_2)] + [I_{AB}^{SP}(t_1) - I_{AB}^{SP}(t_2)] - \lambda [N_{AB}^{SP}(t_1) - N_{AB}^{SP}(t_2)] - [\epsilon_{AB}^{SP}(t_1) - \epsilon_{AB}^{SP}(t_2)] \quad (12)$$

A equação de observação onda portadora para a tripla diferença de fase, segundo Garnés, (2001) é:

$$\phi_{AB}^{SP}(t_2-t_1) = [\rho_{AB}^{SP}(t_1) - \rho_{AB}^{SP}(t_2)] + [T_{AB}^{SP}(t_1) - T_{AB}^{SP}(t_2)] - [I_{AB}^{SP}(t_1) - I_{AB}^{SP}(t_2)] - \lambda [N_{AB}^{SP}(t_1) - N_{AB}^{SP}(t_2)] - [\epsilon_{AB}^{SP}(t_1) - \epsilon_{AB}^{SP}(t_2)] \quad (13)$$

2.1.6.4 – Modelos Estocásticos de Ajustamentos

Segundo Silva (2009), geralmente o posicionamento GNSS utiliza modelos estocásticos simplificados, o qual assume que todas as medidas das

observações têm a mesma variância e são estatisticamente independentes. O modelo estocástico descreve as propriedades estatísticas das observações na forma de matriz variância-covariância (MVC).

As variações no ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) e cálculos pelos algoritmos proprietários que fazem parte dos programas de cada fabricante de receptor GNSS, para a fixação de ambiguidades e processamento das observações geram diferenças nas determinações de coordenadas.

2.1.7 – Tipos de Altitudes

De modo genérico, pode-se definir altitude como sendo a distância que separa duas superfícies, de nível ou não, segundo uma determinada direção. Conforme a escolha das superfícies e da direção ter-se-á uma altitude específica: altitude geométrica (h), altitude ortométrica (H), ondulação geoidal (N), a anomalia de altura (ζ) e, finalmente, a altitude normal (H_N). A figura 22 elucida todas estas grandezas e as respectivas superfícies envolvidas.

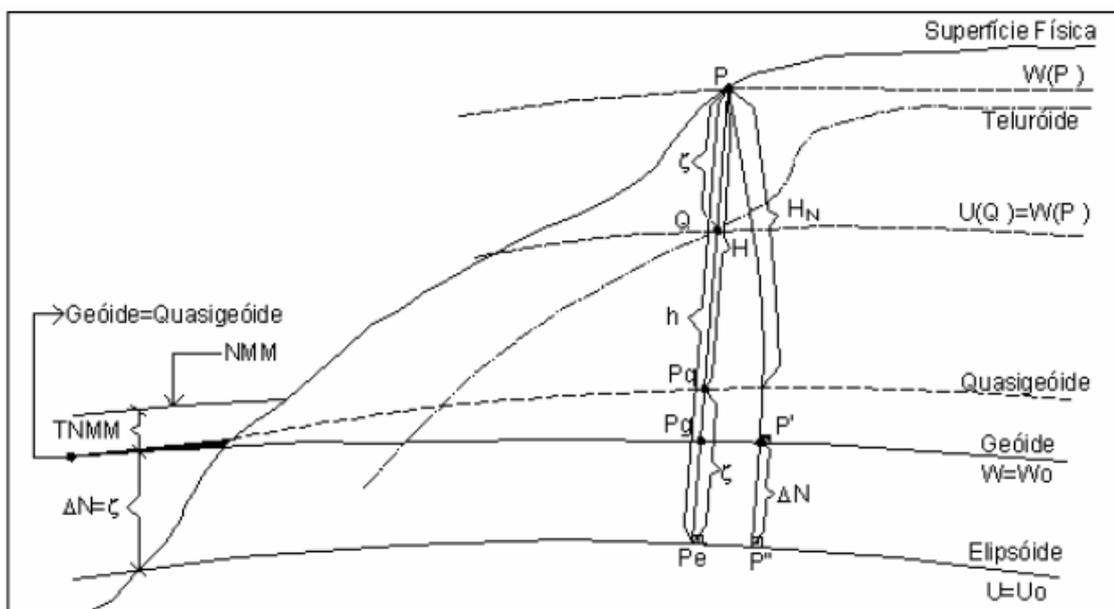


Figura 22 – Sistema de Altitudes.

Fonte: Freitas, Blitzkow (1999).

Além das superfícies citadas anteriormente, observa-se duas outras, o Teluroide, que é definida como sendo a superfície onde o potencial de gravidade da Terra real em P é igual ao potencial de gravidade da Terra normal (que é um elipsóide com a mesma massa M e mesma velocidade angular da Terra real) em Q. E o Quasigeoide que é obtido através da marcação da anomalia da altura (ζ) em relação ao elipsóide.

A Altitude ortométrica (H) é a distância vertical de um ponto “P” qualquer na superfície topográfica até o geóide, medida ao longo da linha de força local (direção do vetor de gravidade da terra). É obtida através do nivelamento geométrico. O Nivelamento Geométrico é a operação topográfica ou geodésica que tem por finalidade a medida do desnível entre dois pontos da superfície do geóide, referidos ao nível do mar e por isso chamada de referências de nível. Este procedimento consiste em realizar leituras em duas miras graduadas, ré e vante, utilizando um nível de luneta (Figura 23). A luneta ao ser nivelada estará com seu eixo ótico tangente à superfície equipotencial que passa pelo mesmo e as miras devem estar na posição vertical.

A diferença de leitura das duas miras representa a diferença de altitude dos pontos.

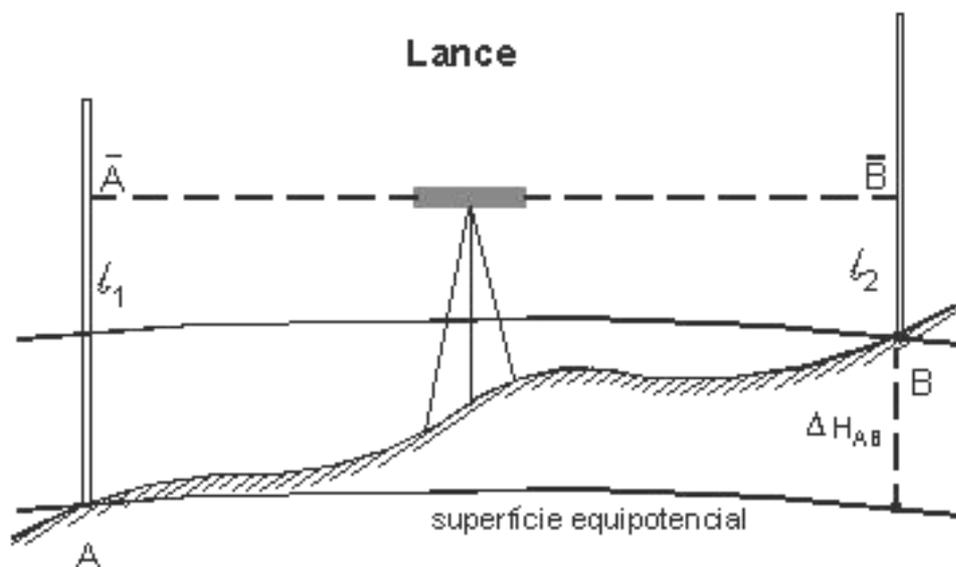


Figura 23 – Lance no Nivelamento Geométrico.

Fonte: Blitzkow, Campos e Freitas (2007).

A diferença de nível obtida desta forma depende do percurso percorrido pelo operador do instrumento, pois as superfícies equipotenciais não são paralelas entre si (figura 24). A altitude assim obtida é conhecida como altitude nivelada (FREITAS e BLITZKOW, 1999), que podem ser usadas em regiões pequenas com uma extensão máxima de 10 km onde o achatamento possa ser desprezado.

Quando for aplicada a correção ortométrica, que é a correção devido ao não paralelismo das superfícies equipotenciais, ao desnível medido buscando a consideração de ordem física em um levantamento, é eliminado o efeito da variação da distância entre os geópes devido à variação da latitude, e se tem a altitude conhecida por Altitude Normal Ortométrica (Altitude Ortométrica). Esta correção independe da gravimetria. (FREITAS e BLITZKOW, 1999).

Outra grandeza usada em engenharia é a cota que é a distância vertical de um ponto entre a superfície topográfica e um plano de referência qualquer arbitrário de maneira que os valores de elementos verticais da obra ou das curvas de nível sejam positivos. A cota pode ser obtida, também, através do nivelamento geométrico.

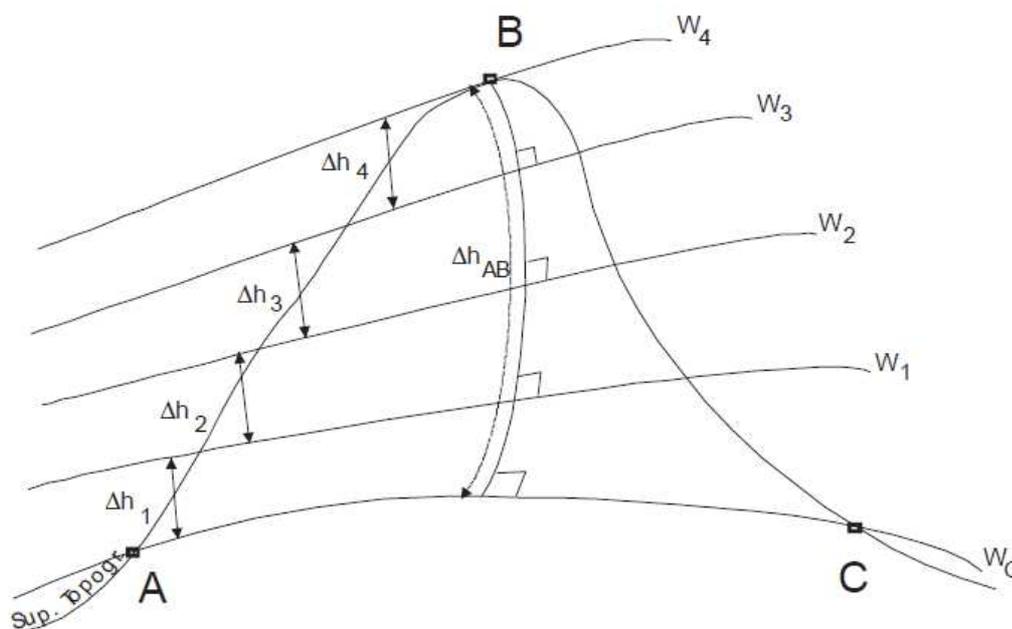


Figura 24 – Não Paralelismo das Superfícies Equipotenciais.

Fonte: Blitzkow, Campos e Freitas, (2007).

Ondulação geoidal ou altura geoidal (N) é, pode ser considerada aproximadamente igual à diferença entre as altitudes geométrica e ortométrica porque a diferença entre a normal ao elipsóide (que fornece h) e a normal ao geóide (que fornece H) é de poucos segundos de arco e podem ser consideradas paralelas. A figura 25 mostra a relação entre as altitudes ortométrica, geométrica e a ondulação geoidal.

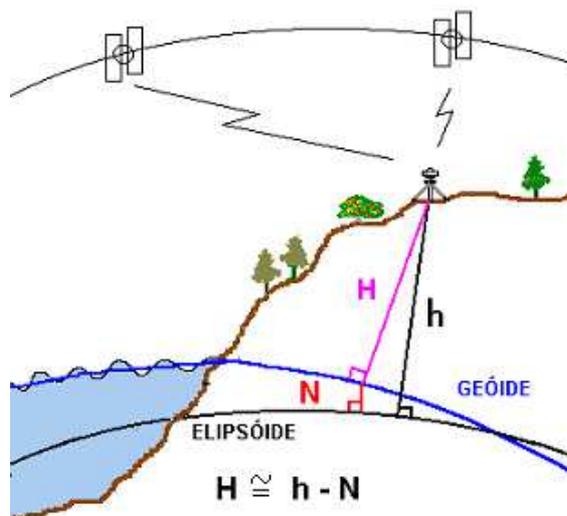


Figura 25 – Relação Entre as Superfícies Física (Superfície Topográfica), Geoidal e Elipsoidal.

Fonte: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/fig.htm>

Acesso em: 22-04-2012

De acordo com a figura 25 a relação matemática entre as altitudes pode ser:

$$h = H + N \quad (14)$$

Em que:

H - altitude ortométrica

h - altitude geométrica

N - ondulação geoidal

As curvas hipsométricas dos desenhos em projeção cartográfica das ondulações geoidais podem ser interpretadas da mesma forma que as curvas de

nível de um mapa topográfico comum. Elas representam as distâncias do geóide para a superfície do elipsóide de referência, assim curvas positivas indicam que o geóide está acima do elipsóide e curvas negativas indicam o contrário. A figura 26 mostra as zonas de ondulações negativas e positivas conforme o resultado da fórmula 14:

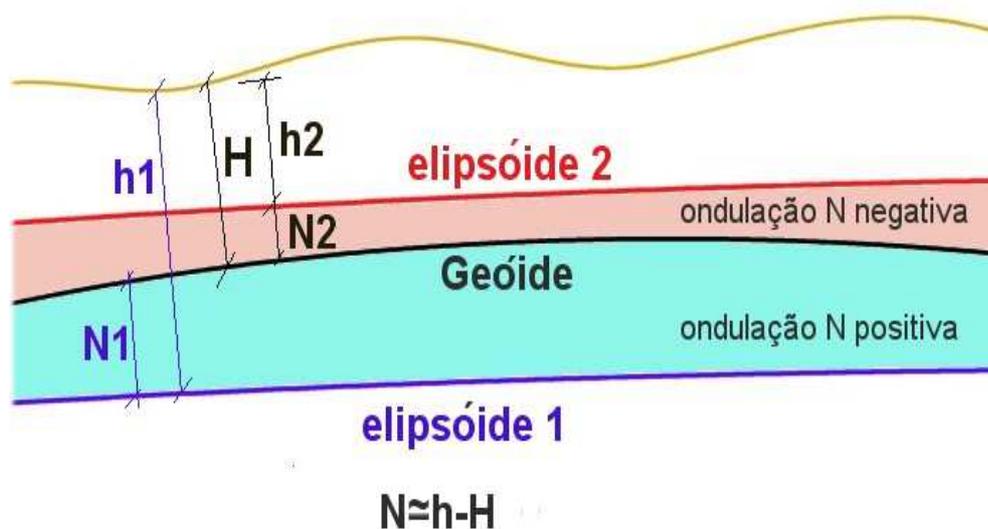


Figura 26: Interpretação dos sinais da Ondulação Geoidal.

O sentido da declividade máxima em um mapa de ondulação geoidal é normal às curvas, no ponto em que estejam mais próximas. A declividade em geral é da ordem de poucos milímetros por quilômetro, mas pode ser sensivelmente maior em regiões montanhosas e quando se concebe um geóide local, devido principalmente aos erros de determinação da altura geométrica pelo sistema GNSS.

Atualmente, discute-se o uso de outras altitudes como a altitude Helmert, altitude normal e a altitude dinâmica, as quais estão ligadas ao conceito do número geopotencial, que é definido segundo a equação 15.

$$C_p = W_0 - W_p \quad (15)$$

Em que:

C_p - Número Geopotencial em P

W_0 - Geopotencial do Geóide

W_p - Geopotencial do ponto P na superfície física

O Geopotencial é o potencial da gravidade da terra, e é representado por

$$W = V + \Phi \quad (16)$$

Em que:

W - Geopotencial

V - Potencial Gravitacional

Φ - Potencial Centrífugo

A altitude Helmert é a melhor aproximação prática da altitude ortométrica e é expressa pela seguinte fórmula matemática:

$$H_H = \frac{C_p}{g_{obs} + 0.0848H_{niv.}} \quad (17)$$

Em que:

H_H - Altitude Helmert

g_{obs} - gravidade do ponto P observada na superfície física

$H_{niv.}$ - Altitude nivelada

A altitude normal é um tipo de altitude que utiliza uma superfície de referência auxiliar, o teluroide, que pode ser encontrada usando o número geopotencial através da condição de Molondesky.

Segundo Freitas e Blitizkow (1999), a altitude normal do ponto P na superfície física da Terra é definida de forma similar à altitude ortométrica, entretanto, o campo de gravidade real é substituído pela gravidade normal.

$$H_N = \frac{C_p}{\gamma_m} \quad (18)$$

Em que:

H_N – Altitude Normal

C_p - Número Geopotencial em P

γ_m - Gravidade Normal

A altitude dinâmica é um tipo de altitude bastante recomendada para projetos de barragens, irrigação, drenagens dentre outros, pois depende da gravidade do local de trabalho para ser determinada. Apesar de não ter um sentido geométrico como a distância entre duas superfícies, a água flui de um ponto de maior valor de altitude dinâmica para um menor. Apresenta valor constante ao longo de um geópe, se a região onde ela está sendo usada não for muito extensa. É um dos tipos de altitudes chamado de ALTITUDE FÍSICA (BLITZKOW, CAMPOS e FREITAS 2007). É definida segundo a expressão matemática abaixo:

$$H_D = \frac{C_p}{\gamma^{45^\circ}} \quad (19)$$

Em que:

H_D - Altitude Dinâmica

C_p - Número Geopotencial em P

γ^{45° - Gravidade Normal para uma Latitude Padrão (usualmente 45°) ou um valor constante da gravidade (tal como a gravidade média da região)

2.1.8 – Precisão e Acurácia

Segundo Monico et. al. (2009) é importante lembrar que qualquer medida está sujeita aos mais variados tipos de erros, quer seja de natureza grosseira, sistemática ou aleatória.

A precisão de uma observação, num conjunto de medidas, indica o quanto este dado está próximo de sua média. precisão normalmente é quantificada pelo desvio padrão e o coeficiente de variação das observações, onde este expressa o

grau de aderência dos dados uns aos outros (SANTOS, 2010). a precisão de uma medida é tanto melhor quanto menor for a sua variância, refletindo o grau de cuidado e refinamento instrumental (OLIVEIRA, 2007).

A acurácia ou exatidão de um dado indica qual é a sua proximidade do valor mis provável (valor verdadeiro), sendo função da precisão e da tendenciosidade da medida.

De acordo com Mikhail e Ackermann (1976) apud Monico et. al. (2009), na figura 27, a estimativa p_2 é a menos precisa e que a estimativa p_3 é a mais precisa. Acrescentam que p_1 e p_2 são igualmente acurados, pois estão assumindo p como referência, mas que nenhum deles é tão preciso quanto p_3 .

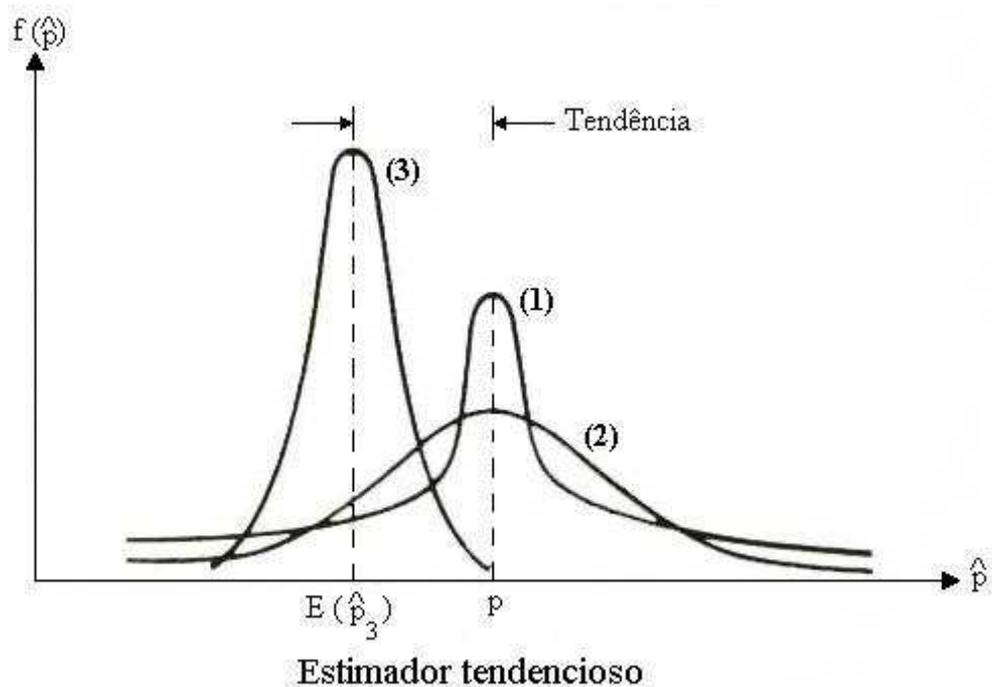


Figura 27 – Interpretação do Termo Acurácia e Precisão.

Fonte: Mikhail e Ackermann (1976)

2.2 – Padrões e Especificações de Elementos Altimétricos em Obras de Engenharia Civil

Todas as obras na área de engenharia civil devem atender a alguma especificação de tolerância para suas dimensões, em planimetria e altimetria, que deve ser seguida desde a fase de projeto, construção e até monitoramento posterior.

Como a proposta principal deste trabalho é o uso da altitude geométrica, ao invés da altitude ortométrica, para obras de engenharia civil, é necessária uma breve revisão bibliográfica no que se refere às especificações de declividades mínimas e máximas e de precisão absoluta de elementos altimétricos e em algumas dessas obras, principalmente as que exigem maior rigor no projeto e construção.

2.2.1– Obras de Saneamento Básico

O saneamento básico de uma determinada área depende inicialmente do dimensionamento do sistema, isto é, dos diâmetros e do tipo do tubo a ser utilizado para a rede.

Os esgotos são conduzidos por gravidade, assim sendo, no dimensionamento são calculadas as velocidades mínimas (de maneira a assegurar a auto limpeza da tubulação) e máximas (aquela que pode provocar o desgaste nas paredes da tubulação pelo efeito da abrasão) que dependem do diâmetro e das declividades da tubulação. Como a distribuição da tubulação pela área do projeto tem forte influência das declividades do terreno podem ocorrer problemas em regiões muito planas e haja dificuldade para adotar as declividades mínimas como as estabelecidas para coletores conforme os diâmetros da tabela 4.

Tabela 4 – Declividades Mínimas Conforme o Diâmetro

Fonte: Andrade, (2006).

Diâmetros (mm)	Declividades mínimas m/m	Diâmetros(mm)	Declividades mínimas m/m
150	0,0070	500	0,0015
200	0,0050	600	0,0010
250	0,0035	700	0,0008
300	0,0025	800	0,0006
350	0,0023	900	0,00045
400	0,0020	1000	0,00040
450	0,0018	1200	0,00035

2.2.2 – Drenagem de Pavimentos de Rodovias e Aeródromos

A drenagem é um elemento de grande importância nos pavimentos, não só para prolongar a vida útil da obra, mas para evitar possíveis acidentes causados pelo acúmulo de água sobre a pista (aquaplanagem). Um projeto de drenagem de rodovia envolve a retirada de águas de chuva que caem diretamente sobre as faixas de rolamento, com elementos para escoamento em sentido longitudinal e transversal, e obras para evitar que águas externas, dos cortes, talwegues e subterrâneas, atinjam a pista.

Os elementos comuns de drenagem das faixas de uma rodovia para escoamento em sentido longitudinal são as valetas nos cortes e banquetas nos aterros. Estes elementos são dispostos nas laterais e seguem um pouco abaixo das cotas do eixo da pista. Em terrenos ondulados ou montanhosos as declividades podem ir até 8% o que favorece o escoamento, mas em terrenos planos é preciso adotar declividades mínimas como 0,5%. Como as instruções para os levantamentos topográficos dos projetos de rodovias do DNIT (Departamento Nacional de Infra-

Estrutura de Transportes) (BRASIL, 2006) especificam nivelamento geométrico de acordo com a norma ABNT-NBR 13133/1994 classe IN, com tolerância de fechamento $12\text{mm K}^{1/2}$ sendo K (extensão nivelada) em quilômetros para fins de referência neste trabalho será considerado que a situação mais crítica de declividade mínima será essa tolerância, que equivale a 0,0012% ou 0,0012m/m.

Nas rodovias a declividade transversal mínima aconselhável de um pavimento asfáltico é de 2%, e 1,5% no caso de pavimentos de concreto (Brasil, 1999). Na figura 28 é mostrada uma seção transversal com inclinação de 2% e outros elementos de drenagem com as valetas de pé do corte e drenagem subterrânea que são obras para drenagem longitudinal. Existem várias situações em que a drenagem fica deficiente, como nos pontos baixos de curvas verticais côncavas (declividade nula) em que a drenagem depende apenas da declividade transversal da pista.

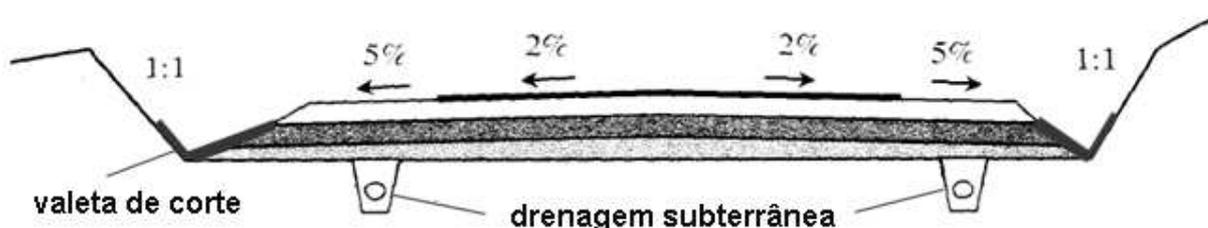


Figura 28 – Exemplo de Seção Transversal em Corte de uma Rodovia.

Fonte: Adaptado Pontes Filho, (1998).

Em pavimentos de aeródromos também existem os dois tipos de declividades a serem considerados para efeito de drenagem, sendo que o longitudinal dependente da classificação da pista. Os aeródromos classificam-se segundo o comprimento da pista, conforme a tabela 5.

Tabela 5 – Código de Referência de Aeródromo

Fonte: Adaptada Goldner, Santos e Cominara Junior, (2010).

Nº do Código	Comprimento da Pista de Referência (m)	Letra do Código
1	Menos de 800 m	A
2	De 800 m até 1200 m (exclusive)	B
3	De 1200 m até 1800 m (exclusive)	C
4	De 1800 m em diante	D

A declividade longitudinal também é especificada em porcentagem, que é a diferença entre a elevação máxima e mínima ao longo do eixo da pista pelo comprimento da pista, o qual não deverá exceder:

- 1% para número de código for 3 ou 4; e
- 2% para número de código for 1 ou 2.

A tabela 6 abaixo apresenta as larguras das pistas de pouso e decolagem segundo a letra do código.

Tabela 6 – Largura de Pistas de Pouso e Decolagem

Fonte: Goldner, Santos, e Cominara Junior, (2010).

Número de Código	Letra de Código					
	A	B	C	D	E	F
1 ^a	18m	18m	23m	-	-	-
2 ^a	23m	23m	30m	-	-	-
3 ^a	30m	30m	30m	45m	-	-
4 ^a	-	-	45m	45m	45m	60m

A declividade transversal deverá ser de preferência:

- 1,5% para letra de código C, D E ou F;
- 2% para letra de código A ou B.

2.2.3 – Projetos de Loteamento

Um projeto de loteamento exige antes de tudo um levantamento planialtimétrico da área a ser loteada, que geralmente são pequenas (em torno de 20 ha), para que seja feito um estudo de otimização do espaço. Esta análise determina os seguintes itens:

1. Arruamentos
2. Drenagem
3. Saneamento
4. Número de lotes
5. Área verde
6. Área pública

Nos itens 2 e 3 o estudo altimétrico é de fundamental importância para evitar o acúmulo de águas pluviais e um escoamento adequado para o sistema de saneamento.

De acordo com a Lei 6.766, em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), não será permitido o parcelamento do solo, salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes.

Na tabela 7 pode ser visto alguns intervalos de curvas de nível de acordo com a escala do mapa e as tolerâncias horizontal e vertical.

2.2.4. Recomendações Gerais para Projetos de Engenharia do FGDC

O FGDC (Federal Geographic Data Committee) dos Estados Unidos possui

um documento (FGDC, 2002) que fornece a escala de desenho, precisão horizontal e vertical necessárias, para os mais diversos tipos de projetos de engenharia. A título de exemplo, a tabela 7 apresenta um extrato com algumas especificações de projetos que exigem maior precisão. De modo geral as tolerâncias verticais de para construções em geral variam de 25 a 100 mm. O rigor maior é para monitoramento de estruturas, que exige 2 mm.

Tabela 7: Exemplos de Recomendações de Precisão e Tolerâncias para Projetos de Engenharia, Construção e Instalações de Serviços Públicos (FGDC, 2002).

Projeto ou Atividade	Escala do Mapa	Tolerância Horizontal	Tolerância Vertical	Intervalo de Curva de Nível
Plantas dos Locais de Construção em Geral. Detalhes Topográficos e Feições	1:500	100 mm	50 mm	250 mm
Plantas de Detalhes de instalações de Superfícies / Subterrâneas. Locação obras Elétricas, Mecânicas, Esgotos, etc.	1:500	100 mm	50 mm	NA
Detalhes dos Projetos de Pavimento de Aeródromo. Locação em Campo	1:500	25 mm	25 mm	250 mm
Estruturas de Controle, Diques, Barragens. Desenho de Detalhes do Projeto	1:500	25 mm	10 mm	250 mm
Vertedouros e Canais de Concreto. Planta do Projeto	1:1000	100 mm	100 mm	1.000 mm
Levantamentos e Estudos de Monitoramento de Deformações de Estruturas de Concreto Armado.	Diagramas de vetores de movimento	10 mm	2 mm	NA
Mapa de Limites de Instalações, Lotes, Parcelas, etc.	1: 1000	10 mm	100 mm	1.000 mm

3. ESTUDO DE CASOS

Para esta pesquisa foram utilizados dois estudos de caso. O caso 1 consiste da análise de dados de levantamentos altimétricos efetuados na área do campus da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco), parte na área interna e parte na externa (como mostra a figura 29), com uma extensão aproximada de 1025 m x 2078 m.



Figura 29: Área do caso 1 com os pontos medidos na pesquisa.

Fonte: Google Earth, versão 6.2.

Acesso em: 28-11-2012

A figura 29 mostra a localização de cada ponto que foi medido durante este trabalho com seu respectivo nome.

Esta área pode caracterizar um exemplo onde pode ser implantado um projeto de urbanização, com a construção de ruas (pavimentação e drenagem) ou a implantação de um parque industrial.

No caso 2 são utilizados os dados do canal da transposição do eixo norte do rio São Francisco (figura 30), cedidos pelo engenheiro Eduardo de Castro Melloni do consórcio Logos-Concremat, encarregado de fiscalizar a parte de levantamentos e controle dos trabalhos topográficos.



Figura 30: Área do caso 2 com os pontos do trecho estudado nesta pesquisa (Eixo Norte da Transposição do Rio São Francisco).

Fonte: Google Earth, versão 6.2.

Acesso em: 28-11-2012

3.1 – Estudo da Área da UFPE (Caso 1)

Esta área de estudo está localizada na Cidade Universitária, no Campus da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco) e nas proximidades. A figura 29, mostrada acima, apresenta a área levantada com o receptor GNSS e pelo nivelamento geométrico de precisão e a marcação dos pontos.

3.1.1 – Recursos Materiais

Os recursos materiais utilizados no estudo do caso 1 foram os seguintes:

a) Equipamentos

- Receptor GNSS Hiper Lite
- Receptor GPS GTR-1
- Nível Eletrônico da Leica DNA D3
- Mira de Invar com Barra de Código
- Computador

b) Programas Utilizados

- EZSurv Post Processor 2.4,
- Utilitário TechGeo – GTR - versão 2.9.305.0
- Topcon Tools 8.2,
- GNSS Solutions,
- MAPGEO2010,
- AstGeoTop,
- Métrica TopoEVN Fácil 6.6.5.4 - CAD

O EZSurv Post Processor 2.4, mais conhecido por EZSurv 2.4, é um programa de pós-processamento de dados GPS para receptores de uma frequência (L_1), fornecido com o receptor GTR-1.

O Utilitário TechGeo – GTR - versão 2.9.305.0, mais conhecido como Util, é um programa usado para programar e descarregar os receptores GTR.

O Topcon Tools e o GNSS Solutions são programas de pós-processamento de dados GNSS.

O MAPGEO2010 V1 (versão 1) é um sistema que fornece a ondulação geoidal (N). Foi concebido e produzido conjuntamente pelo IBGE, através da Coordenação de Geodésia (CGED), e pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Tem dois componentes: o Modelo de Ondulação Geoidal com resolução de 5' de arco, e o Sistema de Interpolação de Ondulação Geoidal, que possibilitam a obtenção da altura geoidal (N) de um ponto ou conjunto de pontos cujas coordenadas refiram-se tanto a SIRGAS2000 quanto a SAD69. Estas informações estão contidas no item ajuda MAPGEO2010.

O AstGeoTop versão 2012 é um programa científico criado pelo Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés com aplicações nas área de Astronomia, Geodésia e Topografia. Em Astronomia é usado para calcular a Transformação de Coordenadas Celestes, Cronômetro Sideral, Norte Verdadeiro das Estrelas. Em Geodésia as suas aplicações dividem-se em: Geométrica (que calcula a Geometria do Elipsóide de Revolução, o Problema Inverso da Geodésia, a Transformação de Sistemas Geodésicos e a Transformação de Coordenadas e Projeção Cartográfica), Celeste (que calcula o Posicionamento por Ponto Preciso – PPP, e a Velocidade da Placa Tectônica Sul Americana) e Física (que calcula o Polinômio de Legendre e o Modelo Geoidal). Em Topografia o programa é usado para: Organização de dados da Estação Total Zeiss, Levantamento Planimétrico, Coordenadas Retangulares para Azimutes e Distâncias, Calibração de Medidores Eletrônicos de Distância, Classificação Angular de Goniômetros, Curva Circular Simples. O item usado nesta pesquisa foi a aplicação do Modelo Geoidal e a Transformação de Coordenadas e Projeção Cartográfica.

O Métrica TopoEVN Fácil 6.6.5.4 - CAD é um programa topográfico que foi usado durante os trabalhos, para calcular as curvas de nível e os desenhos.

3.1.2 – Metodologia do Levantamento dos Pontos da UFPE

3.1.2.1 – Pontos da Rede

Para a obtenção da altitude geométrica e análise dos erros inerentes ao processo de medição altimétrico foi escolhido um determinado número de pontos que fica localizado dentro do campus da UFPE e nas proximidades conforme mostra a figura 29. Os pontos foram marcados com uma chapa metálica numerada (começando no M021). Além dos pontos marcados, faz parte desta série de pontos 03 (três) RRNN (RN3641 A, RN3641 B, RN3641 C). Ao todo o circuito é composto de 16 (dezesesseis) pontos, são eles: M021, M022, M023, M024, M030, M032, M033, RN3641 A, RN3641 B, RN3641 C, BRENNAND, ELÉTRICA, EXÉRCITO, IGREJA, ITEP, LAGO.

3.1.2.2 – Nivelamento Geométrico

Os pontos do circuito descrito acima foram levantados pelo nivelamento geométrico de precisão, inclusive as RRNN (para verificar a precisão das informações). Posteriormente, todos os pontos do circuito e as RRNN foram levantados com o receptor GNSS HIPER LITE, de duas frequências, e alguns pontos (M021, M022, M023, M024 e as RRNN) com o receptor GPS GTR-1, de uma frequência.

O nivelamento geométrico de precisão foi realizado com um nível digital Leica DNA D3 e uma mira de invar com código de barras. Todos os pontos do circuito foram nivelados e contra nivelados.

Os dados do nivelamento de precisão dos pontos do circuito dentro do campus da UFPE foram do trabalho de graduação do aluno Victor de Moura Pimentel, intitulado Implantação de Referências de Níveis de Alta Precisão no Campus Joaquim Amazonas da UFPE.

Os dados do nivelamento de precisão dos pontos do circuito fora do perímetro da UFPE foram levantados na disciplina Levantamentos Geodésicos, ministrada

pelos professores Sílvia Jacks e Andréia de Seixas.

3.1.2.3 – Levantamento com GNSS

Inicialmente alguns dos pontos da rede foram ocupados com o receptor GPS GTR-1 e posteriormente com o receptor HIPER LITE durante um tempo mínimo de 15 (quinze) minutos, pois as linhas de base neste caso são curtas, com a altura do bastão de 1.70m.

Os dados obtidos foram processados no programa Ezsuv 2.4, no Topcon Tools 8.2 e no GNSS Solutions, considerando, como base a RBMC de Recife. Os resultados são discutidos na seção 3.3.

Os dados rinex do GTR-1 somente quando processados no Ezsuv 2.4 apresentaram um resultado satisfatório para a componente vertical, como será mostrado na seção dos resultados.

Pelo fato de não se poder comparar os resultados da componente vertical obtidos com o receptor GTR-1 processadas fora do EZsuv 2.4, resolveu-se ocupar todos os outros pontos do circuito apenas com o receptor HIPER LITE e processar os dados obtidos por eles nos programas Ezsuv 2.4, Topcon Tools 8.2 e GNSS Solutions.

Os receptores utilizados na pesquisa foram os HIPER LITE da UFPE e os do IFPE (Instituto Federal de Pernambuco). Todos os pontos do circuito foram levantados com os receptores colocados com uma altura de 1.70 m no bastão, exceto no dia 11/06/2011, quando a altura utilizada foi de 2.00 m.

Os dados coletados pelo receptor HIPER LITE e pelo GTR-1 foram processados, tomando como base a RBMC de Recife. A componente vertical obtida é comparada com o nivelamento de precisão realizado em uma etapa anterior.

Nesta pesquisa, utilizou-se também o método RTK para medição de alguns pontos do circuito com dois pares de receptores HIPER LITE, sendo um par pertencente a UFPE e o outro ao IFPE. Esta parte da pesquisa teve o objetivo de comparar os dados obtidos com o mesmo modelo de receptor ocupando os mesmos pontos, no mesmo dia. As altitudes ortométricas dos pontos utilizados como base,

foram inseridas no instrumento antes de se começar o levantamento, dessa forma as altitudes obtidas nos receptores móveis poderia ser comparado com as altitudes ortométricas dos pontos diretamente.

Todos os dados GNSS levantados no caso 1 foram processados em três programas de pós-processamento distintos descritos no item 3.1.1.

3.2 – Estudo da Área da Transposição do Rio São Francisco (Caso 2)

Esta segunda parte da pesquisa analisa os dados de um trecho da Transposição do Rio São Francisco.

Devido a sua extensão e ao fato de ser uma obra que envolve o escoamento de um grande volume de água, foi implantada uma rede de nivelamento geométrico ao longo de todo o percurso do canal, além de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator). A rede de nivelamento geométrico teve por base uma única RN e a sua materialização foi complicada devido à precariedade dos acessos.

Os dados analisados nesta parte da pesquisa foram cedidos pelo engenheiro Eduardo Melloni, engenheiro do consórcio Logos-Concremat, encarregado de fiscalizar a parte de levantamentos e controle dos trabalhos topográficos.

Segundo Eduardo de Castro Melloni, o método de posicionamento RTK foi usado para conferência de projetos e para aferir a compactação de aterros.

Neste caso 2 foi realizada uma análise dos dados no programa AstGeoTop e posterior geração de modelos geoidais. O rastreamento desses pontos foi de no mínimo duas (02) horas, devido a grande distância entre as linhas de base.

3.3 – Resultados e Discussões

Os resultados serão discutidos em três etapas. Na primeira foram analisados os valores, precisões e discrepâncias obtidas das diferenças de rastreo e processamentos com os programas Ezsuv 2.4, Topcon Tools 8.2 (versão demo) e o GNSS Solutions. Na segunda foram gerados e analisados os mapas de ondulação

geoidal com o MAGEO2010 e AstGeotop. Finalmente na terceira etapa foi analisada a adequação dos experimentos às obras de engenharia.

3.3.1 – Resultados do Estudo do Caso 1

Os dados obtidos do estudo da área da UFPE durante os levantamentos foram processados em três programas diferentes. E como foi definido na metodologia, foram usados receptores de dois modelos diferentes, o receptor GTR-1 (L_1) e os HIPER LITE (L_1 , L_2). Alguns pontos foram medidos com o mesmo modelo de receptor (HIPER LITE), usando o método RTK, com a altitude ortométrica da base inserida à priori.

Os resultados obtidos nos processamentos dos pontos nos programas da EZSurv 2.4, Topcon Tools 8.2 (versão demo) e o GNSS Solutions são apresentados no decorrer deste tópico.

Analisando os resultados apresentados nos processamentos, nota-se que as coordenadas planas (latitude e longitude) são pouco afetadas pela variação de programas e receptores, o mesmo não ocorre para a componente vertical.

As tabelas completas com todos os processamentos nos três programas nos respectivos dias em que os pontos foram medidos encontram-se no apêndice (caso 1).

Neste tópico serão apresentados os resultados relevantes para as conclusões do trabalho.

A figura 31 apresenta a representação das linhas de bases dos pontos observados no caso 1. E na tabela 8 estão os pontos medidos no caso 1 com as coordenadas geodésicas, as altitudes ortométricas obtidas através do nivelamento geométrico de precisão e as linhas de base dos pontos (distâncias entre os pontos observados e a estação base, RECF, como mostra a figura 31).

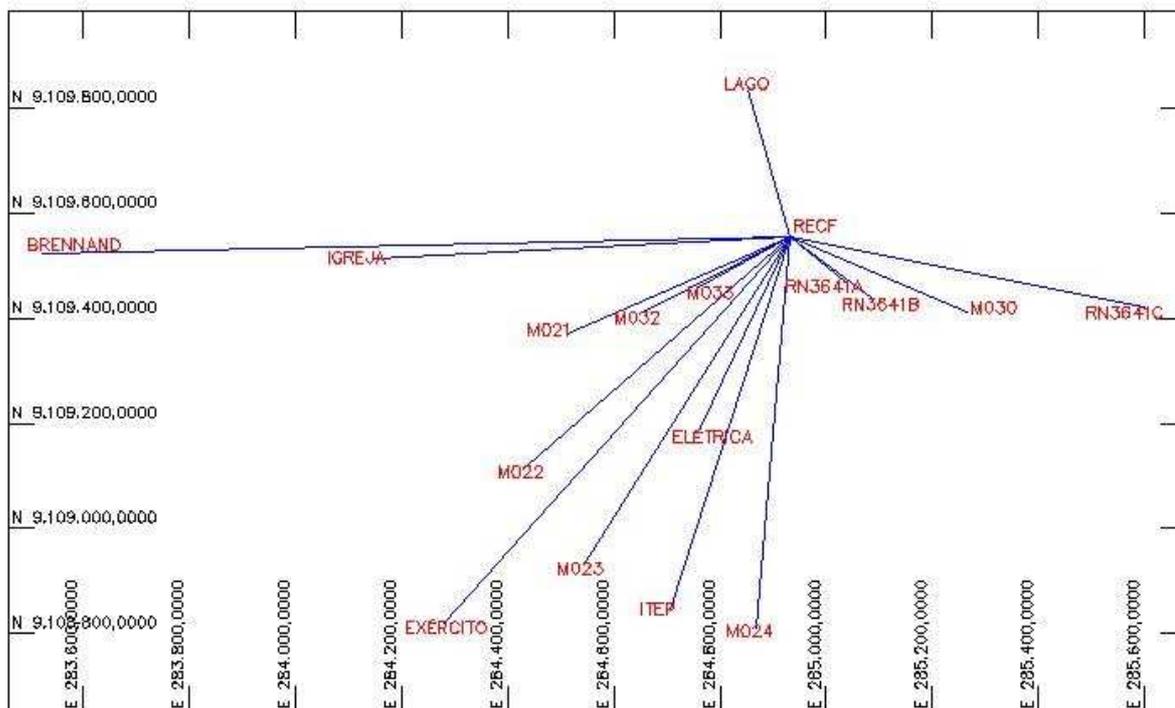


Figura 31: Linhas de Base dos Pontos do Caso 1

Tabela 8: Coordenadas Geodésicas e Altitude Ortométrica dos pontos medidos no caso 1.

Ponto	Latitude	Longitude	Alt. Ortométrica (H) m	Linhas de Base (m)
RECF	8°03'03,46970"S	34°57'05,45910"W	25,911	-
M021	8°03'09,41018"S	34°57'19,21259"W	8,334	459,045
M022	8°03'17,67006"S	34°57'21,80429"W	10,123	664,036
M023	8°03'23,70677"S	34°57'18,23331"W	8,942	734,637
M024	8°03'27,67435"S	34°57'07,61323"W	8,954	746,643
M030	8°03'08,19987"S	34°56'54,51888"W	8,954	365,206
M032	8°03'08,21736"S	34°57'14,66042"W	9,143	317,307
M033	8°03'06,60773"S	34°57'11,08767"W	9,331	197,508
BRENND	8°03'04,32328"S	34°57'51,45968"W	12,204	1408,998
ELÉTRICA	8°03'15,29937"S	34°57'11,00830"W	9,345	401,249
EXÉRCITO	8°03'27,31552"S	34°57'26,87575"W	9,454	983,469
IGREJA	8°03'04,68487"S	34°57'30,94549"W	10,688	781,404
ITEP	8°03'26,48514"S	34°57'12,96068"W	8,590	743,561
LAGO	8°02'54,32028"S	34°57'07,97647"W	9,711	291,508
RN3641A	8°03'06,31926S	34°57'02,04210W	11,382	136,443
RN3641B	8°03'07,24530S	34°57'00,48561W	9,221	191,830
RN3641C	8°03'07,87727S	34°56'43,64783W	9,534	681,550

Considerando a grande quantidade dos dados utilizados foi necessário dividir os diversos processamentos nos seguintes tópicos para uma melhor análise dos resultados.

3.3.1.1 – Levantamento Estático

a) Mesmo ponto, mesmo dia, receptores e programas diferentes.

Com o objetivo de analisar o desempenho dos receptores e programas diferentes em um mesmo dia (30-04-2011) foram observados sete (07) pontos com o receptor GTR-1 (apenas uma frequência, L_1) e estes mesmos pontos foram levantados com o receptor HIPER LITE (frequência L_1 e L_2). Os levantamentos foram executados de acordo com os procedimentos descritos na seção 3.1.2.3.

As altitudes geométricas variam muito por diferenças entre receptores; qualidade de construção dos circuitos, qualidade dos relógios, algoritmos internos, antenas e pelas diferenças dos algoritmos de ajustamento e resolução de ambiguidades, pesos das observações e estações, e modelos atmosféricos. Ocorreram muitas soluções flutuantes para linhas de base considerada curta (a maior do circuito com 1408,998 m). Também ocorreram alguns casos de solução fixada mas com a altitude geométrica fora da média.

O programa Ezsuv 2.4 fixou todos os pontos com exceção do M023 medido com o GTR-1, que se encontrava em um local com vegetação próxima. O programa Topcon Tools 8.2 fixou todos os pontos medidos com o receptor GTR-1. O programa GNSS Solutions fixou apenas três pontos, medidos com o receptor GTR-1, e os pontos medidos com o HIPER LITE fixaram todos. Comparando os resultados dos processamentos nos três programas usados, observou-se que:

- Para o programa Ezsuv 2.4 a variação das coordenadas planas (latitude e longitude) ocorre a partir da segunda casa decimal do segundo quando comparada com as coordenadas obtidas com o receptor HIPER LITE (conforme pode ser observado nas tabelas 28 e 29 do apêndice). As componentes verticais dos pontos que apresentaram solução fixa exibiram

uma precisão vertical entre 1,0 cm e 2,3 cm para os pontos medidos com o receptor GTR-1 e 0,6 cm e 1,8 cm para os pontos medidos com o receptor HIPER LITE. Esta análise considera apenas os pontos que apresentaram solução fixa.

- Para o programa Topcon Tools 8.2 a variação das coordenadas planas também ocorre a partir da segunda casa decimal do segundo quando comparada com as coordenadas obtidas com o receptor HIPER LITE (conforme pode ser observado nas tabelas 30 e 31 do apêndice). A componente vertical dos pontos apresentou uma precisão vertical entre 0,2 cm e 47,9 cm para os pontos medidos com o receptor GTR-1 (frequência L_1), e para o receptor HIPER LITE (frequência L_1, L_2), entre 0,2 cm e 6,6 cm.
- Para o programa GNSS Solutions a maioria dos pontos coletados com o receptor GTR-1 apresentou solução flutuante. A variação das coordenadas planas obtidas com o receptor GTR-1 e comparada com o HIPER LITE, ocorre a partir da segunda casa decimal do segundo (conforme pode ser observado nas tabelas 32 e 33 do apêndice). A componente vertical dos pontos apresentou uma precisão vertical entre 0,9 cm e 3,14 m para os pontos do receptor GTR-1 que tiveram solução fixa. Para o receptor HIPER LITE, a precisão vertical variou entre 0,1 cm e 1,6 cm.

As precisões citadas nas tabelas são as informadas pelo relatório de processamento e os intervalos comentados acima são em valores absolutos.

As tabelas 9 e 10 apresentam, de forma resumida, o que foi comentado anteriormente no que diz respeito à componente vertical. Os dados que aparecem em vermelho significa que o ponto apresentou solução flutuante.

Tabela 9: Pontos levantados dia 30-04-2011 com o receptor GTR-1.

Ponto	Receptor GTR-1					
	Ezsurv 2.4		Topcon Tools 8.2		GNSS Solutions	
	Alt. Geom. (h) m	Precisão Vertical (PV)m	Alt. Geom. (h) m	Precisão Vertical (PV)m	Alt. Geom. (h) m	Precisão Vertical (PV)m
RECF	20,180	0,000	20,180	0,000	20,180	0,000
M021	2,413	0,015	2,672	0,033	3,470	0,388
M022	4,395	0,010	4,398	0,013	3,614	0,009
M023	4,071	0,310	3,958	0,479	5,277	0,634
M024	3,254	0,016	3,208	0,012	3,908	0,219
RN3641A	5,684	0,023	5,649	0,014	6,670	0,302
RN3641B	3,516	0,011	3,491	0,002	3,285	0,402
RN3641C	5,805	0,017	4,096	0,017	5,306	3,143

Tabela10: Pontos levantados dia 30-04-2011 com o receptor HIPER LITE.

Ponto	Receptor Hiper Lite					
	Ezsurv 2.4		Topcon Tools 8.2		GNSS Solutions	
	Alt. Geom. (h) m	Precisão Vertical (PV)m	Alt. Geom. (h) m	Precisão Vertical (PV)m	Alt. Geom. (h) m	Precisão Vertical (PV)m
RECF	20,180	0,000	20,180	0,000	20,180	0,000
M021	2,527	0,006	2,506	0,017	2,440	0,001
M022	4,310	0,009	4,236	0,011	4,219	0,002
M023	3,766	0,143	3,224	0,066	3,831	0,002
M024	3,223	0,014	3,215	0,007	3,164	0,008
RN3641A	5,862	0,018	5,651	0,025	5,704	0,004
RN3641B	3,493	0,007	3,482	0,002	3,411	0,005
RN3641C	3,799	0,007	3,793	0,015	3,931	0,016

Os receptores diferentes e programas diferentes dão resultados incoerentes entre si. Não sendo possível detectar uma tendência ou padrão de comportamento

para os valores e precisões da componente vertical. Porém se observarmos esses mesmos pontos levantados por um mesmo receptor (o GTR-1 ou o HIPER LITER) e processados em programas diferentes, constatamos que:

- Para o receptor GTR-1 o programa Ezsurv 2.4 fixou todos os pontos com exceção do M023, que se encontrava em uma área com vegetação próxima. O programa Topcon Tools 8.2 apresentou solução fixa para todos os pontos, inclusive o M023, que mostrou uma precisão vertical de 0,479 (muito baixa). O programa GNSS Solutions apresentou solução fixa para três pontos, sendo que um desses exibiu uma precisão vertical muito ruim (RN3641C).
- Para o receptor HIPER LITER todos os pontos apresentaram solução fixa nos três programas, com exceção do M023 no EZSurv 2.4.
- A melhor precisão vertical para o receptor HIPER LITE ocorreu no processamento do GNSS Solutions.

De um modo geral o receptor HIPER LITE fornece resultados melhores que o receptor GTR-1 em precisão vertical.

- b) Mesmo ponto, dias diferentes, mesmo receptor (HIPER LITE) e programas diferentes.

Com o objetivo de verificar a qualidade dos dados obtidos em dias diferentes, repetiu-se o levantamento em alguns pontos do circuito. Os levantamentos foram executados de acordo com os procedimentos descritos na seção 3.1.2.3 em dias e horários diferentes.

Na ocupação de pontos em dias diferentes alteram-se a geometria e constelação de satélites, condições atmosféricas e posições de centragem da antena.

Os pontos a serem analisados são o M021, observado três vezes (nos dias 30/04, 14/05 e 11/06/2011); a RN3641 B, observada duas vezes (nos dias 30/04 e 14/05); a RN3641 C, observada duas vezes (nos dias 30/04 e 14/05); o M032, observado duas vezes (nos dias 14/05 e 11/06/2011); o M033, observado duas vezes (nos dias 14/05 e 11/06/2011). As coordenadas planas nos processamentos dos três programas (EZSurv 2.4, Topcon Tools 8.2 e GNSS Solutions) não

apresentam grandes variações com a captação dos dados em dias diferentes (como podem ser vistos nas tabelas 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 e 39 do apêndice), mas as coordenadas verticais mostram diferenças grandes e aleatórias (não condizentes com a ordem de grandeza das precisões verticais apresentadas nos relatórios de ajustamento dos programas), nos três processamentos, como podem ser observadas nas colunas “Alt Geom” e “PV” das tabelas 11 (M021), 12 (RN3641B), 13 (RN3641C), 14 (M032) e 15 (M033).

Tabela. 11: Dados da Altitude Geométrica do Ponto M021 Processados no EZSurv 2.4, Topcon Tools 8.2 e GNSS Solutions (receptor HIPER LITE).

Programa de Processamento	Data de Coleta de Dados	Ponto M021	
		Alt. Geom. (h)	PV (m)
EZSURV 2.4	30/04/2011	2,527	0,006
	14/05/2011	2,646	0,011
	11/06/2011	2,632	0,009
TOPCON TOOLS 8.2	30/04/2011	2,506	0,017
	14/05/2011	2,622	0,010
	11/06/2011	2,627	0,005
GNSS Solutions	30/04/2011	2,440	0,001
	14/05/2011	2,551	0,001
	11/06/2011	2,573	0,002
DESVIO PADRÃO		0,070	

Tabela. 12: Dados da Altitude Geométrica do Ponto RN3641 B Processados no EZSurv2.4, Topcon Tools 8.2 e GNSS Solutions (receptor HIPER LITE).

Programa de Processamento	Data de Coleta de Dados	Ponto RN3641B	
		Alt. Geom. (h)	PV (m)
EZSURV 2.4	30/04/2011	3,493	0,007
	14/05/2011	3,493	0,005
TOPCON TOOLS 8.2	30/04/2011	3,485	0,002
	14/05/2011	3,479	0,003
GNSS Solutions	30/04/2011	3,411	0,005
	14/05/2011	3,402	0,007
DESVIO PADRÃO		0,042	

Tabela 13: Dados da Altitude Geométrica do Ponto RN3641 C Processados no EZSurv 2.4, Topcon Tools 8.2 e GNSS Solutions (receptor HIPER LITE).

Programa de Processamento	Data de Coleta de Dados	Ponto RN3641C	
		Alt. Geom. (h)	PV (m)
EZSURV 2.4	30/04/2011	3,799	0,007
	14/05/2011	3,884	0,084
TOPCON TOOLS 8.2	30/04/2011	3,793	0,015
	14/05/2011	3,787	0,012
GNSS Solutions	30/04/2011	3,931	0,016
	14/05/2011	3,659	0,010
DESVIO PADRÃO		0,093	

Tabela 14: Dados da Altitude Geométrica do Ponto M032 Processados no EZSurv 2.4, Topcon Tools 8.2 e GNSS Solutions (receptor HIPER LITE).

Programa de Processamento	Data de Coleta de Dados	Ponto M032	
		Alt. Geom. (h)	PV (m)
EZSURV 2.4	14/05/2011	3,435	0,010
	11/06/2011	3,429	0,007
TOPCON TOOLS 8.2	14/05/2011	3,413	0,006
	11/06/2011	3,414	0,006
GNSS Solutions	14/05/2011	3,374	0,002
	11/06/2011	3,365	0,000
DESVIO PADRÃO		0,029	

Tabela 15: Dados da Altitude Geométrica do Ponto M033 Processados no EZSurv 2.4, Topcon Tools 8.2 e GNSS Solutions (receptor HIPER LITE).

Programa de Processamento	Data de Coleta de Dados	Ponto M033	
		Alt. Geom. (h)	PV (m)
EZSURV 2.4	14/05/2011	3,617	0,005
	11/06/2011	3,614	0,005
TOPCON TOOLS 8.2	14/05/2011	3,604	0,002
	11/06/2011	3,607	0,003
GNSS Solutions	14/05/2011	3,523	0,005
	11/06/2011	3,529	0,002
DESVIO PADRÃO		0,044	

Analisando-se as tabelas 11, 12, 13, 14 e 15 verifica-se que as precisões verticais apresentam valores pequenos, embora as altitudes geométricas na maioria das vezes tenham valores diferentes para um mesmo ponto processado em um mesmo programa, só que levantado em dias diferentes. Com exceção do ponto RN3641 B, processado no EZSurv 2.4 e medido nos dias 30-04-2011 e 14-05-2011 que apresentou o mesmo valor para a altitude geométrica. Logo, para a maioria dos pontos estudados neste tópico, a precisão vertical da altitude geométrica está boa, porém já não se pode dizer a mesma coisa quanto à acurácia do ponto.

3.3.1.2 – Levantamento RTK

Vários pontos foram levantados pelo método RTK no mesmo dia por dois pares de receptores do mesmo modelo HIPER LITE. As tabelas 16 e 17 apresentam as altitudes obtidas com os receptores da UFPE e do IFPE. A tabela 18 mostra as diversas diferenças entre as altitudes. Para esses pontos foi inserida a altitude ortométrica em cada uma das respectivas bases. As variações da componente vertical, em valores absolutos, entre a altitude ortométrica conhecida do ponto e a medida no instrumento da UFPE foi entre 0,2 cm e 6,0 cm (coluna h1); e para o instrumento do IFPE foi entre 0,2 cm a 12,4 cm (coluna h2). A variação da diferença (h1-h2) entre os dados de receptores (UFPE e IFPE) ficou entre 0,3 cm e 8,4 cm.

Tabela 16: Dados Obtidos com o Receptor HIPER LITE (RTK UFPE)

PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ORTOMÉTRICA RTK/UFPE
ELETRICA	8°03'15,29932S	34°57'11,00814W	9,352
LAGO	8°02'54,32029S	34°57'07,97777W	9,771
M033	8°03'06,60784S	34°57'11,08757W	9,336
M021	8°03'09,41006S	34°57'19,21219W	8,357
IGREJA	8°03'04,68503S	34°57'30,94565W	10,706
BRENNAND	8°03'04,32308S	34°57'51,45956W	12,244
EXÉRCITO	8°03'27,31530S	34°57'26,87557W	9,469
ITEP	8°03'26,48520S	34°57'12,96085W	8,592

Tabela 17: Dados Obtidos com o Receptor HIPER LITE (RTK IFPE)

PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ORTOMÉTRICA RTK/IFPE
ELET	8°03'15,30017S	34°57'11,00733W	9,349
LAGO	8°02'54,31909S	34°57'07,97742W	9,733
M33	8°03'06,60748S	34°57'11,08731W	9,325
M21	8°03'09,41031S	34°57'19,21269W	8,353
IGREJA	8°03'04,68450S	34°57'30,94693W	10,694
BRENNAND	8°03'04,32246S	34°57'51,46193W	12,328
EXERCITO	8°03'27,31676S	34°57'26,87661W	9,456
ITEP	8°03'26,48616S	34°57'12,96040W	8,599

Tabela 18: Diferença entre a altitude ortométrica do ponto e a ortométrica lida no receptor nos dois pares HIPER LITE (UFPE e IFPE)

Nota: Os Valores apresentados na tabela acima são medidos em metros.

PONTO	ALTITUDE ORTOMÉTRICA (H)	ORT. RTK/UFPE (h1)	ORT. RTK/IFPE (h2)	DIF. ENTRE ALT. (h1 - h2)	DIF. ENTRE ALT. (H - h1)	DIF. ENTRE ALT. (H - h2)
ELÉTRICA	9,345	9,352	9,349	0,003	-0,007	-0,004
LAGO	9,711	9,771	9,733	0,038	-0,06	-0,022
M033	9,331	9,336	9,325	0,011	-0,005	0,006
M021	8,334	8,357	8,353	0,004	-0,023	-0,019
IGREJA	10,688	10,706	10,694	0,012	-0,018	-0,006
BRENNAND	12,204	12,244	12,328	-0,084	-0,04	-0,124
EXÉRCITO	9,454	9,469	9,456	0,013	-0,015	-0,002
ITEP	8,590	8,592	8,599	-0,007	-0,002	-0,009

As diferenças entre as altitudes fornecidas pelos receptores RTK e as altitudes ortométricas variam entre -0,002 m e -0,023 m para o receptor da UFPE e de -0,002 m até -0,124 m para o receptor do IFPE. Este valor, do ponto BRENNAND é superior ao esperado para o RTK cuja distância da linha base é de 1408,998 m. Os desvios padrões foram 0,019 e 0,039 respectivamente para UFPE e IFPE.

3.3.1.3 – Cálculo da Ondulação Geoidal

Como já foi dito na seção 2.1.7 o sentido da declividade máxima em um mapa de ondulação geoidal é normal às curvas, no ponto em que estejam mais próximas. De modo geral as ondulações são suaves, em torno de poucos milímetros por quilômetro, como se ver nos mapas de ondulação geoidal gerados pelo Mapgeo2010 deste trabalho (Figuras 34 e 36). Em área com raio de poucos quilômetros a superfície pode ser considerada como uma superfície plana (para o

caso 1), como foi considerado no modelo matemático usado pelo programa Astgeotop:

$$N = Ax + By + C \quad (20)$$

Para o caso 2, cuja seção transversal do trecho analisado (Eixo Norte) é de aproximadamente 65 km e o modelo matemático usado foi:

$$N = Ax + By + Cxy + Dx^2 + Ey^2 + F \quad (21)$$

A variação máxima encontrada para a ondulação geoidal (N_1) entre os pontos do circuito calculada pelo MAPGEO2010 foi de 4 cm (de -5,51 m a -5,55 m), de acordo com a tabela 24. Já a ondulação geoidal calculada pela diferença entre as altitudes geométricas e ortométricas (N_2 - geóide local) apresentam uma variação muito grande, -3,729 m a -6,57 m, como podem ser observadas na tabela 19, e de -5,52 m a -5,904 m (tabelas 20, 21, 22). A análise foi feita pelos os tipos de receptores e os dias das observações. Cada tabela apresenta ainda os dados processados nos três programas para os mesmos dias e o mesmo receptor. Os dados em vermelho nas tabelas significam que o ponto apresentou solução flutuante.

Tabela 19: Variação da Ondulação Geoidal para o receptor GTR-1 (30/04/2011).

Ponto	Ond. Geoidal N_1 (MAPGEO 2010) m	Alt. Ortométricas (H) m	Receptor GTR-1		
			Ezsurv 2.4	Topcon Tools 8.2	GNSS Solutions
			Ond. Geoidal N_2 (h-H) m	Ond. Geoidal N_2 (h-H) m	Ond. Geoidal N_2 (h-H) m
RECF	-5,540	25,911	-5,731	-5,731	-5,731
M021	-5,540	8,334	-5,921	-5,662	-4,497
M022	-5,540	10,123	-5,728	-5,725	-6,570
M023	-5,540	8,942	-4,871	-4,984	-0,489
M024	-5,550	8,954	-5,700	-5,746	-5,046
RN3641A	-5,540	11,382	-5,698	-5,733	-4,712
RN3641B	-5,540	9,221	-5,705	-5,730	-4,147
RN3641C	-5,550	9,534	-3,729	-5,438	-4,227

Tabela 20: Variação da Ondulação Geoidal para o receptor HIPER LITE (30/04/2011).

Ponto	Ond. Geoidal N1 (MAPGEO 2010) m	Alt. Ortométricas (H) m	Receptor HIPER LITE		
			Ezsurv 2.4	Topcon Tools 8.2	GNSS Solutions
			Ond. Geoidal N2 (h-H) m	Ond. Geoidal N2 (h-H) m	Ond. Geoidal N2 (h-H) m
RECF	-5,540	25,911	-5,731	-5,731	-5,731
M021	-5,540	8,334	-5,807	-5,828	-5,894
M022	-5,540	10,123	-5,813	-5,887	-5,904
M023	-5,540	8,942	-5,176	-5,718	-5,111
M024	-5,550	8,954	-5,731	-5,739	-5,790
RN3641A	-5,540	11,382	-5,520	-5,731	-5,678
RN3641B	-5,540	9,221	-5,728	-5,736	-5,810
RN3641C	-5,550	9,534	-5,735	-5,741	-5,603

Tabela 21: Variação da Ondulação Geoidal para o receptor HIPER LITE (14/05/2011).

Ponto	Ond. Geoidal N1 (MAPGEO 2010) m	Alt. Ortométricas (H) m	Receptor HIPER LITE		
			Ezsurv 2.4	Topcon Tools 8.2	GNSS Solutions
			Ond. Geoidal N2 (h-H) m	Ond. Geoidal N2 (h-H) m	Ond. Geoidal N2 (h-H) m
RECF	-5,540	25,911	-5,731	-5,731	-5,731
M021	-5,540	8,334	-5,688	-5,712	-5,783
M032	-5,540	9,143	-5,708	-5,730	-5,769
M033	-5,540	9,331	-5,714	-5,727	-5,808
RN3641B	-5,540	9,221	-5,728	-5,742	-5,819
RN3641C	-5,540	9,534	-5,650	-5,747	-5,875

Tabela 22: Variação da Ondulação Geoidal para o receptor HIPER LITE (11/06/2011).

Ponto	Ond. Geoidal N1 (MAPGEO 2010) m	Alt. Ortométricas (H) m	Receptor HIPER LITE		
			Ezsurv 2.4	Topcon Tools 8.2	GNSS Solutions
			Ond. Geoidal N2 (h-H) m	Ond. Geoidal N2 (h-H) m	Ond. Geoidal N2 (h-H) m
RECF	-5,540	25,911	-5,731	-5,731	-5,731
M021	-5,540	8,334	-5,702	-5,707	-5,029
M030	-5,550	9,127	-5,717	-5,742	-5,822
M032	-5,540	9,143	-5,714	-5,729	-5,778
M033	-5,540	9,331	-5,717	-5,724	-5,802
BRENNAND	-5,510	12,204	-5,710	-5,691	-5,735
ELÉTRICA	-5,540	9,345	-5,723	-5,727	-5,797
EXÉRCITO	-5,540	9,454	-5,715	-5,729	-5,793
IGREJA	-5,530	10,688	-5,692	-5,711	-5,654
ITEP	-5,550	8,590	-5,725	-5,741	-5,822
LAGO	-5,530	9,711	-5,698	-5,658	-5,773

Os dados gerados nos processamentos foram avaliados no programa AstGeoTop que analisa os pontos estatisticamente através da matriz de discrepância entre as soluções para cada ponto de controle, desvio padrão dos resíduos, teste qui-quadrado uni-caudal para a variância e outros. Estes testes estatísticos foram realizados em duas etapas, a primeira é o “Relatório Preliminar para Geração do Geoide Local” e a segunda é o “Relatório Final para Geração do Geoide Local” para os pontos do caso 1(ver apêndice).

As análises dos dados da tabela 19, obtidos com o GTR-1, indicaram que os mesmos ficam sensivelmente discrepantes dos demais processamentos. Assim sendo foram desconsiderados nos processamentos seguintes.

A avaliação das tabelas 20 a 22 juntamente com a análise “Matriz de Discrepâncias entre Soluções para cada Ponto Controle” (tabelas 23 A e 23 B), obtida com o programa AstGeoTop, no “Relatório Preliminar para Geração do

Geoide Local”, proporcionou a escolha dos melhores dados para a geração do modelo geoidal local e conseqüentemente análise da altitude geométrica dos pontos medidos através da discrepância máxima e mínima encontradas. Essa escolha foi feita também com base nos parâmetros estatísticos do AstGeoTop, em que os pontos eram avaliados até passarem nos testes de detecção de erros grosseiros, no item discrepância máxima. A “Matriz de Discrepâncias entre Soluções para cada Ponto Controle” calcula as discrepâncias entre os pontos, pois considera cada ponto levantado como ponto de controle e compara as diferenças entre eles. A tabela 25 apresenta os melhores dados, obtidos com o HIPER LITE, de todos os pontos medidos, considerando todos os dias.

Tabela 23 A: Matriz de Discrepâncias entre Soluções para cada Ponto Controle obtida com o AstGeoTop para o Caso 1 (1ª Parte)

Estação	RECF	M021	M030	M032	M033	BRENNAND	ELÉTRICA	EXÉRCITO
RECF	0	-0,0186	0,0027	0,0013	-0,0051	-0,0165	-0,0058	0,0006
M021	-0,0186	0	0,0213	0,0199	0,0135	0,0021	0,0128	0,0192
M030	0,0027	0,0213	0	-0,0014	-0,0078	-0,0192	-0,0085	-0,0021
M032	0,0013	0,0199	-0,0014	0	-0,0064	-0,0177	-0,0071	-0,0007
M033	-0,0051	0,0135	-0,0078	-0,0064	0	-0,0114	-0,0007	0,0057
BRENNAND	-0,0165	0,0021	-0,0192	-0,0177	-0,0114	0	0,0107	0,0171
ELÉTRICA	-0,0058	0,0128	-0,0085	-0,0071	-0,0007	0,0107	0	0,0064
EXÉRCITO	0,0006	0,0192	-0,0021	-0,0007	0,0057	0,0171	0,0064	0
IGREJA	-0,0061	0,0126	-0,0087	-0,0073	-0,0009	0,0104	-0,0002	-0,0066
ITEP	0,0046	0,0232	0,002	0,0034	0,0097	0,0211	0,0105	0,004
LAGO	-0,0677	-0,0491	-0,0704	-0,0689	-0,0626	-0,0512	-0,0619	-0,0683
RN3641B	0,0005	0,0191	-0,0022	-0,0007	0,0056	0,017	0,0063	-0,0001
RN3641C	-0,0044	0,0142	-0,0071	-0,0057	0,0007	0,012	0,0014	-0,005
RN3641A	-0,0032	0,0154	-0,0059	-0,0044	0,0019	0,0133	0,0026	-0,0038
M022	0,1595	0,1781	0,1568	0,1582	0,1646	0,176	0,1653	0,1589
M023	-0,0141	0,0045	-0,0168	-0,0153	-0,009	0,0024	-0,0083	-0,0147
M024	-0,0011	0,0175	-0,0037	-0,0023	0,0041	0,0154	0,0048	-0,0017

Tabela 23 B: Matriz de Discrepâncias entre Soluções para cada Ponto Controle obtida com o AstGeoTop para o Caso 1 (continuação)

Estação	IGREJA	ITEP	LAGO	RN3641B	RN3641C	RN3641A	M022	M023	M024
RECF	-0,0061	0,0046	-0,0677	0,0005	-0,0044	-0,0032	0,1595	-0,0141	-0,0011
M021	0,0126	0,0232	-0,0491	0,0191	0,0142	0,0154	0,1781	0,0045	0,0175
M030	-0,0087	0,002	-0,0704	-0,0022	-0,0071	-0,0059	0,1568	-0,0168	-0,0037
M032	-0,0073	0,0034	-0,0689	-0,0007	-0,0057	-0,0044	0,1582	-0,0153	-0,0023
M033	-0,0009	0,0097	-0,0626	0,0056	0,0007	0,0019	0,1646	-0,009	0,0041
BRENNAND	0,0104	0,0211	-0,0512	0,017	0,012	0,0133	0,176	0,0024	0,0154
ELÉTRICA	-0,0002	0,0105	-0,0619	0,0063	0,0014	0,0026	0,1653	-0,0083	0,0048
EXÉRCITO	-0,0066	0,004	-0,0683	-0,0001	-0,005	-0,0038	0,1589	-0,0147	-0,0017
IGREJA	0	0,0107	-0,0616	0,0066	0,0016	0,0029	0,1656	-0,008	0,005
ITEP	0,0107	0	-0,0723	-0,0041	-0,0091	-0,0078	0,1549	-0,0187	-0,0057
LAGO	-0,0616	-0,0723	0	0,0682	0,0632	0,0645	0,2272	0,0536	0,0666
RN3641B	0,0066	-0,0041	0,0682	0	-0,005	-0,0037	0,159	-0,0146	-0,0016
RN3641C	0,0016	-0,0091	0,0632	-0,005	0	0,0013	0,1639	-0,0096	0,0034
RN3641A	0,0029	-0,0078	0,0645	-0,0037	0,0013	0	0,1627	-0,0109	0,0021
M022	0,1656	0,1549	0,2272	0,159	0,1639	0,1627	0	-0,1736	-0,1606
M023	-0,008	-0,0187	0,0536	-0,0146	-0,0096	-0,0109	-0,1736	0	0,013
M024	0,005	-0,0057	0,0666	-0,0016	0,0034	0,0021	-0,1606	0,013	0

Tabela 24: Coordenadas Planas (UTM) dos Pontos usados na geração dos Mapas da Ondulação Geoidal Local da UFPE.

Nota: Os pontos marcados em amarelos, apesar de fazer parte do circuito não foi considerado na geração do modelo do Mapa da Ondulação Geoidal Local da UFPE.

Ponto	Ond. Geoidal N1 (MAPGEO 2010) m	Ond. Geoidal N2 (h-H) m	Coordenadas Planas (UTM)	
			Este (E)	Norte (N)
RECF	-5,540	-5,731	284931,043	9109554,895
M021	-5,540	-5,707	284510,725	9109370,355
M030	-5,550	-5,742	285266,772	9109411,153
M032	-5,540	-5,729	284649,957	9109407,672
M033	-5,540	-5,724	284759,133	9109457,652
BRENNAND	-5,510	-5,691	283522,431	9109521,922
ELÉTRICA	-5,540	-5,727	284762,839	9109190,604
EXÉRCITO	-5,540	-5,729	284278,682	9108819,069
IGREJA	-5,530	-5,711	284150,719	9109513,826
ITEP	-5,550	-5,741	284704,693	9108846,623
LAGO	-5,530	-5,658	284852,609	9109835,653
RN3641A	-5,540	-5,731	285036,104	9109467,838
RN3641B	-5,540	-5,736	285083,906	9109439,612
RN3641C	-5,550	-5,741	285599,640	9109422,650
M022	-5,540	-5,887	284432,571	9109116,181
M023	-5,540	-5,718	284542,816	9108931,219
M024	-5,550	-5,739	284868,626	9108810,865

No apêndice pode ser observada a diferença entre a “Matriz de Discrepâncias entre Soluções para cada Ponto Controle” com todos os pontos iniciais, primeira etapa do processamento, e a “Matriz de Discrepâncias entre Soluções para cada Ponto Controle” com os pontos selecionados para a geração do geoide local, que são da segunda etapa.

A figura 32 são apresentado o mapa de ondulação geoidal local ($N_2 = h - H$) para o caso 1, para os dados da tabela 24, gerado no programa TopoEVN.

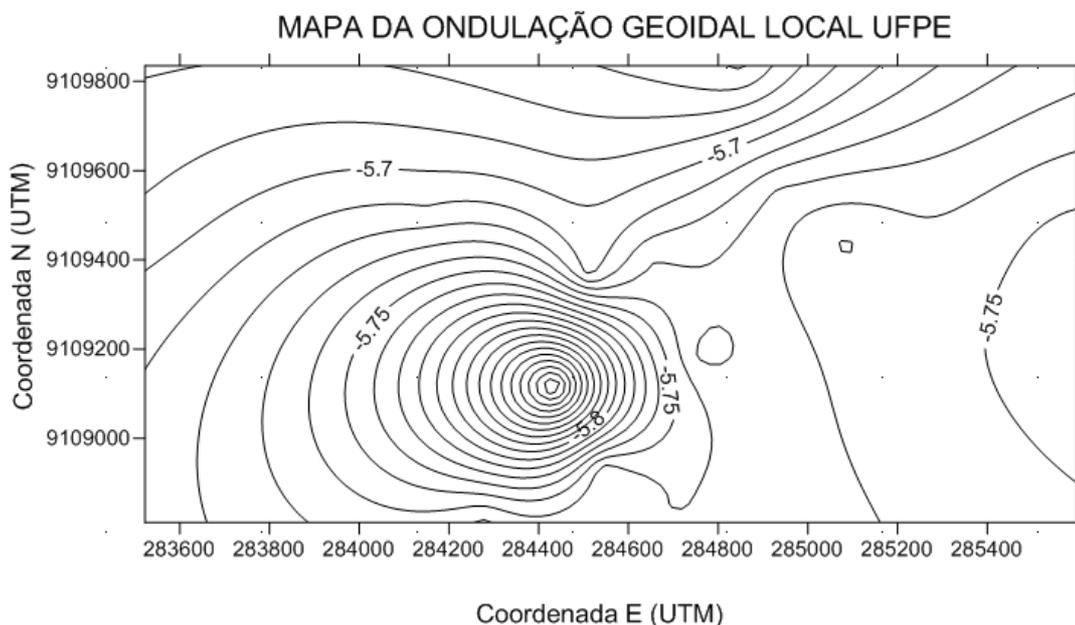


Figura 32: Mapa da Ondulação Geoidal Local do Caso 1.

Analisando o mapa da ondulação geoidal local mostrado na figura 32, verifica-se um pico no desenho não compatível com a ondulação geoidal gerada no MAPGEO2010 e nem com a topografia do terreno, caracterizando um erro. Este pico corresponde ao ponto M022.

Na geração do modelo geoidal com o AstGeotop são realizados vários cálculos de estatísticas para verificação de consistência entre os dados e eliminação de pontos com erros grosseiros que são apresentados no “Relatório Preliminar Para Geração do Geoide Local” (ver relatório completo no apêndice). Um desses resultados compõe a “matriz de discrepância entre as soluções para cada ponto de controle”, mostrada nas tabelas 23 A e 23 B como exemplo. Quando o M022 é considerado com ponto de controle, na tabela 23 A e 23 B, as discrepâncias são maiores que os demais pontos (ver linha ou coluna do ponto M022 da referida tabela). Além disso, os testes de detecção de erros grosseiros recomendam a eliminação do ponto M022 (ver tabela 25).

Tabela 25: Exemplo de Resultado da Análise de Detecção de Erros Grosseiros pelo Programa AstGeoTop

1. Método: $|v_i| > 2 \cdot \text{sig}(v)$ [0,086196]

Observações que podem ter erros grosseiros!

Critério 2xsigma:

M022 Resíduo = 0,1584

2. Método: Data Snopping de Baarda (1968) para alfa=5%

ESTACAO V(padronizado) Decisão: $|V_p| < 1,96$

RECF	1,5249	Ok
M021	-2,4849	Erro Grosseiro
M030	0,2382	Ok
M032	0,3611	Ok
M033	-0,6938	Ok
BRENNAND	-0,6485	Ok
ELÉTRICA	-1,9061	Ok
EXÉRCITO	-1,3425	Ok
IGREJA	-0,1716	Ok
ITEP	-0,1225	Ok
LAGO	-3,2946	Erro Grosseiro
RN3641B	0,1988	Ok
RN3641C	-0,3947	Ok
RN3641A	-0,0914	Ok
M022	12,3075	Erro Grosseiro
M023	-0,2618	Ok
M024	-0,8777	Ok

A observação de M022 é a mais indicada para ter erro grosseiro no modelo $N = Ax + By + C$
Desconsidere esse ponto como ponto de controle refaça o ajustamento

3. Método: tau de Pope(1976) para alfa=10%

ESTACAO V(padronizado) Decisão: $|V_p| < 2,51$

RECF	0,4369	Ok
M021	-0,7119	Ok
M030	0,0683	Ok
M032	0,1035	Ok
M033	-0,1988	Ok
BRENNAND	-0,1858	Ok
ELÉTRICA	-0,5461	Ok
EXÉRCITO	-0,3846	Ok
IGREJA	-0,0492	Ok
ITEP	-0,0351	Ok
LAGO	-0,9439	Ok

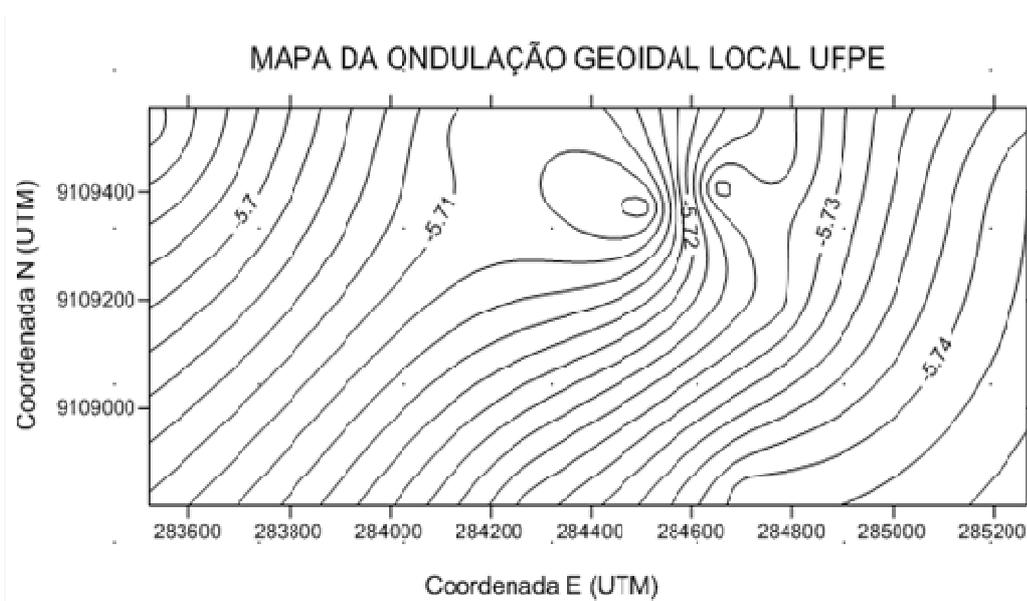
RN3641B	0,0570	Ok
RN3641C	-0,1131	Ok
RN3641A	-0,0262	Ok
M022	3,5261	Erro Grosseiro
M023	-0,0750	Ok
M024	-0,2515	Ok

A observação de M022 é a mais indicada para ter erro grosseiro no modelo $N=Ax+By+C$. Desconsidere esse ponto como ponto de controle refaça o ajustamento

Estatísticas do modelo avaliado ($N=Ax+By+C$):

Média discrepância	=	0,0014	
Média absoluta	=	0,0191	
Discrepância máxima	=	0,1625	--> M022
Discrepância mínima	=	-0,0635	--> LAGO
Amplitude	=	0,2260	
Erro médio quadrático	=	0,0431	

Analisando os resultados dos processamentos no Topcon Tools 8.2 e no GNSS Solutions (que processam L_1 e L_2) não se detecta o erro do ponto M022. A altitude geométrica calculada no processamento é de 4,236 m, com precisão vertical de 0,011 m, no Topcon Tools 8.2 e de 4,219 m, com precisão vertical de 0,002 m, no GNSS Solutions (tabela 10), portanto a discrepância é de apenas 0,017 m, que é pouco maior que o desvio padrão dado pelo Topcon Tools 8.2.



Seguindo o mesmo raciocínio descrito acima, também foram rejeitados os pontos M023 e o LAGO. Apesar do ponto BRENNAND não ter apresentado resultados ótimos, sua posição favorecia a geometria do circuito dos pontos medidos, como pode ser observado na figura 31, e por este motivo ele foi incluído no Modelo de Ondulação Geoidal final para o caso 1. As figuras 34 e 35 apresentam a ondulação geoidal gerada com os dados calculados através do MAPGEO2010 e dos dados gerados no programa AstGeoTop. Dessa forma é possível fazer as comparações necessárias entre os mapas e nota-se que os sentidos de declividade são semelhantes.

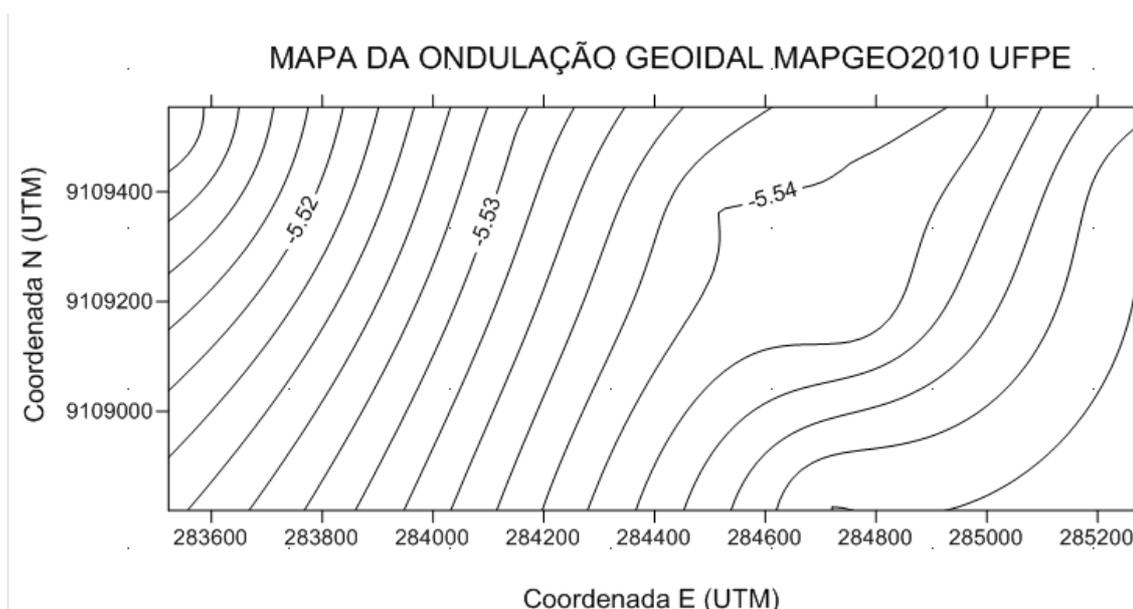


Figura 34: Mapa da Ondulação Geoidal MAPGEO2010 do Caso 1.

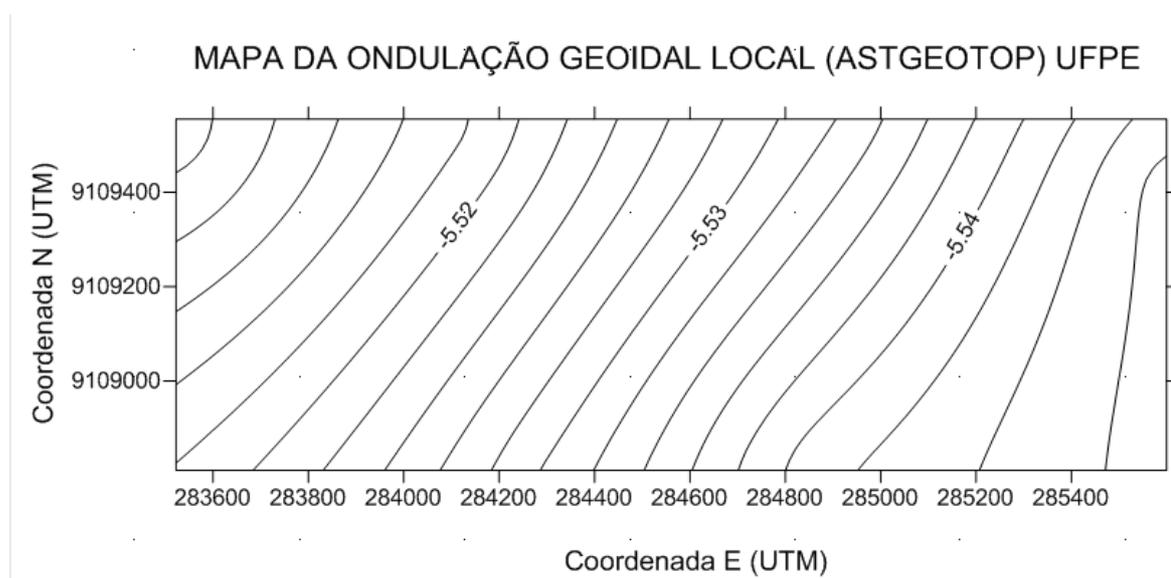


Figura 35: Mapa da Ondulação Geoidal AstGeoTop do Caso 1.

3.3.1.4 – Resumo de Discussão dos Resultados do Caso 1

A variação de resultados das altitudes geométricas é muito grande, seja entre receptores diferentes, programas diferentes ou dias diferentes. Nesta pesquisa, por haver dados redundantes foi fácil identificar as discrepâncias, mas em uso diário, nos canteiros de obras ou levantamentos para projetos isto não ocorrerá, mas é fundamental a adoção de procedimentos de verificação de precisão.

Os dados do caso 1 foram coletados com o método estático rápido (15min) e RTK. Os procedimentos adotados neste caso são os indicados para a implantação de uma rede de nivelamento geométrico ajustada e levantamento com GNSS para definição da ondulação local. Havendo a disponibilidade de programa como o Astgeotop é possível eliminar erros grosseiros e ser obtido um mapa com precisão de poucos milímetros.

Para os casos normais da prática diária, não tendo disponível uma rede com nivelamento geométrico, a recomendação é ocupar todos os pontos da rede duas vezes como o GNSS, como é o procedimento comum de nivelamento e contranivelamento. Caso ocorra alguma discrepância acima de um valor tolerado para a obra é preciso nova medição. Este procedimento de repetir medições com rastreo rápido, no geral, é mais vantajoso que aumentar o tempo de rastreo de

todos os pontos, principalmente se forem muitos e próximos entre si (SVABENSKY E WEIGEL, 2002).

Quanto ao desempenho dos receptores, ainda com base em resultados desta pesquisa, verificou-se que os dados do GTR-1, apenas com a portadora L₁, foram piores que os dados do HIPER LITE, porém isto não coincide com a teoria e os resultados de outras pesquisas com linhas de base curtas. Os receptores de uma frequência (L₁) podem ser usados e até darem melhores resultados, então é preciso fazer uma comparação especial do GTR-1 com outros receptores equivalentes.

Quanto aos resultados de processamento pelos programas EZSurv 2.4, Topcon Tools 8.2 e GNSS Solutions foram detectadas diferenças significativas. Muitos dos resultados do GNSS Solutions tiveram variação além do aceitável, embora os outros programas como EZSurv 2.4 e Topcon Tools 8.2 também apresentaram resultados discrepantes. A solução para isto é proceder a uma verificação geral em campo de calibração para avaliar o conjunto, receptor e programa, realizando um levantamento com tempo de rastreamento similar ao usado na prática. O uso de campo de calibração, como forma de assegurar que um conjunto, receptor-programa, atenda certas especificações é previsto em algumas normas internacionais como LINZ (1998) e sugerido, por exemplo, em Naved et. al., (2002).

3.3.2 – Resultados do Estudo do Caso 2

As figuras 36 e 37 apresentam a ondulação geoidal gerada com os dados calculados através do programa MAPGEO2010 e do AstGeoTop para o caso 2 de um trecho do Eixo Norte da Transposição do rio São Francisco. Os mapas foram gerados no programa TopoEVN

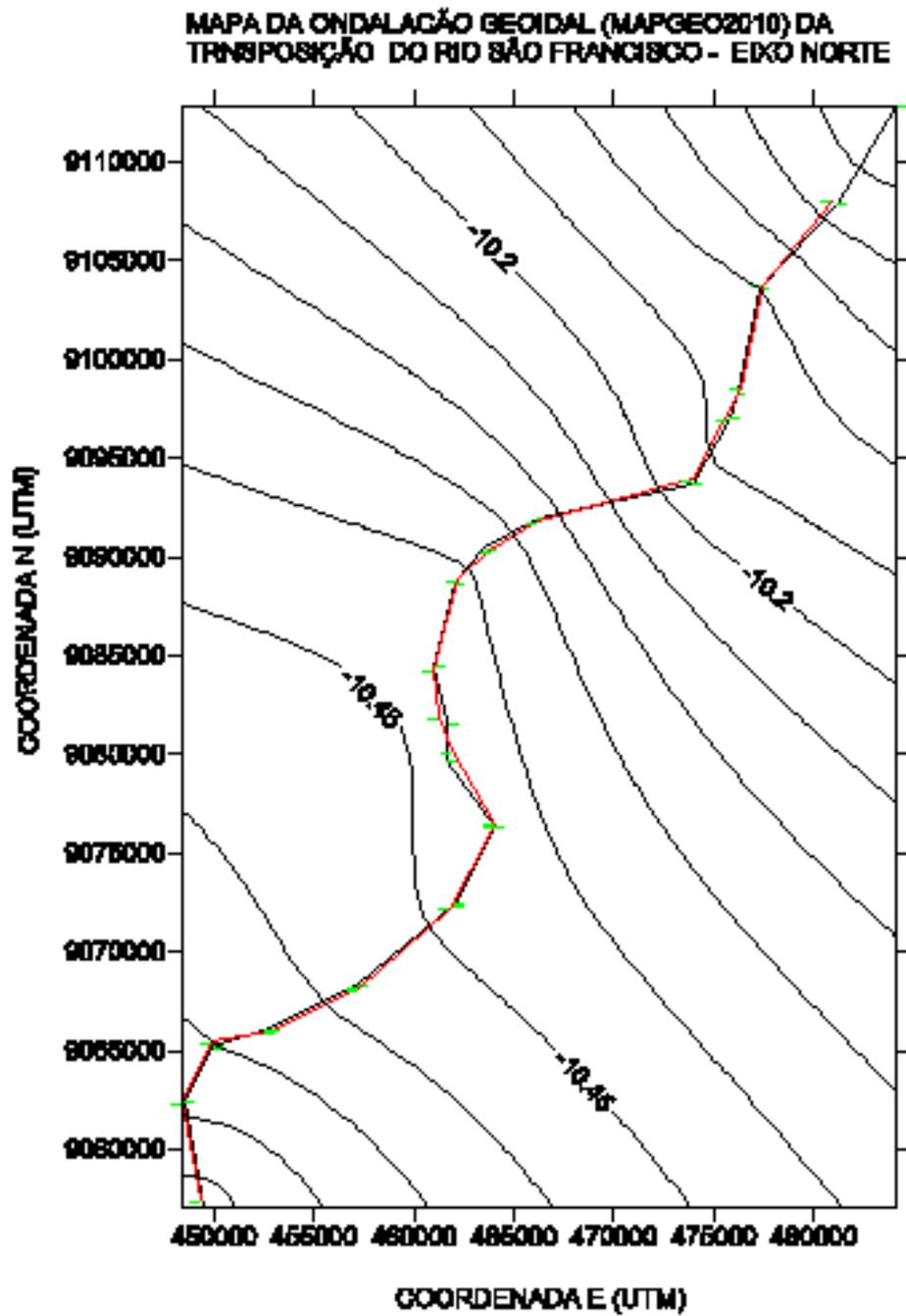


Figura 36: Mapa da Ondulação Geoidal MAPGEO2010 do Caso 2.

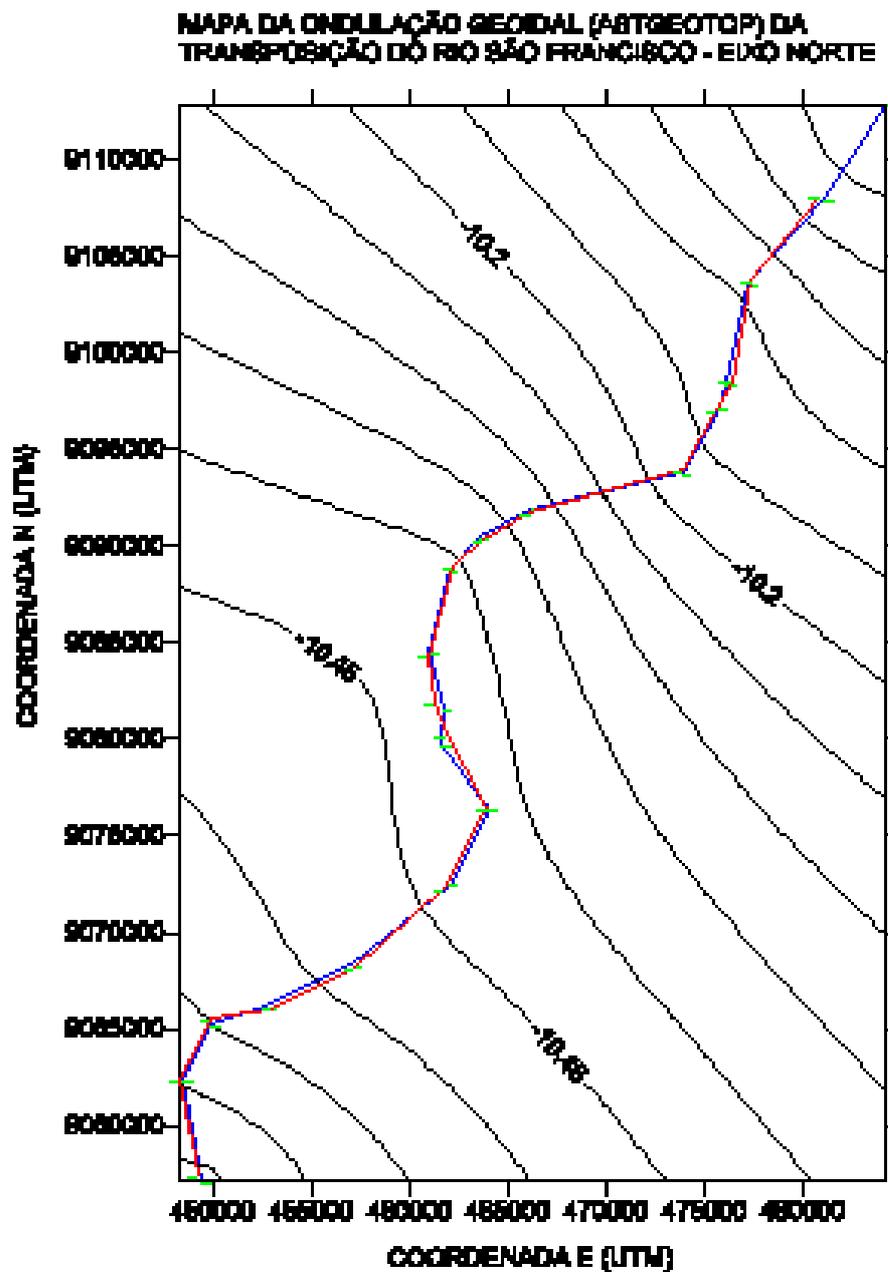


Figura 37: Mapa da Ondulação Geoidal (ASTGEOTOP) do Caso 2.

As figuras 36 e 37 foram geradas a partir da tabela 26, só que as coordenadas foram transformadas para o SIRGAS2000.

Tabela 26: Dados do caso 2 (Transposição do Rio São Francisco)

COORDENADAS UTM SAD-69 MC -39(AJUSTADA)					
PONTO	NORTE	ESTE	Alt. Elipsoidal	Alt.Ortométrica	Obs:
93709-SAT	9.059.214,248	465.990,043	345,040		V. (IBGE)
93711-SAT	9.110.868,648	485.009,337	488,200		V. (IBGE)
92358-SAT	9.149.824,650	499.035,882	462,610		V. (IBGE)
MI-001A	9.057.160,139	449.479,929	349,286	334,544	
MI-001B	9.057.456,235	449.352,939	361,115	346,357	
MI-002A=RN4	9.062.477,644	448.561,315	381,525	366,725	
MI-002B	9062420,535	448426,491	380,989	366,188	
MI-003A	9.065.264,181	449.975,286	370,579	355,706	
MI-003B	9.065.521,252	449.911,980	373,702	358,831	
MI-004A	9.066.169,637	452.835,301	357,326	342,418	
MI-004B	9.066.108,593	453.029,543	356,985	342,068	
MI-005A	9.068.388,090	457.182,575	374,938	359,887	
MI-005B	9.068.237,662	457.294,396	361,533	346,490	
MI-006A	9.072.482,740	462.044,273	381,938	366,787	
MI-006B	9.072.268,722	461.805,718	392,476	377,320	
MI-007A	9.076.398,733	464.119,071	375,648	360,447	
MI-007B	9.076.526,219	464.031,711	373,873	358,665	
MI-008A	9.079.760,703	461.692,602	370,979	355,773	
MI-008B	9.080.248,091	461.904,432	364,083	348,867	
MI-009A	9.081.646,612	461.733,870	368,928	353,685	
MI-009B	9.081.988,786	461.300,972	364,570	349,342	
MI-010A	9.084.573,835	461.067,526	382,564	367,321	
MI-010B	9.084.371,132	461.002,192	378,763	363,527	
MI-011A	9.088.762,472	462.046,982	378,243	362,963	
MI-011B	9.088.927,909	462.229,502	380,268	364,985	
MI-012A	9.090.473,747	463.603,508	422,338	407,030	
MI-012B	9.090.366,481	463.867,209	413,450	398,138	
MI-013A	9.092.030,098	466.230,358	422,798	407,449	
MI-013B	9.091.831,865	466.248,861	425,695	410,336	
MI-014A	9.093.784,838	473.949,523	410,014	394,561	
MI-014B	9.093.956,368	473.974,411	411,771	396,314	
MI-015A	9.097.132,278	475.818,271	402,590	387,080	
MI-015B	9.097.086,763	475.638,698	405,910	390,450	
MI-016A	9.098.448,118	476.206,229	427,394	411,847	
MI-016B	9.098.575,512	476.387,547	431,091	415,551	
MI-017A	9.103.652,310	477.307,774	445,092	429,481	
MI-017B	9.103.747,867	477.461,008	448,414	432,800	
MI-018A	9.107.979,254	481.148,404	517,476	501,715	
MI-018B	9.108.048,526	480.892,801	511,861	496,108	
MI-019A	9.112.925,496	484.193,322	505,294	489,433	

Revisada em 08/12/09. Correção das altitudes ortométricas dos marcos MI-15A e MI-15B.

Com os dados da tabela 26, foi possível gerar um perfil comparativo a entre as altitudes geométricas, ortométricas e a ondulação geoidal de um lado e do outro do canal da transposição do Rio São Francisco (em Sad69), como pode ser visto nos gráficos a seguir.

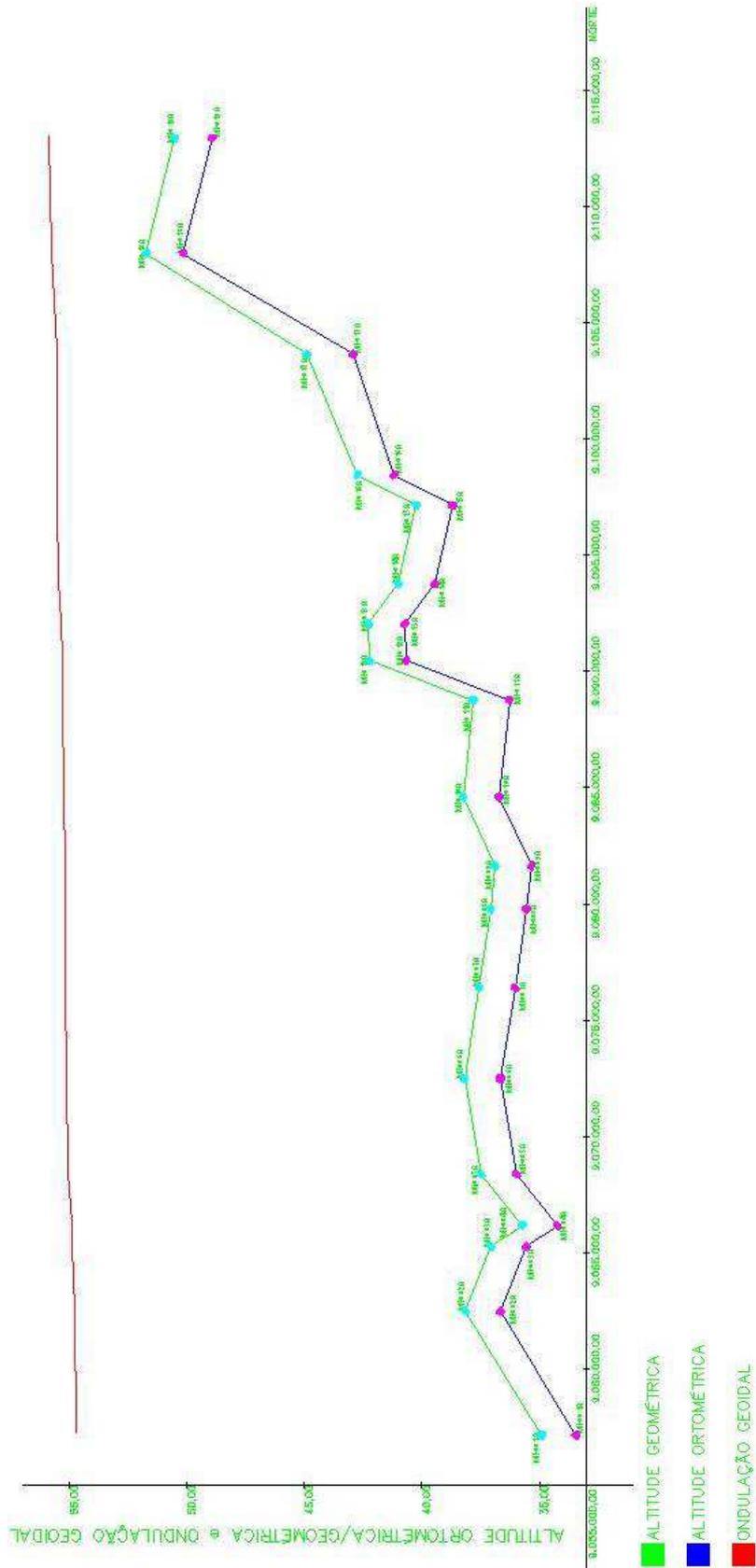


GRÁFICO DAS ALTITUDES GEOMÉTRICA, ORTOMÉTRICA E ONDULAÇÃO GEODAL DO LADO A DO CANAL (TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO)

OBS.: -AS ALTITUDES DO GRÁFICO SÃO AS LISTADAS NA TABELA 24.
 -A ONDULAÇÃO GEODAL ESTÁ DESLOCADA 40m DA ORIGEM.
 -OS VALORES DAS ALTITUDES, EXCETO A ONDULAÇÃO GEODAL, FORAM DIVIDIDOS POR 10 PARA UMA MELHOR REPRESENTAÇÃO

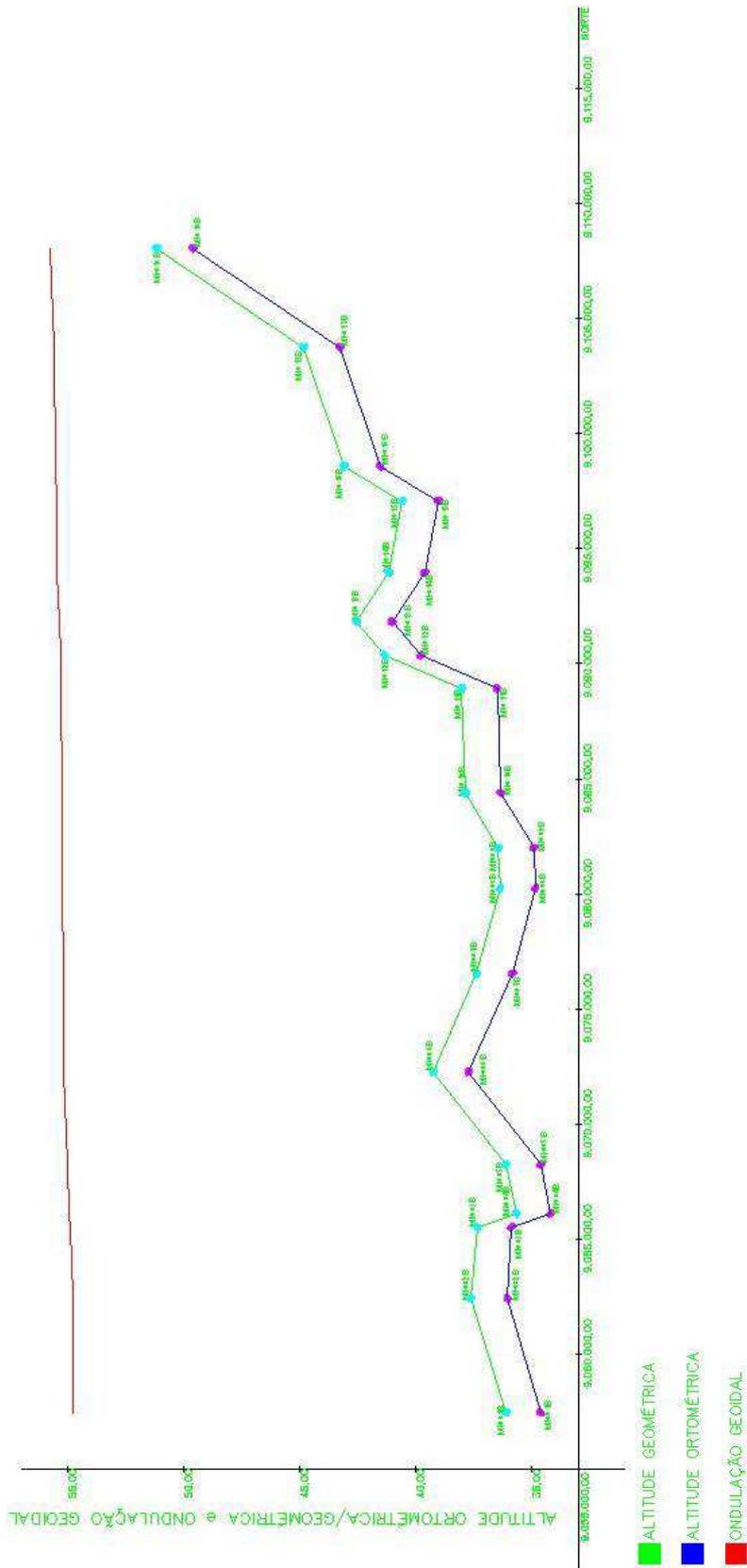


GRÁFICO DAS ALTITUDES GEOMÉTRICA, ORTOMÉTRICA E ONDULAÇÃO GEODAL DO LADO B DO CANAL (TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO)

OBS.: –AS ALTITUDES DO GRÁFICO SÃO AS LISTADAS NA TABELA 24.
 –A ONDULAÇÃO GEODAL ESTÁ DESLOCADA 40m DA ORIGEM.
 –OS VALORES DAS ALTITUDES, EXCETO A ONDULAÇÃO GEODAL, FORAM DIVIDIDOS POR 10 PARA UMA MELHOR REPRESENTAÇÃO

3.3.3 – Interpretação dos Resultados para Uso em Obras de Engenharia

O sentido da declividade máxima em um mapa de ondulação geoidal pode favorecer ou não durante a implantação de um projeto de engenharia em que a declividade seja o fator principal da obra. Esta influência ocorrerá sempre na direção da declividade máxima do geóide e será nula na direção normal (paralela às curvas de nível).

Na figura 38 A-1 exemplifica um projeto de canal com declividade de 1% para a esquerda enquanto o geóide tem declividade de 1% para a direita. Como a declividade válida para o escoamento de água é a do geóide então a declividade efetiva é de 2% (figura 38 A-2).

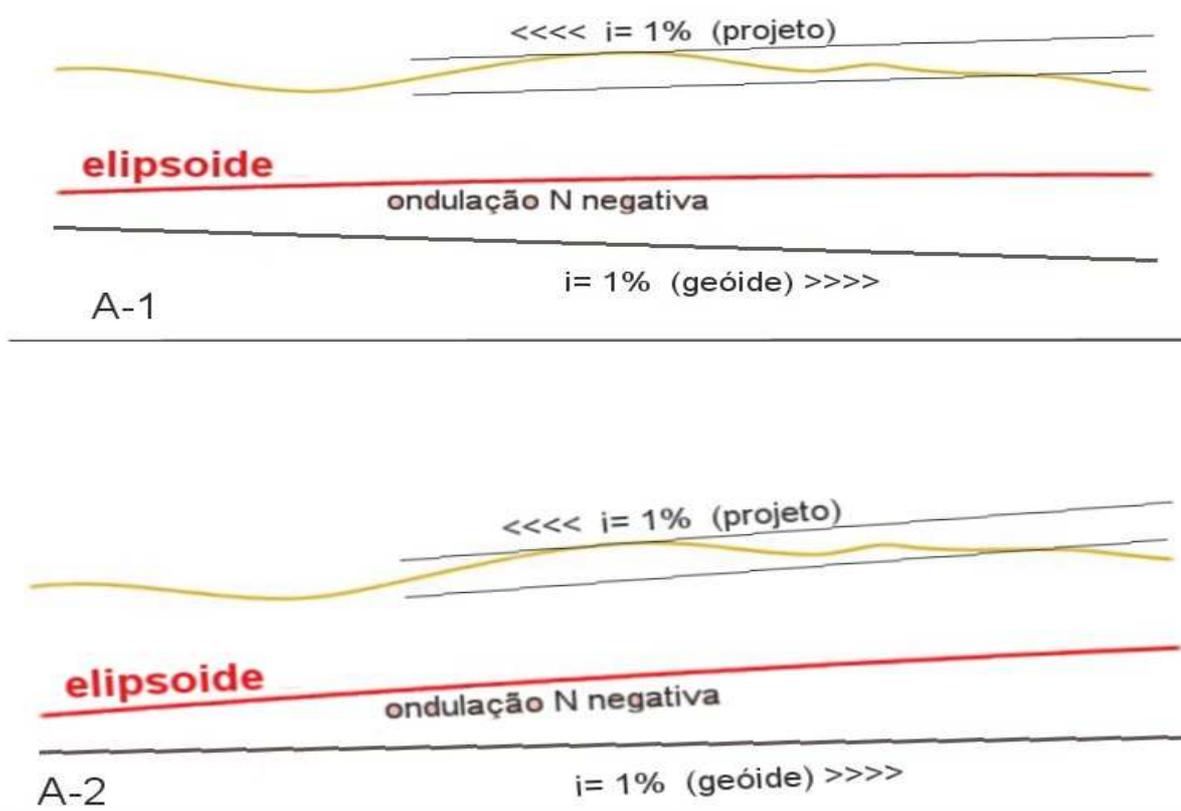
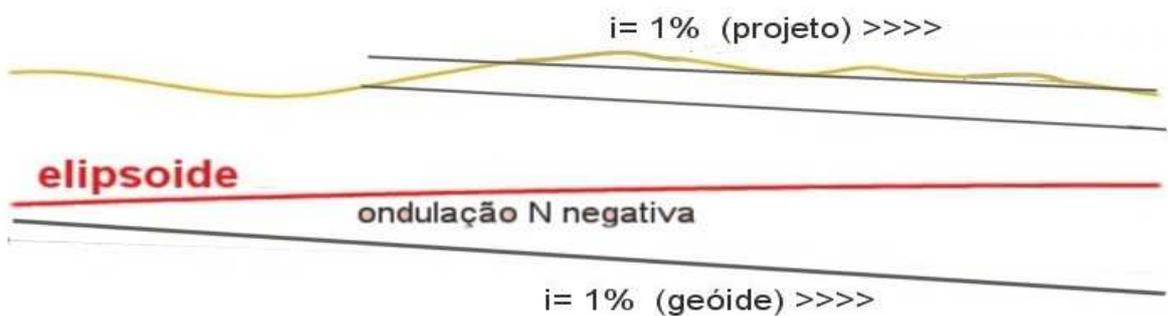
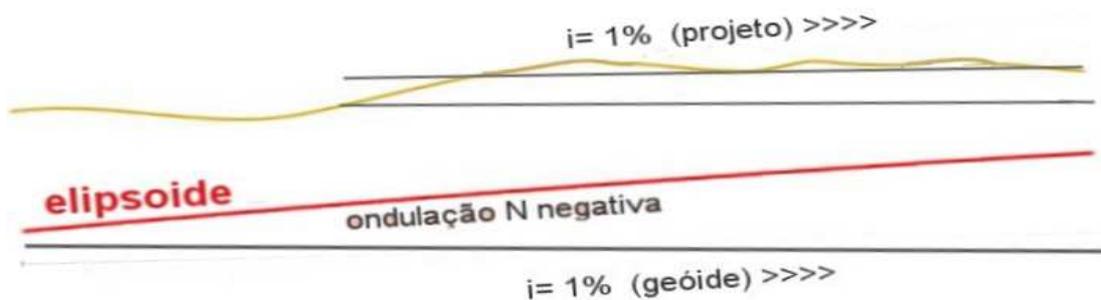


Figura 38 A: Interpretação dos Resultados da Declividade da Ondulação Geoidal para uso em Engenharia (Projeto e Geóide com declividades contrárias)

Na figura 38 B-1 tanto o projeto como o geóide têm declividades de 1% para a direita, então a obra estaria com declividade nula, o que inviabiliza a obra para o terreno natural, porque não se obteria o escoamento calculado.



B-1



B-2

Figura 38 B: Interpretação dos Resultados da Declividade da Ondulação Geoidal para uso em Engenharia (Projeto e Geóide com declividades no mesmo sentido)

A tabela 27 apresenta de forma resumida algumas declividades para obras de engenharia.

Tabela 27: Declividades críticas de obras de engenharia.

Exemplo de Obras	Declividade (%)	m/km
Canal revestido em concreto	0,010	0,10
Coletor de esgoto Φ 1200 mm	0,035	0,35
Tubulação de drenagem pluvial urbana de Recife	0,35	3,50
Tubulação de drenagem pluvial urbana geral	0,50	5,00
Declividade longitudinal de aeródromo	1,00	10,00
Declividade transversal de rodovias pavimentadas	2,00	20,00

A área testada no Campus da UFPE, com cerca de 1 km x 2 km, pode ser considerada um exemplo de local de obras, como para a construção de pavimentação de ruas e obras de drenagem pluvial.

Ao analisar a figura 33 (Mapa geoidal local para o caso 1), percebe-se que entre as curvas de nível mais próximas a distância no terreno é de aproximadamente 13,40 m e a diferença de ondulação geoidal entre elas é de 2 mm, logo a declividade máxima entre elas é de 0,015%.

Analisando a figura 37 (Mapa geoidal gerado a partir dos dados do programa AstGeoTop para o caso 2), percebe-se que entre as curvas de nível mais próximas a distância no terreno é de aproximadamente 2400,00 m e a diferença de ondulação geoidal entre elas é de 5 cm, logo a declividade máxima entre elas é de 0,0021%, ou seja 0,021 m/km. A declividade média do canal da Transposição do Rio São Francisco é de 10 cm/km, logo o levantamento executado pode satisfazer as especificações do projeto.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na maioria dos trabalhos de engenharia, o que interessa não é a altitude absoluta do ponto, mas a altitude relativa entre os pontos que compõem a área de interesse.

O objetivo desta pesquisa foi analisar e verificar a possibilidade de uso direto da altitude geométrica, obtida pelo GNSS, sem a conversão para a ortométrica em obras de engenharia civil, a partir de dois estudos de casos.

As análises dos diversos levantamentos e processamentos executados permitem as seguintes conclusões e recomendações quanto aos equipamentos e programas:

- De acordo com os dados desta pesquisa, em um mesmo levantamento não se deve utilizar modelos diferentes de receptores quando se deseja a componente vertical.
- Analisando as informações da pesquisa, recomenda-se que o processamento dos dados levantados de um projeto deve ser realizado em um único programa, para o uso da componente vertical.
- A metodologia e funções do programa AstGeoTop mostrou-se adequada para analisar estatísticas dos levantamentos altimétricos com nível e GNSS e geração de mapa de ondulação geoidal.
- A superfície da ondulação geoidal (N_1) calculada no MAPGEO2010 é paralela a calculada no programa AstGeoTop, sendo que este apresenta uma precisão melhor na geração do modelo geoidal.

Quanto ao uso direto de altitude geométrica para obras de engenharia foi confirmada que é possível usá-la para trabalhos em que as exigências de precisão sejam consideradas média e baixa. Porém para precisões altas são necessários cuidados especiais, como maior tempo de rastreamento e maior número de pontos para definição do geóide local, escolha de modelos de interpolação mais sofisticados e uso de antenas calibradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. B. de – **Saneamento Básico Sistema de Esgoto Sanitário** – Notas de Aula, Disciplina de Saneamento Básico do Curso de Engenharia Civil – Universidade Católica de Goiás, 2006.

ALENCAR, J.C.M. – **Datum Altimétrico Brasileiro**. Cadernos de Geociências, nº 5, p. 69-73, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994. 35 p.

BLITZKOW, D., CAMPOS, I. de O, FREITAS, S. R. C. – **Altitude: O Que Interessa e Como Equacionar ?** Informações Espaciais II – Notas de aula, Laboratório de Topografia e Geodésia – Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2007.

BRASIL, Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984. **Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia nacional**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n120, 22 de junho de 1984.

BRASIL, Decreto 5.334 de 6 de janeiro de 2005. **Dá Nova Redação ao art. 21 e Revoga o art. 22 do Decreto no 89.817**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 07 de janeiro de 2005.

BRASIL. **Lei 6.766**, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. 1979.

BRASIL. **Manual de Implantação Básica – 2º ed** . (IPR. Publ., 696). Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. 169 p. 1996.

BRASIL. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais** (IPR. Publ., 706). Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. 195 p. 1999.

BRASIL. **Diretrizes Básicas para Estudos e Projetos Rodoviários: Escopos Básicos / Instruções de Serviço. - 3. Ed.** (IPR. Publ., 726). Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 484 p. 2006.

CAMARGO, P. O. **Modelo Regional da Ionosfera para Uso em Posicionamento com Receptores de uma Frequência.** 1999. 102f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) Departamento de Geociências – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

DALAZOANA, R., LUZ, R. T., FREITAS, S. R. C. Estudos do NMM a Partir de Séries Temporais Maregráficas e de Altimetria por Satélites Visando a Integração da Rede Vertical Brasileira ao Sirgas. **RBC - Revista Brasileira de Cartografia**, Nº 57/02, 2005. (ISSN 1808-0936)

DE SÁ, N. C. – **GPS Fundamentos e Aplicações** – Departamento de Geofísica – Laboratório de Geodésia – IAG/USP – 2004.

DREWES, H.; SÁNCHEZ, L.; BLITZKOW, D.; FREITAS, S.R.C. **Documento Técnico Sobre o Sistema de Referência Vertical para a América do Sul. SIRGAS**, Boletim Informativo n. 6, 1998, p23-31.

FONSECA JUNIOR, E. S. **O Sistema GPS como Ferramenta para Avaliação da Refração Ionosférica no Brasil.** 2002. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia) Departamento de Engenharia de Transportes – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FREIBERGER JUNIOR, J. – **Antenas De Receptores Gps: Características Gerais** Curitiba, 2004 - Material teórico de apoio ao Curso de Extensão Error Sources in Highly Precise GPS Positioning - Setor de Ciências da Terra - Departamento de Geomática - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

FREITAS, S. R. C., BLITZKOW, D. **Altitudes e Geopotencial**. Bulletin [of the] International Geoid Service, Milan, n. 9: Special Issue for South America, n.9, p. 47-62, 1999. 4, 141 p.

GARNÉS, S. J. dos A. **Resolução das Ambigüidades GPS para Linhas de Base Curta : Análise dos Algoritmos de Otimização**. 2001. Tese (Doutor no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas) Setor de Ciências da Terra – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

FGDC. **Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 4: Standards for Architecture, Engineering, Construction (A/E/C) and Facility Management**. Reston, Virginia, EUA: Federal Geographic Data Committee - FGDC-STD-007.4-2002. 23p. Disponível em <http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy//part4/FGDC-endorsed-standard>. Acesso em 10/12/2012.

GOLDNER, L. G., SANTOS, J. V., COMINARA JUNIOR, V. – **Apostila de Aeroportos** – Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil – 2010.

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H., COLLINS, J. – **Global Positioning System: Theory and Practice**. 3ª ed. New York: Springer-Verlag Wien, 1994. 355 p.

HUINCA, S. C. M., KRUEGER, C. P. **Determinação de Parâmetros de Calibração de Antenas GNSS na BCAL/UFPR**. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, III. 2010, Recife. 07p.

KIRCHHOFF, W. J. H. **Introdução à Geofísica Espacial**. 1ª ed. São Paulo: Nova Stella, 1991. 149 p.

KRUEGER, C. P., HUINCA, S. C. M., MAIA, O. C. **Método de Posicionamento Absoluto, Qual Precisão Pode Ser Obtida Atualmente?** In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, III, 2010, Recife.

LACY, M. C. de, GIL, A. J., RODRÍGUEZ-CADEROT, G., MORENO, B. **Un Análisis de la Presencia de Nuevas Frecuencias em las Observaciones GNSS.** In: Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica, 6º, 2008. 4 p.

LANGLEY, R. B. - **GPS Receiver System Noise.** GPS World – Innovation, June 1997.

LINZ. **GPS Guidelines for Geodetic Control Surveys, OSG Standard 3.** Wellington, Nova Zelândia: LINZ – Land Information New Zeland, Office of Surveyor-General. 1988

MADER, G. L. (1999). – **GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey.** NOAA, NOS, NGS, GRD. Disponível em <<http://www.grdl.noaa.gov/GRD/GPS/Projects/ANTCAL>>. Acesso em 11 de abril de 2003.

MOELKER, D. J. – **Multiple Antennas for Advanced GNSS Multipath Mitigation and Multipath Direction Finding.** In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 10, 1997, Kansas City, Missouri. Proceedings. Kansas City, Missouri: The Satellite Division of the Institute of Navigation, 1997. p. 541-550.

MONICO, J. F. G. – **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações.** 2ª ed. São Paulo: UNESP, 2008, 476p.

MONICO, J. F. G., DAL PÓZ, A. P., GALO, M., SANTOS, M. C., OLIVEIRA, L. C. – Acurácia e Precisão: Revendo os Conceitos de Forma Acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Sec. Comunicações, Curitiba, vol. 15, nº3, p.469-483, 2009.

NABED, A. N., GOURINE, B., GHEZALI, B., ZEGGAI, A. TAIBI, H. – **Some GPS Guidelines and Recommendations for Large-Scale Applications**. FIG XXII International Congress Washington, D.C. USA, 2002.

OLLIKAINEN, M. GPS Levelling results from two test áreas in Finland. F.K Brunner (Ed). **Advances in Positioning and Reference Frames**. In: IAG Scientific Assembly Rio de Janeiro 1997. International Association of Geodesy Symposia. V. 118. p. 301-306.

OLIVEIRA, R. de **Otimização dos pesos das observações geodésicas pelo Problema de Valor Próprio Inverso com Considerações sobre o Planejamento da Confiabilidade da Observação**. 2007. 171 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PIMENTEL, V. DE M. **Implantação de Referências de Níveis de Alta Precisão no Campus Joaquim Amazonas da UFPE**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação do Curso de Engenharia Cartográfica) – Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, 2011.

PINTO, J. R. M. **Potencialidade do Uso do GPS em Obras de Engenharia**. 2000. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, UNESP, Presidente Prudente, 2000.

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

PONTES FILHO, G – **Estradas de Rodagem: Projeto Geométrico**. 1ª ed. São Carlos, São Paulo, 1998, 432p.

RODRIGUES, V. A. **Implantação da Rede Geodésica UNESP para Integração ao Sistema Geodésico Brasileiro**. 2006. Tese (de Doutor em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, 2006.

SALOMONI, C. S. **GPS e Ionosfera: Estudo do Comportamento do TEC e de sua Influência no Posicionamento com GPS na Região Brasileira em Períodos de Alta e Baixa Atividade Solar**. 2008. Dissertação (Mestre em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SANTOS, M. A. **Metodologia para Obtenção de Altitudes Ortométricas Através de Interpolação de Modelos Geoidais Locais Definidos por GPS/Nivelamento e Gravimetria**. 2009. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, 2009.

SANTOS, J. C., JAMUR, K. P., CERQUEIRA, J. A. C. – **Utilização de Altitudes Ortométricas Obtidas Através do Modelo EGM2008 para Obras de Engenharia**. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, III, 2010, Recife. 05p.

SANTOS, A. de P. dos **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com Uso da Estatística Espacial**. 2010. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SANTOS, M. A., DE SEIXAS, A., MOTTA, J. A., SANTOS, A. A. – **Determinação do Modelo Geoidal Local Preliminar da RMR e Parte do Agreste de Pernambuco por Meio de GPS/Nivelamento**. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, IV, 2012, Recife.

SAPUCCI, L. F. **Estinativa do Vapor D'água Atmosférico e Avaliação da Modelagem do Atraso Zenital Troposférico Utilizando GPS**. 2001. Dissertação

(Mestre em Ciências do Curso de Pós-graduação em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual Paulista, UNESP, Presidente Prudente, 2001.

SEEBER, G. – **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003, 589 p.

SILVA, T. M. L. de S. **Análise de Erros em Receptores de GNSS**. 2007. Dissertação (Mestre Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

SILVA, H. A. da **Avaliação de Modelos Estocásticos no Posicionamento GNSS**. 2009. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, UNESP, Presidente Prudente, 2009.

ŠVÁBENSKÝ, O., WEIGEL, J. – **Optimized Technology for GPS Height Determination** FIG Working Week, Athens, Greece, 2004.

TAYLOR E FRANCIS – **Manual of Geospatial Science and Technology**. Chapter 10: GPS instrumentation issues. Grejner-Brzezinska, D. Editora: J. Bossler, 2002.

TEUNISSEN, P. J. G.; KLEUSBERG, A., – **GPS for Geodesy**. 2ª ed. Berlin: Springer- Verlag Belin Heidelberg, 1998. 650 p.

WELLS, D.; BECK, N.; DELIKARAOGLOU, D.; KLEUSBERG, A.; KRAKIWSKY, E. J.; LACHAPPELLE, G.; LANGLEY, R. B.; NAKIBOGLU, M. SCHWARZ, K. P.; TRANQUILLA, J. M.; VANÍČEK, P. - **Guide to GPS Positioning**. Canadá: Canadian GPS Associates, Fredericton, N. B., 1986, p. 4.14.

APÊNDICE

As tabelas 28, 29, 30, 31, 32 e 33 apresentam o resultado do pós-processamento dos dados coletados no dia 30-04-2011 nos programas EZSurv 2.4, Topcon Tools 8.2 e GNSS Solutions.

Tabela 28: Pontos levantados no dia 30/04/2011 pelo receptor GTR-1 e processados no programa Ezsurv 2.4.
Nota: O ponto em vermelho apresentou solução flutuante.

Ponto	Ezsurv 2.4				Alt. Ortométricas (H)	Dif. Nivel 1 dh= hp-hrectf	Dif. Nivel 2 dh= Hp-Hrectf	M1 (MAPGEO 2010)	M2 (h-H)
	Latitude	Longitude	Alt. Geom. (h)	PV (m)					
REFC	8°03'03,46970S	34°57'05,45910W	20,180	0,000	25,911	***	***	-5,540	-5,731
M021	8°03'09,41415S	34°57'19,21490W	2,413	0,015	8,334	-17,767	-17,577	-5,540	-5,921
M022	8°03'17,66993S	34°57'21,80531W	4,395	0,010	10,123	-15,785	-15,788	-5,540	-5,728
M023	8°03'23,71551S	34°57'18,23015W	4,071	0,310	8,942	-16,109	-16,969	-5,540	-4,871
M024	8°03'27,67379S	34°57'07,61298W	3,254	0,016	8,954	-16,926	-16,957	-5,550	-5,700
RN3641A	8°03'06,31954S	34°57'02,04213W	5,684	0,023	11,382	-14,496	-14,529	-5,540	-5,698
RN3641B	8°03'07,24528S	34°57'00,48516W	3,516	0,011	9,221	-16,664	-16,690	-5,540	-5,705
RN3641C	8°03'07,87689S	34°56'43,64789W	5,805	0,017	9,534	-14,375	-16,377	-5,550	-3,729

Tabela 29: Pontos levantados no dia 30/04/2011 pelo receptor HIPER LITE e processados no programa Ezsurv 2.4.
Nota: O ponto em vermelho apresentou solução flutuante.

Ponto	Ezsurv 2.4				Alt. Ortométricas (H)	Dif. Nivel 1 dh= hp-hrectf	Dif. Nivel 2 dh= Hp-Hrectf	M1 (MAPGEO 2010)	M2 (h-H)
	Latitude	Longitude	Alt. Geom. (h)	PV (m)					
REFC	8°03'03,46970S	34°57'05,45910W	20,180	0,000	25,911	***	***	-5,540	-5,731
M021	8°03'09,41002S	34°57'19,21235W	2,527	0,006	8,334	-17,653	-17,577	-5,540	-5,807
M022	8°03'17,67049S	34°57'21,80551W	4,310	0,009	10,123	-15,870	-15,788	-5,540	-5,813
M023	8°03'23,70528S	34°57'18,24015W	3,766	0,143	8,942	-16,414	-16,969	-5,540	-5,176
M024	8°03'27,67436S	34°57'07,61321W	3,223	0,014	8,954	-16,957	-16,957	-5,550	-5,731
RN3641A	8°03'06,32148S	34°57'02,03543W	5,862	0,018	11,382	-14,318	-14,529	-5,540	-5,520
RN3641B	8°03'07,24536S	34°57'00,48458W	3,493	0,007	9,221	-16,687	-16,690	-5,540	-5,728
RN3641C	8°03'07,87699S	34°56'43,64778W	3,799	0,007	9,534	-16,381	-16,377	-5,550	-5,735

Tabela 30: Pontos levantados no dia 30/04/2011 pelo receptor GTR-1 e processados no programa Topcon Tools 8.2.

Ponto	Topcon Tools 8.2			Alt. Ortométricas (H)	Dif. Nivel 1 dh= hp-hrectf	Dif. Nivel 2 dh= Hp-Hrectf	N1 (MAPGEO 2010)	N2 (h-H)
	Latitude	Longitude	Alt. Geom. (h)					
RECF	8°03'03,46970S	34°57'05,45910W	20,180	0,000	25,911	***	-5,540	-5,731
MD21	8°03'09,40989S	34°57'19,21907W	2,672	0,033	8,334	-17,508	-5,540	-5,662
MD22	8°03'17,67003S	34°57'21,80537W	4,398	0,013	10,123	-15,782	-5,540	-5,725
MD23	8°03'23,73552S	34°57'18,22026W	3,958	0,479	8,942	-16,222	-5,540	-4,984
MD24	8°03'27,70130S	34°57'07,61287W	3,208	0,012	8,954	-16,972	-5,550	-5,746
RN3641A	8°03'06,34684S	34°57'02,04227W	5,649	0,014	11,382	-14,531	-5,540	-5,733
RN3641B	8°03'07,24520S	34°57'00,48514W	3,491	0,002	9,221	-16,689	-5,540	-5,730
RN3641C	8°03'07,90490S	34°56'43,65435W	4,096	0,017	9,534	-16,084	-5,550	-5,438

Tabela 31: Pontos levantados no dia 30/04/2011 pelo receptor HIPER LITE e processados no programa Topcon Tools 8.2.

Ponto	Topcon Tools 8.2			Alt. Ortométricas (H)	Dif. Nivel 1 dh= hp-hrectf	Dif. Nivel 2 dh= Hp-Hrectf	N1 (MAPGEO 2010)	N2 (h-H)
	Latitude	Longitude	Alt. Geom. (h)					
RECF	8°03'03,46970S	34°57'05,45910W	20,180	0,000	25,911	***	-5,540	-5,731
MD21	8°03'09,41015S	34°57'19,21226W	2,506	0,017	8,334	-17,674	-5,540	-5,828
MD22	8°03'17,67006S	34°57'21,80429W	4,236	0,011	10,123	-15,944	-5,540	-5,887
MD23	8°03'23,70677S	34°57'18,23331W	3,224	0,066	8,942	-16,956	-5,540	-5,718
MD24	8°03'27,67435S	34°57'07,61323W	3,215	0,007	8,954	-16,965	-5,550	-5,739
RN3641A	8°03'06,31926S	34°57'02,04210W	5,651	0,025	11,382	-14,529	-5,540	-5,731
RN3641B	8°03'07,24530S	34°57'00,48461W	3,485	0,002	9,221	-16,695	-5,540	-5,736
RN3641C	8°03'07,87727S	34°56'43,64783W	3,793	0,015	9,534	-16,387	-5,550	-5,741

Tabela 32: Pontos levantados no dia 30/04/2011 pelo receptor GTR-1 e processados no programa GNSS Solutions.
 Nota: Os pontos em vermelho apresentaram solução flutuante.

Ponto	GNSS Solutions				Alt. Ortométricas (H)	Dif. Nivel 1 dh= hp-hrecf	Dif. Nivel 2 dH= Hp-Hrecf	N1 (MAPGEO 2010)	N2 (h-H)
	Latitude	Longitude	Alt. Geom. (h)	PV (m)					
REFC	8°03'03,46970S	34°57'05,45910W	20,180	0,000	25,911	***	***	-5,540	-5,731
M021	8°03'09,48853S	34°57'19,20124W	3,470	0,388	8,334	-16,710	-17,577	-5,540	-4,864
M022	8°03'17,63271S	34°57'21,81888W	3,614	0,009	10,123	-16,566	-15,788	-5,540	-6,509
M023	8°03'23,75339S	34°57'18,22089W	5,277	0,634	8,942	-14,903	-16,969	-5,540	-3,665
M024	8°03'27,66555S	34°57'07,59534W	3,908	0,219	8,954	-16,272	-16,957	-5,550	-5,046
RN3641A	8°03'06,28529S	34°57'02,01074W	6,670	0,302	11,382	-13,510	-14,529	-5,540	-4,712
RN3641B	8°03'07,21323S	34°57'00,49872W	3,825	0,402	9,221	-16,355	-16,690	-5,540	-5,396
RN3641C	8°03'07,87276S	34°56'43,61207W	5,306	3,143	9,534	-14,874	-16,377	-5,550	-4,228

Tabela 33: Pontos levantados no dia 30/04/2011 pelo receptor HIPER LITE e processados no programa GNSS Solutions.

Ponto	GNSS Solutions				Alt. Ortométricas (H)	Dif. Nivel 1 dh= hp-hrecf	Dif. Nivel 2 dH= Hp-Hrecf	N1 (MAPGEO 2010)	N2 (h-H)
	Latitude	Longitude	Alt. Geom. (h)	PV (m)					
REFC	8°03'03,46970S	34°57'05,45910W	20,180	0,000	25,911	***	***	-5,540	-5,731
M021	8°03'09,41016S	34°57'19,21223W	2,440	0,001	8,334	-17,740	-17,577	-5,540	-5,894
M022	8°03'17,67033S	34°57'21,80552W	4,219	0,002	10,123	-15,961	-15,788	-5,540	-5,904
M023	8°03'23,70582S	34°57'18,25886W	3,831	0,002	8,942	-16,349	-16,969	-5,540	-5,111
M024	8°03'27,67478S	34°57'07,61338W	3,164	0,008	8,954	-17,016	-16,957	-5,550	-5,790
RN3641A	8°03'06,32159S	34°57'02,03620W	5,704	0,004	11,382	-14,476	-14,529	-5,540	-5,678
RN3641B	8°03'07,24525S	34°57'00,48422W	3,411	0,005	9,221	-16,769	-16,690	-5,540	-5,810
RN3641C	8°03'07,87861S	34°56'43,64385W	3,931	0,016	9,534	-16,249	-16,377	-5,550	-5,603

As tabelas 34, 35 e 36 apresentam o resultado do pós-processamento dos dados coletados no dia 14-05-2011 nos programas EZSurv 2.4, Topcon Tools 8.2 e GNSS Solutions.

Tabela 34: Pontos levantados no dia 14/05/2011 pelo receptor HIPER LITE e processados no programa Ezsurv 2.4.

Ponto	Ezsurv 2.4			Alt. Ortométricas (H)	Dif. Nivel 1 dh= hp-hrectf	Dif. Nivel 2 dh= Hp-Hrectf	N1 (MAPGEO 2010)	N2 (h-H)
	Latitude	Longitude	Alt. Geom. (h)					
REFC	8°03'03,46975S	34°57'05,45911W	20,180	0,000	***	***	-5,540	-5,731
M021	8°03'09,41007S	34°57'19,21270W	2,646	0,011	-17,534	-17,577	-5,540	-5,688
M032	8°03'08,21718S	34°57'14,66032W	3,435	0,010	-16,745	-16,768	-5,540	-5,708
M033	8°03'06,60767S	34°57'11,08800W	3,617	0,005	-16,563	-16,580	-5,540	-5,714
RN3641B	8°03'04,24539S	34°57'00,48521W	3,493	0,005	-16,687	-16,690	-5,540	-5,728
RN3641C	8°03'07,87712S	34°56'43,64659W	3,884	0,084	-16,296	-16,377	-5,540	-5,650

Tabela 35: Pontos levantados no dia 14/05/2011 pelo receptor HIPER LITE e processados no programa Topcon Tools 8.2.

Ponto	Topcon Tools 8.2			Alt. Ortométricas (H)	Dif. Nivel 1 dh= hp-hrectf	Dif. Nivel 2 dh= Hp-Hrectf	N1 (MAPGEO 2010)	N2 (h-H)
	Latitude	Longitude	Alt. Geom. (h)					
REFC	8°03'03,46970S	34°57'05,45910W	20,180	0,000	***	***	-5,540	-5,731
M021	8°03'09,41004S	34°57'19,21270W	2,622	0,010	-17,558	-17,577	-5,540	-5,712
M032	8°03'08,21700S	34°57'14,66043W	3,413	0,006	-16,767	-16,580	-5,540	-5,918
M033	8°03'06,60768S	34°57'11,08799W	3,604	0,002	-16,576	-16,768	-5,540	-5,539
RN3641B	8°03'07,24534S	34°57'00,48527W	3,479	0,003	-16,701	-16,690	-5,540	-5,742
RN3641C	8°03'07,87769S	34°56'43,64783W	3,787	0,012	-16,393	-16,377	-5,550	-5,747

Tabela 36: Pontos levantados no dia 14/05/2011 pelo receptor HIPER LITE e processados no programa GNSS Solutions.

Ponto	GNSS Solutions			Alt. Ortométricas (H)	Dif. Nível 1 dh= hp-hrefc	Dif. Nível 2 dH= Hp-Hrefc	N1 (MAPGEO 2010)	N2 (h-H)
	Latitude	Longitude	Alt. Geom. (h)					
RECF	8°03'03,46970S	34°57'05,45910W	20,180	25,911	***	***	-5,540	-5,731
M021	8°03'09,41003S	34°57'19,21273W	2,551	8,334	-17,628	-17,577	-5,540	-5,783
M032	8°03'08,21726S	34°57'14,66057W	3,374	9,143	-16,806	-16,768	-5,540	-5,769
M033	8°03'06,60750S	34°57'11,08781W	3,523	9,331	-16,657	-16,580	-5,540	-5,808
RN3641B	8°03'07,24505S	34°57'00,48528W	3,402	9,221	-16,778	-16,690	-5,540	-5,819
RN3641C	8°03'07,87746S	34°56'43,65296W	3,659	9,534	-16,521	-16,377	-5,550	-5,875

As tabelas 37, 38 e 39 apresentam o resultado do pós-processamento dos dados coletados no dia 11-06-2011 nos programas EZSurv 2.4, Topcon Tools 8.2 e GNSS Solutions.

Tabela 37: Pontos levantados no dia 11/06/2011 pelo receptor HIPERLITE e processados no programa Ezsurv 2.4.

Ponto	Ezsurv 2.4			Alt. Ortométricas (H)	Dif. Nivel 1 dh= hp-hrefc	Dif. Nivel 2 dh= Hp-Hrefc	N1 (MARGE 2010)	N2 (h-H)
	Latitude	Longitude	Alt. Geom. (h)					
REFC	8°03'03,46970S	34°57'05,45910W	20,180	25,911	***	***	-5,540	-5,731
M021	8°03'09,41023S	34°57'19,21262W	2,632	8,334	-17,548	-17,577	-5,540	-5,702
M030	8°03'08,19974S	34°56'54,51882W	3,410	9,127	-16,770	-16,784	-5,550	-5,717
M032	8°03'08,21733S	34°57'14,66019W	3,428	9,143	-16,751	-16,768	-5,540	-5,714
M033	8°03'06,60768S	34°57'11,08771W	3,614	9,331	-16,566	-16,580	-5,540	-5,717
BRENNAND	8°03'04,32322S	34°57'51,45942W	6,484	12,204	-13,688	-13,707	-5,510	-5,710
ELÉTRICA	8°03'15,29932S	34°57'11,00813W	3,622	9,345	-16,558	-16,566	-5,540	-5,723
EXÉRCITO	8°03'27,31558S	34°57'26,87554W	3,739	9,454	-16,441	-16,457	-5,540	-5,715
IGREJA	8°03'04,68471S	34°57'30,94528W	4,986	10,688	-15,184	-15,223	-5,530	-5,692
ITEP	8°03'26,48530S	34°57'12,96070W	2,865	8,590	-17,315	-17,321	-5,550	-5,725
LAGO	8°02'54,32006S	34°57'07,97727W	4,013	9,711	-16,167	-16,200	-5,530	-5,698

Tabela: 38: Pontos levantados no dia 11/06/2011 pelo receptor HIPER LITE e processados no programa Topcon Tools 8.2.

Ponto	Topcon Tools 8.2			Alt: Ortométricas (H)	Dif. Nivel 1 dh= hp-hrefc	Dif. Nivel 2 dh= Hp-Hrefc	N1 (MAPGEO 2010)	N2 (h-H)
	Latitude	Longitude	Alt. Geom. (h)					
REFC	8°03'03,46970S	34°57'05,45910W	20,180	25,911	***	***	-5,540	-5,731
M021	8°03'09,41018S	34°57'19,21259W	2,627	8,334	-17,553	-17,577	-5,540	-5,707
M030	8°03'08,19987S	34°56'54,51888W	3,385	9,127	-16,795	-16,784	-5,550	-5,742
M032	8°03'08,21736S	34°57'14,66042W	3,414	9,143	-16,766	-16,768	-5,540	-5,729
M033	8°03'06,60773S	34°57'11,08767W	3,607	9,331	-16,573	-16,580	-5,540	-5,724
BRENNAND	8°03'04,32328S	34°57'51,45968W	6,513	12,204	-13,667	-13,707	-5,510	-5,691
ELÉTRICA	8°03'15,29937S	34°57'11,00830W	3,618	9,345	-16,562	-16,566	-5,540	-5,727
EXÉRCITO	8°03'27,31552S	34°57'26,87575W	3,725	9,454	-16,455	-16,457	-5,540	-5,729
IGREJA	8°03'04,68487S	34°57'30,94549W	4,977	10,688	-15,203	-15,223	-5,530	-5,711
ITEP	8°03'26,48514S	34°57'12,96068W	2,849	8,590	-17,331	-17,321	-5,550	-5,741
LAGO	8°02'54,32028S	34°57'07,97647W	4,053	9,711	-16,127	-16,200	-5,530	-5,658

Tabela 39: Pontos levantados no dia 11/06/2011 pelo receptor HIPER LITE e processados no programa GNSS Solutions.

Ponto	GNSS Solutions				Alt. Ortométricas (H)	Dif. Nível 1 dh= hp-hrefc	Dif. Nível 2 dH= Hp-Hrefc	N1 (MARGEO 2010)	N2 (h-H)
	Latitude	Longitude	Alt. Geom. (h)	PV (m)					
REFC	8°03'03,46970S	34°57'05,45910W	20,180	0,000	25,911	***	***	-5,540	-5,731
M021	8°03'09,41032S	34°57'19,21306W	2,573	0,002	8,334	-17,607	-17,577	-5,540	-5,761
M030	8°03'08,19950S	34°56'54,51871W	3,305	0,001	9,127	-16,875	-16,794	-5,550	-5,822
M032	8°03'08,21758	34°57'14,66044W	3,365	0,000	9,143	-16,815	-16,768	-5,540	-5,778
M033	8°03'06,60771S	34°57'11,08790W	3,529	0,002	9,331	-16,651	-16,580	-5,540	-5,802
BRENNAND	8°03'04,32258S	34°57'51,45950W	6,469	0,002	12,204	-13,711	-13,707	-5,510	-5,735
ELÉTRICA	8°03'15,29918S	34°57'11,00839W	3,548	0,001	9,345	-16,632	-16,566	-5,540	-5,797
EXÉRCITO	8°03'27,31567S	34°57'26,87616W	3,661	0,002	9,454	-16,519	-16,457	-5,540	-5,793
IGREJA	8°03'04,68482S	34°57'30,94516W	5,034	0,003	10,688	-15,146	-15,223	-5,530	-5,654
ITEP	8°03'26,48581S	34°57'12,96082W	2,768	0,001	8,590	-17,412	-17,321	-5,550	-5,822
LAGO	8°02'54,31988S	34°57'07,9776W	3,938	0,001	9,711	-16,242	-16,200	-5,530	-5,773

As tabelas 40, 41, 42 e 43 apresentam as discrepâncias entre as diferença de nível processadas nos programas EZSurv 2.4, Topcon Tools 8.2 e no GNSS Solutions do dia 30-04-2011.

Tabela 40: Discrepância entre as Diferenças de Nível no Ezsurv 2.4, no Topcon Tools 8.2 e no GNSS Solutions do dia 30-04-2011 pelo receptor GTR-1.

Ponto	NIVELAMENTO		(HIPERLITE) dh = hp-hrefc Ezsurv 2.4	(HIPERLITE) dh = hp-hrefc T Tools 8.2	(HIPER LITE) dh= hp-hrefc GNSS Solutions	Discr. Ezsurv 2.4 (dh-dH)	Discr. T Tools 8.2 (dh-dH)	Discr. GNSS Solutions (dh-dH)
	H	dh = Hp-Hrefc						
REFC	25,911	***	***	***	***	***	***	***
MD21	8,334	-17,577	-17,767	-17,508	-16,710	-0,190	0,069	0,867
MD22	10,123	-15,788	-15,785	-15,782	-16,586	0,003	0,006	-0,778
MD23	8,942	-16,969	-16,109	-16,222	-14,903	0,860	0,747	2,066
MD24	8,954	-16,957	-16,926	-16,972	-16,272	0,031	-0,015	0,685
RN3641A	11,382	-14,529	-14,496	-14,531	-13,510	0,033	-0,002	1,019
RN3641B	9,221	-16,690	-16,664	-16,689	-16,355	0,026	0,001	0,335
RN3641C	9,534	-16,377	-14,375	-16,084	-14,874	2,002	0,293	1,503

Tabela 41: Discrepância entre as Diferenças de Nível no Ezsurv 2.4, no Topcon Tools 8.2 e no GNSS Solutions do dia 30-04-2011 pelo receptor HIPERLITE.

Ponto	NIVELAMENTO		(HIPER LITE) dh = hp-hrefc Ezsurv 2.4	(HIPER LITE) dh = hp-hrefc T Tools 8.2	(HIPER LITE) dh = hp-hrefc GNSS Solutions	Discr. Ezsurv 2.4 (dh-dH)	Discr. T Tools 8.2 (dh-dH)	Discr. GNSS Solutions (dh-dH)
	H	dh = Hp-Hrefc						
REFC	25,911	***	***	***	***	***	***	***
MD21	8,334	-17,577	-17,653	-17,674	-17,740	-0,076	-0,097	-0,163
MD22	10,123	-15,788	-15,870	-15,944	-15,961	-0,082	-0,156	-0,173
MD23	8,942	-16,969	-16,414	-16,956	-16,349	0,555	0,013	0,620
MD24	8,954	-16,957	-16,957	-16,965	-17,016	0,000	-0,008	-0,059
RN3641A	11,382	-14,529	-14,318	-14,529	-14,476	0,211	0,000	0,053
RN3641B	9,221	-16,690	-16,687	-16,695	-16,769	0,003	-0,005	-0,079
RN3641C	9,534	-16,377	-16,381	-16,387	-16,249	-0,004	-0,010	0,128

Tabela 42: Discrepância entre as Diferenças de Nível no Ezsury 2.4, no Topcon Tools 8.2 e no GNSS Solutions do dia 14-05-2011 pelo receptor HIPER LITE.

Ponto	NIVELAMENTO		(HIPER LITE) dh = hp-hrectf Ezsury 2.4	(HIPER LITE) dh = hp-hrectf T Tools 8.2	(HIPER LITE) dh = hp-hrectf GNSS Solutions	Discr. Ezsury 2.4 (dh-dH)	Discr. T Tools 8.2 (dh-dH)	Discr. GNSS Solutions (dh-dH)
	H	dH = Hp-Hrectf	***	***	***	***	***	***
REF	25,911	***	***	***	***	***	***	***
M021	8,334	-17,577	-17,534	-17,558	-17,629	0,043	0,019	-0,052
M032	9,143	-16,768	-16,745	-16,767	-16,806	0,023	0,001	-0,038
M033	9,331	-16,580	-16,563	-16,576	-16,657	0,017	0,004	-0,077
RN3641B	9,221	-16,890	-16,887	-16,701	-16,778	0,003	-0,011	-0,088
RN3641C	9,534	-16,377	-16,296	-16,393	-16,521	0,081	-0,016	-0,144

Tabela 43: Discrepância entre as Diferenças de Nível no Ezsury 2.4, no Topcon Tools 8.2 e no GNSS Solutions do dia 11-06-2011 pelo receptor HIPER LITE.

Ponto	NIVELAMENTO		(HIPER LITE) dh = hp-hrectf Ezsury 2.4	(HIPER LITE) dh = hp-hrectf T Tools 8.2	(HIPER LITE) dh = hp-hrectf GNSS Solutions	Discr. Ezsury 2.4 (dh-dH)	Discr. T Tools 8.2 (dh-dH)	Discr. GNSS Solutions (dh-dH)
	H	dH = Hp-Hrectf	***	***	***	***	***	***
REF	25,911	***	***	***	***	***	***	***
M021	8,334	-17,577	-17,548	-17,553	-17,607	0,029	0,024	-0,030
M030	9,127	-16,784	-16,770	-16,795	-16,875	0,014	-0,011	-0,091
M032	9,143	-16,768	-16,751	-16,766	-16,815	0,017	0,002	-0,047
M033	9,331	-16,580	-16,566	-16,573	-16,651	0,014	0,007	-0,071
BRENNAND	12,204	-13,707	-13,686	-13,667	-13,711	0,021	0,040	-0,004
ELÉTRICA	9,345	-16,566	-16,558	-16,562	-16,632	0,008	0,004	-0,066
EXÉRCITO	9,454	-16,457	-16,441	-16,455	-16,519	0,016	0,002	-0,062
IGREJA	10,688	-15,223	-15,184	-15,203	-15,146	0,039	0,020	0,077
ITEP	8,590	-17,321	-17,315	-17,331	-17,412	0,006	-0,010	-0,091
LAGO	9,711	-16,200	-16,167	-16,127	-16,242	0,033	0,073	-0,042

“RELATÓRIO PRELIMINAR PARA GERAÇÃO DO GEOIDE LOCAL”

INTERPOLAÇÃO DAS ONDULAÇÕES GEOIDAIS

Modelo Geoidal : MAPGEO2010

Sistema Geodésico de Referência : SIRGAS2000

Interpolação bilinear dos valores de N

Grade de 5` x 5` em latitude e longitude

Arquivo Fonte : MAPGEO2010_SIRGAS.DAT

Número de linhas do Arquivo = 265680

Pto	Latitude	Longitude	N(m)	H.ort.(m)
RECF	-8,030346970	-34,570545910	-5,5324	25,7124
M021	-8,030941018	-34,571921259	-5,5270	8,1540
M030	-8,030819987	-34,565451888	-5,5407	8,9257
M032	-8,030821736	-34,571466042	-5,5291	8,9431
M033	-8,030660773	-34,571108767	-5,5305	9,1375
BRENNAND	-8,030432328	-34,575145968	-5,5089	12,0219
ELÉTRICA	-8,031529937	-34,571100830	-5,5342	9,1522
EXÉRCITO	-8,032731552	-34,572687575	-5,5298	9,2548
IGREJA	-8,030468487	-34,573094549	-5,5184	10,4954
ITEP	-8,032648514	-34,571296068	-5,5378	8,3868
LAGO	-8,025432028	-34,570797647	-5,5271	9,5801
RN3641B	-8,030724530	-34,570048561	-5,5369	9,0219
RN3641C	-8,030787727	-34,564364783	-5,5468	9,3398
RN3641A	-8,030631926	-34,570204210	-5,5356	11,1866
M022	-8,031767006	-34,572180429	-5,5289	9,7649
M023	-8,032370677	-34,571823331	-5,5335	8,7575
M024	-8,032767435	-34,570761323	-5,5414	8,7564

ESTUDOS DAS DISCREPÂNCIAS RELATIVAS ENTRE AS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS E GEOMÉTRICAS E SUAS IMPLICAÇÕES EM TRABALHOS DE ENGENHARIA

AGRUPAMENTO DAS SOLUÇÕES DAS ALTITUDE ORTOMÉTRICAS CORRIGIDAS

Estação	ESTAÇÕES DE CONTROLE							
	RECF	M021	M030	M032	M033	BRENNAND	ELÉTRICA	EXÉRCITO
RECF	25,9110	25,8924	25,9137	25,9123	25,9059	25,8945	25,9052	25,9116
M021	8,3526	8,3340	8,3553	8,3539	8,3475	8,3361	8,3468	8,3532
M030	9,1243	9,1057	9,1270	9,1256	9,1192	9,1078	9,1185	9,1249
M032	9,1417	9,1231	9,1444	9,1430	9,1366	9,1253	9,1359	9,1423
M033	9,3361	9,3175	9,3388	9,3374	9,3310	9,3196	9,3303	9,3367
BRENNAND	12,2205	12,2019	12,2232	12,2217	12,2154	12,2040	12,2147	12,2211
ELÉTRICA	9,3508	9,3322	9,3535	9,3521	9,3457	9,3343	9,3450	9,3514
EXÉRCITO	9,4534	9,4348	9,4561	9,4547	9,4483	9,4369	9,4476	9,4540
IGREJA	10,6941	10,6754	10,6967	10,6953	10,6889	10,6776	10,6882	10,6946
ITEP	8,5854	8,5668	8,5880	8,5866	8,5803	8,5689	8,5795	8,5860
LAGO	9,7787	9,7601	9,7814	9,7799	9,7736	9,7622	9,7729	9,7793
RN3641B	9,2205	9,2019	9,2232	9,2217	9,2154	9,2040	9,2147	9,2211
RN3641C	9,5384	9,5198	9,5411	9,5397	9,5333	9,5220	9,5326	9,5390
RN3641A	11,3852	11,3666	11,3879	11,3864	11,3801	11,3687	11,3794	11,3858
M022	9,9635	9,9449	9,9662	9,9648	9,9584	9,9470	9,9577	9,9641
M023	8,9561	8,9375	8,9588	8,9573	8,9510	8,9396	8,9503	8,9567
M024	8,9551	8,9365	8,9577	8,9563	8,9499	8,9386	8,9492	8,9557

Estação	ESTAÇÕES DE CONTROLE (continuação)								
	IGREJA	ITEP	LAGO	RN3641B	RN3641C	RN3641A	M022	M023	M024
RECF	25,9049	25,9156	25,8433	25,9115	25,9066	25,9078	26,0705	25,8969	25,9099
M021	8,3466	8,3572	8,2849	8,3531	8,3482	8,3494	8,5121	8,3385	8,3515
M030	9,1183	9,1290	9,0566	9,1248	9,1199	9,1211	9,2838	9,1102	9,1233
M032	9,1357	9,1464	9,0741	9,1423	9,1373	9,1386	9,3012	9,1277	9,1407
M033	9,3301	9,3407	9,2684	9,3366	9,3317	9,3329	9,4956	9,3220	9,3351
BRENNAND	12,2144	12,2251	12,1528	12,2210	12,2160	12,2173	12,3800	12,2064	12,2194
ELÉTRICA	9,3448	9,3555	9,2831	9,3513	9,3464	9,3476	9,5103	9,3367	9,3498
EXÉRCITO	9,4474	9,4580	9,3857	9,4539	9,4490	9,4502	9,6129	9,4393	9,4523
IGREJA	10,6880	10,6987	10,6264	10,6946	10,6896	10,6909	10,8536	10,6800	10,6930
ITEP	8,5793	8,5900	8,5177	8,5859	8,5809	8,5822	8,7449	8,5713	8,5843
LAGO	9,7726	9,7833	9,7110	9,7792	9,7742	9,7755	9,9382	9,7646	9,7776
RN3641B	9,2144	9,2251	9,1528	9,2210	9,2160	9,2173	9,3800	9,2064	9,2194
RN3641C	9,5324	9,5431	9,4708	9,5390	9,5340	9,5353	9,6979	9,5244	9,5374
RN3641A	11,3791	11,3898	11,3175	11,3857	11,3807	11,3820	11,5447	11,3711	11,3841
M022	9,9574	9,9681	9,8958	9,9640	9,9591	9,9603	10,1230	9,9494	9,9624
M023	8,9500	8,9607	8,8884	8,9566	8,9516	8,9529	9,1156	8,9420	8,9550
M024	8,9490	8,9597	8,8874	8,9556	8,9506	8,9519	9,1146	8,9410	8,9540

ESTUDOS DAS DISCREPÂNCIAS RELATIVAS ENTRE AS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS E GEOMÉTRICAS E SUAS IMPLICAÇÕES EM TRABALHOS DE ENGENHARIA

MATRIZ DE DISCREPÂNCIAS ENTRE SOLUÇÕES PARA CADA PONTO CONTROLE

Estação	RECF	M021	M030	M032	M033	BRENNAND	ELÉTRICA	EXÉRCITO
RECF	0,0000	-0,0186	0,0027	0,0013	-0,0051	-0,0165	-0,0058	0,0006
M021	-0,0186	0,0000	0,0213	0,0199	0,0135	0,0021	0,0128	0,0192
M030	0,0027	0,0213	0,0000	-0,0014	-0,0078	-0,0192	-0,0085	-0,0021
M032	0,0013	0,0199	-0,0014	0,0000	-0,0064	-0,0177	-0,0071	-0,0007
M033	-0,0051	0,0135	-0,0078	-0,0064	0,0000	-0,0114	-0,0007	0,0057
BRENNAND	-0,0165	0,0021	-0,0192	-0,0177	-0,0114	0,0000	0,0107	0,0171
ELÉTRICA	-0,0058	0,0128	-0,0085	-0,0071	-0,0007	0,0107	0,0000	0,0064
EXÉRCITO	0,0006	0,0192	-0,0021	-0,0007	0,0057	0,0171	0,0064	0,0000
IGREJA	-0,0061	0,0126	-0,0087	-0,0073	-0,0009	0,0104	-0,0002	-0,0066
ITEP	0,0046	0,0232	0,0020	0,0034	0,0097	0,0211	0,0105	0,0040
LAGO	-0,0677	-0,0491	-0,0704	-0,0689	-0,0626	-0,0512	-0,0619	-0,0683
RN3641B	0,0005	0,0191	-0,0022	-0,0007	0,0056	0,0170	0,0063	-0,0001
RN3641C	-0,0044	0,0142	-0,0071	-0,0057	0,0007	0,0120	0,0014	-0,0050
RN3641A	-0,0032	0,0154	-0,0059	-0,0044	0,0019	0,0133	0,0026	-0,0038
M022	0,1595	0,1781	0,1568	0,1582	0,1646	0,1760	0,1653	0,1589
M023	-0,0141	0,0045	-0,0168	-0,0153	-0,0090	0,0024	-0,0083	-0,0147
M024	-0,0011	0,0175	-0,0037	-0,0023	0,0041	0,0154	0,0048	-0,0017

MATRIZ DE DISCREPÂNCIAS ENTRE SOLUÇÕES PARA CADA PONTO CONTROLE (CONTINUAÇÃO)

Estação	IGREJA	ITEP	LAGO	RN3641B	RN3641C	RN3641A	M022	M023	M024
RECF	-0,0061	0,0046	-0,0677	0,0005	-0,0044	-0,0032	0,1595	-0,0141	-0,0011
M021	0,0126	0,0232	-0,0491	0,0191	0,0142	0,0154	0,1781	0,0045	0,0175
M030	-0,0087	0,0020	-0,0704	-0,0022	-0,0071	-0,0059	0,1568	-0,0168	-0,0037
M032	-0,0073	0,0034	-0,0689	-0,0007	-0,0057	-0,0044	0,1582	-0,0153	-0,0023
M033	-0,0009	0,0097	-0,0626	0,0056	0,0007	0,0019	0,1646	-0,0090	0,0041
BRENNAND	0,0104	0,0211	-0,0512	0,0170	0,0120	0,0133	0,1760	0,0024	0,0154
ELÉTRICA	-0,0002	0,0105	-0,0619	0,0063	0,0014	0,0026	0,1653	-0,0083	0,0048
EXÉRCITO	-0,0066	0,0040	-0,0683	-0,0001	-0,0050	-0,0038	0,1589	-0,0147	-0,0017
IGREJA	0,0000	0,0107	-0,0616	0,0066	0,0016	0,0029	0,1656	-0,0080	0,0050
ITEP	0,0107	0,0000	-0,0723	-0,0041	-0,0091	-0,0078	0,1549	-0,0187	-0,0057
LAGO	-0,0616	-0,0723	0,0000	0,0682	0,0632	0,0645	0,2272	0,0536	0,0666
RN3641B	0,0066	-0,0041	0,0682	0,0000	-0,0050	-0,0037	0,1590	-0,0146	-0,0016
RN3641C	0,0016	-0,0091	0,0632	-0,0050	0,0000	0,0013	0,1639	-0,0096	0,0034
RN3641A	0,0029	-0,0078	0,0645	-0,0037	0,0013	0,0000	0,1627	-0,0109	0,0021
M022	0,1656	0,1549	0,2272	0,1590	0,1639	0,1627	0,0000	-0,1736	-0,1606
M023	-0,0080	-0,0187	0,0536	-0,0146	-0,0096	-0,0109	-0,1736	0,0000	0,0130
M024	0,0050	-0,0057	0,0666	-0,0016	0,0034	0,0021	-0,1606	0,0130	0,0000

ALTITUDES ORTOMÉTRICAS MÉDIAS SEM INJUÇÕES DE PONTOS DE CONTROLE

RECF	25,9126
M021	8,3542
M030	9,1259
M032	9,1433
M033	9,3377
BRENNAND	12,2220
ELÉTRICA	9,3524
EXÉRCITO	9,4550
IGREJA	10,6956
ITEP	8,5869
LAGO	9,7803
RN3641B	9,2220
RN3641C	9,5400
RN3641A	11,3868
M022	9,9651
M023	8,9576
M024	8,9566

MODELAGEM DO GEOIDE LOCAL

 $N = Ax + By + C$

VETOR DAS OBSERVAÇÕES:

Ondulações Geoidais

ESTACAO	N
RECF	-5,7310
M021	-5,7070
M030	-5,7420
M032	-5,7290
M033	-5,7240
BRENNAND	-5,6910
ELÉTRICA	-5,7270
EXÉRCITO	-5,7290
IGREJA	-5,7110
ITEP	-5,7410
LAGO	-5,6580
RN3641B	-5,7360
RN3641C	-5,7410
RN3641A	-5,7310
M022	-5,8870
M023	-5,7180
M024	-5,7390

PARÂMETROS AJUSTADOS

PARAM	X	sigma(X)
A =	-2,512087	1,901473
B =	2,821150	2,201788
C =	-5,730072	0,004851

COORDENADAS DE ORIGEM DO CÁLCULO DOS PARÂMETROS

Latitude = -8°03'11,69567" Longitude = -34°57'12,94067"

VETOR DOS RESÍDUOS ESTIMADO

ESTACAO	V	sigma(V)
RECF	0,0022	0,0049
M021	-0,0169	0,0237
M030	0,0018	0,0266
M032	0,0029	0,0276
M033	-0,0034	0,0170
BRENNAND	-0,0064	0,0345
ELÉTRICA	-0,0072	0,0133
EXÉRCITO	-0,0036	0,0093
IGREJA	-0,0010	0,0206
ITEP	-0,0006	0,0185
LAGO	-0,0619	0,0656
RN3641B	0,0007	0,0127
RN3641C	-0,0065	0,0577
RN3641A	-0,0025	0,0941
M022	0,1584	0,0449
M023	-0,0178	0,2372
M024	-0,0073	0,0291

Média dos Resíduos $média(v) = 0,001811$

Desvio padrão dos Resíduos $des_pad(v) = 0,043098$

Soma dos Resíduos Ponderados ao Quadrado $(v^2Pv) = 170,565154$

Variância da Unidade de Peso a-posteriori $(sig2_pos) = 12,183225$

Desvio Padrão da Unidade de Peso a-posteriori $(sig_pos) = 3,490448$

TESTE ESTATÍSTICO QUI-QUADRADO UNI-CAUDAL PARA VARIÂNCIA

Hipótese nula (H0): $12,1832252685012 = 1 (sig2_pri)$

Hipótese alternativa (H0): $12,1832252685012 > sig2_pri$

Nível de significância (alfa) = 0,05

Número de observações (n) = 17

Número de parâmetros (u) = 3

Gruas de liberdade (gl) = 14

--

Valor critico superior (Chi2_sup) = 23,68

Estatística do teste ($v^2_{Pv/sig2_pri}$) = 170,565153759016

Conclusão :

Hipótese nula (H0) foi rejeitada ao nível de significância alfa=5%!

Procure por erros grosseiros nas observações.

ELEMENTOS DE CONFIABILIDADE DO AJUSTAMENTO

Semi-eixos do Hiperelipsóide de Erros

semi-eixo 1 = 0,00472589383082716

semi-eixo 2 = 1,47316579491913

semi-eixo 3 = 2,50863564527352

Número de condição do Sistema Eq. Normais = 281778,112821402

Traço da matriz de redundância $tr(R)$ = 14

ESTACAO	Nº.redund.	Conf.Int.	N.Absorção	Conf.Ext
RECF	0,3990	0,0142	-0,0032	24,1016
M021	0,9255	0,0294	0,0014	1,2876
M030	0,8909	0,0342	-0,0002	1,9587
M032	0,9609	0,0329	-0,0001	0,6514
M033	0,9116	0,0214	0,0003	1,5517
BRENNAND	0,6749	0,0586	0,0031	7,7061
ELÉTRICA	0,8497	0,0179	0,0013	2,8308
EXÉRCITO	0,4203	0,0254	0,0050	22,0712
IGREJA	0,6986	0,0338	0,0004	6,9032
ITEP	0,7553	0,0280	0,0002	5,1849
LAGO	0,9757	0,0770	0,0015	0,3979
RN3641B	0,7814	0,0187	-0,0002	4,4772
RN3641C	0,9411	0,0702	0,0004	1,0019
RN3641A	0,9957	0,1083	0,0000	0,0697
M022	0,9747	0,0528	-0,0041	0,4145
M023	0,9987	0,2722	0,0000	0,0212
M024	0,8461	0,0394	0,0013	2,9097

INTERPRETAÇÃO

- 1) O número de redundância vai de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1 mais ganho tem o ajustamento. Esse número indica a contribuição da observação correspondente para os graus de liberdade do ajustamento.
- 2) A confiabilidade interna indica uma probabilidade de 90% para detectar erros grosseiros acima dos valores mostrados ou a probabilidade de 10% em não detectar erros grosseiros abaixo dos valores mostrados.
- 3) O número de absorção indica o quanto um erro grosseiro na observação poderia afetar o cálculo do resíduo, então quanto menor esse valor melhor.

4) A confiabilidade externa global indica o quanto os parâmetros estimados poderiam ser afetados na presença de erros grosseiros não detectados mostrados na confiabilidade interna, então quanto menor, melhor.

DETECÇÃO DE ERROS GROSSEIROS

1. Método: $|v_i| > 2 \cdot \text{sig}(v)$
 [0,086196]

Observações que podem ter erros grosseiros!

Critério $2x\text{sigma}$:

M022 Resíduo = 0,1584

2. Método: Data Snopping de Baarda (1968) para $\alpha=5\%$

ESTACAO V(padronizado) Decisão: $|V_p| < 1,96$

RECF	1,5249	Ok
M021	-2,4849	Erro Grosseiro
M030	0,2382	Ok
M032	0,3611	Ok
M033	-0,6938	Ok
BRENNAND	-0,6485	Ok
ELÉTRICA	-1,9061	Ok
EXÉRCITO	-1,3425	Ok
IGREJA	-0,1716	Ok
ITEP	-0,1225	Ok
LAGO	-3,2946	Erro Grosseiro
RN3641B	0,1988	Ok
RN3641C	-0,3947	Ok
RN3641A	-0,0914	Ok
M022	12,3075	Erro Grosseiro
M023	-0,2618	Ok
M024	-0,8777	Ok

A observação de M022 é a mais indicada para ter erro grosseiro no modelo $N = Ax + By + C$

Desconsidere esse ponto como ponto de controle refaça o ajustamento

3. Método: tau de Pope(1976) para $\alpha=10\%$

ESTACAO V(padronizado) Decisão: $|V_p| < 2,51$

RECF	0,4369	Ok
M021	-0,7119	Ok
M030	0,0683	Ok
M032	0,1035	Ok
M033	-0,1988	Ok
BRENNAND	-0,1858	Ok
ELÉTRICA	-0,5461	Ok

ESTUDOS DAS DISCREPÂNCIAS RELATIVAS ENTRE AS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS E GEOMÉTRICAS E SUAS IMPLICAÇÕES EM TRABALHOS DE ENGENHARIA

EXÉRCITO	-0,3846	Ok
IGREJA	-0,0492	Ok
ITEP	-0,0351	Ok
LAGO	-0,9439	Ok
RN3641B	0,0570	Ok
RN3641C	-0,1131	Ok
RN3641A	-0,0262	Ok
M022	3,5261	Erro Grosseiro
M023	-0,0750	Ok
M024	-0,2515	Ok

A observação de M022 é a mais indicada para ter erro grosseiro no modelo $N=Ax+By+C$.

Desconsidere esse ponto como ponto de controle refaça o ajustamento

RESULTADO DA ALTITUDE ORTOMÉTRICA COM MODELO LOCAL

Pto	Latitude	Longitude	N(m)	H.ort.(m)
RECF	-8,030346970	-34,570545910	-5,7288	25,9088
M021	-8,030941018	-34,571921259	-5,7239	8,3509
M030	-8,030819987	-34,565451888	-5,7402	9,1252
M032	-8,030821736	-34,571466042	-5,7261	9,1401
M033	-8,030660773	-34,571108767	-5,7274	9,3344
BRENNAND	-8,030432328	-34,575145968	-5,6974	12,2104
ELÉTRICA	-8,031529937	-34,571100830	-5,7342	9,3522
EXÉRCITO	-8,032731552	-34,572687575	-5,7326	9,4576
IGREJA	-8,030468487	-34,573094549	-5,7120	10,6890
ITEP	-8,032648514	-34,571296068	-5,7416	8,5906
LAGO	-8,025432028	-34,570797647	-5,7199	9,7729
RN3641B	-8,030724530	-34,570048561	-5,7353	9,2203
RN3641C	-8,030787727	-34,564364783	-5,7475	9,5405
RN3641A	-8,030631926	-34,570204210	-5,7335	11,3845
M022	-8,031767006	-34,572180429	-5,7286	9,9646
M023	-8,032370677	-34,571823331	-5,7358	8,9598
M024	-8,032767435	-34,570761323	-5,7463	8,9613

----- ANÁLISE PONTO A PONTO -----

ESTACAO	Latitude	Longitude	H.Contr.	H.Modelo	Discrep.
RECF	-8°03`03,46970"	-34°57`05,45910"	25,9110	25,9056	0,0054
M021	-8°03`09,41018"	-34°57`19,21259"	8,3340	8,3523	-0,0183
M030	-8°03`08,19987"	-34°56`54,51888"	9,1270	9,1250	0,0020
M032	-8°03`08,21736"	-34°57`14,66042"	9,1430	9,1400	0,0030
M033	-8°03`06,60773"	-34°57`11,08767"	9,3310	9,3347	-0,0037
BRENNAND	-8°03`04,32328"	-34°57`51,45968"	12,2040	12,2135	-0,0095

ELÉTRICA	-8°03`15,29937"	-34°57`11,00830"	9,3450	9,3535	-0,0085
EXÉRCITO	-8°03`27,31552"	-34°57`26,87575"	9,4540	9,4625	-0,0085
IGREJA	-8°03`04,68487"	-34°57`30,94549"	10,6880	10,6895	-0,0015
ITEP	-8°03`26,48514"	-34°57`12,96068"	8,5900	8,5909	-0,0009
LAGO	-8°02`54,32028"	-34°57`07,97647"	9,7110	9,7745	-0,0635
RN3641B	-8°03`07,24530"	-34°57`00,48561"	9,2210	9,2201	0,0009
RN3641C	-8°03`07,87727"	-34°56`43,64783"	9,5340	9,5409	-0,0069
RN3641A	-8°03`06,31926"	-34°57`02,04210"	11,3820	11,3845	-0,0025
M022	-8°03`17,67006"	-34°57`21,80429"	10,1230	9,9605	0,1625
M023	-8°03`23,70677"	-34°57`18,23331"	8,9420	8,9598	-0,0178
M024	-8°03`27,67435"	-34°57`07,61323"	8,9540	8,9626	-0,0086

Estatísticas do modelo avaliado ($N=Ax+By+C$):

Média discrepância	=	0,0014	
Média absoluta	=	0,0191	
Discrepância máxima	=	0,1625	--> M022
Discrepância mínima	=	-0,0635	--> LAGO
Amplitude	=	0,2260	
Erro médio quadrático	=	0,0431	

"RELATÓRIO FINAL PARA GERAÇÃO DO GEOIDE LOCAL"

INTERPOLAÇÃO DAS ONDULAÇÕES GEOIDAIS

Modelo Geoidal: MAPGEO2010

Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000

Interpolação bilinear dos valores de N

Grade de 5` x 5` em latitude e longitude

Arquivo Fonte: MAPGEO2010_SIRGAS.DAT

Número de linhas do Arquivo = 265680

Pto	Latitude	Longitude	N(m)	H.ort. (m)
RECF	-8,030346970	-34,570545910	-5,5324	25,7124
M021	-8,030941018	-34,571921259	-5,5270	8,1540
M030	-8,030819987	-34,565451888	-5,5407	8,9257
M032	-8,030821736	-34,571466042	-5,5291	8,9431
M033	-8,030660773	-34,571108767	-5,5305	9,1375
BRENNAND	-8,030432328	-34,575145968	-5,5089	12,0219
ELÉTRICA	-8,031529937	-34,571100830	-5,5342	9,1522
EXÉRCITO	-8,032731552	-34,572687575	-5,5298	9,2548
IGREJA	-8,030468487	-34,573094549	-5,5184	10,4954
ITEP	-8,032648514	-34,571296068	-5,5378	8,3868

ESTUDOS DAS DISCREPÂNCIAS RELATIVAS ENTRE AS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS E GEOMÉTRICAS E SUAS IMPLICAÇÕES EM TRABALHOS DE ENGENHARIA

RN3641B	-8,030724530	-34,570048561	-5,5369	9,0219
RN3641C	-8,030787727	-34,564364783	-5,5468	9,3398
RN3641A	-8,030631926	-34,570204210	-5,5356	11,1866
M024	-8,032767435	-34,570761323	-5,5414	8,7564
LAGO	-8,025432028	-34,570797647	-5,5271	9,5801
M022	-8,031767006	-34,572180429	-5,5289	9,7649
M023	-8,032370677	-34,571823331	-5,5335	8,7575

AGRUPAMENTO DAS SOLUÇÕES DAS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS CORRIGIDAS

ESTAÇÕES DE CONTROLE

Estação	RECF	M021	M030	M032	M033	BRENNAND	ELÉTRICA
RECF	25,9110	25,8924	25,9137	25,9123	25,9059	25,8945	25,9052
M021	8,3526	8,3340	8,3553	8,3539	8,3475	8,3361	8,3468
M030	9,1243	9,1057	9,1270	9,1256	9,1192	9,1078	9,1185
M032	9,1417	9,1231	9,1444	9,1430	9,1366	9,1253	9,1359
M033	9,3361	9,3175	9,3388	9,3374	9,3310	9,3196	9,3303
BRENNAND	12,2205	12,2019	12,2232	12,2217	12,2154	12,2040	12,2147
ELÉTRICA	9,3508	9,3322	9,3535	9,3521	9,3457	9,3343	9,3450
EXÉRCITO	9,4534	9,4348	9,4561	9,4547	9,4483	9,4369	9,4476
IGREJA	10,6941	10,6754	10,6967	10,6953	10,6889	10,6776	10,6882
ITEP	8,5854	8,5668	8,5880	8,5866	8,5803	8,5689	8,5795
RN3641B	9,2205	9,2019	9,2232	9,2217	9,2154	9,2040	9,2147
RN3641C	9,5384	9,5198	9,5411	9,5397	9,5333	9,5220	9,5326
RN3641A	11,3852	11,3666	11,3879	11,3864	11,3801	11,3687	11,3794
M024	8,9551	8,9365	8,9577	8,9563	8,9499	8,9386	8,9492
LAGO	9,7787	9,7601	9,7814	9,7799	9,7736	9,7622	9,7729
M022	9,9635	9,9449	9,9662	9,9648	9,9584	9,9470	9,9577
M023	8,9561	8,9375	8,9588	8,9573	8,9510	8,9396	8,9503

ESTAÇÕES DE CONTROLE (Continuação)

Estação	EXÉRCITO	IGREJA	ITEP	RN3641B	RN3641C	RN3641A	M024
RECF	25,9116	25,9049	25,9156	25,9115	25,9066	25,9078	25,9099
M021	8,3532	8,3466	8,3572	8,3531	8,3482	8,3494	8,3515
M030	9,1249	9,1183	9,1290	9,1248	9,1199	9,1211	9,1233
M032	9,1423	9,1357	9,1464	9,1423	9,1373	9,1386	9,1407
M033	9,3367	9,3301	9,3407	9,3366	9,3317	9,3329	9,3351
BRENNAND	12,2211	12,2144	12,2251	12,2210	12,2160	12,2173	12,2194
ELÉTRICA	9,3514	9,3448	9,3555	9,3513	9,3464	9,3476	9,3498
EXÉRCITO	9,4540	9,4474	9,4580	9,4539	9,4490	9,4502	9,4523
IGREJA	10,6946	10,6880	10,6987	10,6946	10,6896	10,6909	10,6930
ITEP	8,5860	8,5793	8,5900	8,5859	8,5809	8,5822	8,5843

ESTUDOS DAS DISCREPÂNCIAS RELATIVAS ENTRE AS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS E GEOMÉTRICAS E SUAS IMPLICAÇÕES EM TRABALHOS DE ENGENHARIA

RN3641B	9,2211	9,2144	9,2251	9,2210	9,2160	9,2173	9,2194
RN3641C	9,5390	9,5324	9,5431	9,5390	9,5340	9,5353	9,5374
RN3641A	11,3858	11,3791	11,3898	11,3857	11,3807	11,3820	11,3841
M024	8,9557	8,9490	8,9597	8,9556	8,9506	8,9519	8,9540
LAGO	9,7793	9,7726	9,7833	9,7792	9,7742	9,7755	9,7776
M022	9,9641	9,9574	9,9681	9,9640	9,9591	9,9603	9,9624
M023	8,9567	8,9500	8,9607	8,9566	8,9516	8,9529	8,9550

MATRIZ DE DISCREPÂNCIAS ENTRE SOLUÇÕES PARA CADA PONTO CONTROLE

Estação	RECF	M021	M030	M032	M033	BRENNAND	ELÉTRICA
RECF	0,0000	-0,0186	0,0027	0,0013	-0,0051	-0,0165	-0,0058
M021	-0,0186	0,0000	0,0213	0,0199	0,0135	0,0021	0,0128
M030	0,0027	0,0213	0,0000	-0,0014	-0,0078	-0,0192	-0,0085
M032	0,0013	0,0199	-0,0014	0,0000	-0,0064	-0,0177	-0,0071
M033	-0,0051	0,0135	-0,0078	-0,0064	0,0000	-0,0114	-0,0007
BRENNAND	-0,0165	0,0021	-0,0192	-0,0177	-0,0114	0,0000	0,0107
ELÉTRICA	-0,0058	0,0128	-0,0085	-0,0071	-0,0007	0,0107	0,0000
EXÉRCITO	0,0006	0,0192	-0,0021	-0,0007	0,0057	0,0171	0,0064
IGREJA	-0,0061	0,0126	-0,0087	-0,0073	-0,0009	0,0104	-0,0002
ITEP	0,0046	0,0232	0,0020	0,0034	0,0097	0,0211	0,0105
RN3641B	0,0005	0,0191	-0,0022	-0,0007	0,0056	0,0170	0,0063
RN3641C	-0,0044	0,0142	-0,0071	-0,0057	0,0007	0,0120	0,0014
RN3641A	-0,0032	0,0154	-0,0059	-0,0044	0,0019	0,0133	0,0026
M024	-0,0011	0,0175	-0,0037	-0,0023	0,0041	0,0154	0,0048

MATRIZ DE DISCREPÂNCIAS ENTRE SOLUÇÕES PARA CADA PONTO CONTROLE (Continuação)

Estação	EXÉRCITO	IGREJA	ITEP	RN3641B	RN3641C	RN3641A	M024
RECF	0,0006	-0,0061	0,0046	0,0005	-0,0044	-0,0032	-0,0011
M021	0,0192	0,0126	0,0232	0,0191	0,0142	0,0154	0,0175
M030	-0,0021	-0,0087	0,0020	-0,0022	-0,0071	-0,0059	-0,0037
M032	-0,0007	-0,0073	0,0034	-0,0007	-0,0057	-0,0044	-0,0023
M033	0,0057	-0,0009	0,0097	0,0056	0,0007	0,0019	0,0041
BRENNAND	0,0171	0,0104	0,0211	0,0170	0,0120	0,0133	0,0154
ELÉTRICA	0,0064	-0,0002	0,0105	0,0063	0,0014	0,0026	0,0048
EXÉRCITO	0,0000	-0,0066	0,0040	-0,0001	-0,0050	-0,0038	-0,0017
IGREJA	-0,0066	0,0000	0,0107	0,0066	0,0016	0,0029	0,0050
ITEP	0,0040	0,0107	0,0000	-0,0041	-0,0091	-0,0078	-0,0057
RN3641B	-0,0001	0,0066	-0,0041	0,0000	-0,0050	-0,0037	-0,0016
RN3641C	-0,0050	0,0016	-0,0091	-0,0050	0,0000	0,0013	0,0034
RN3641A	-0,0038	0,0029	-0,0078	-0,0037	0,0013	0,0000	0,0021
M024	-0,0017	0,0050	-0,0057	-0,0016	0,0034	0,0021	0,0000

ALTITUDES ORTOMÉTRICAS MÉDIAS SEM INJUNÇÕES DE PONTOS DE CONTROLE

RECF	25,9074
M021	8,3490
M030	9,1207
M032	9,1381
M033	9,3325
BRENNAND	12,2168
ELÉTRICA	9,3472
EXÉRCITO	9,4498
IGREJA	10,6904
ITEP	8,5817
RN3641B	9,2168
RN3641C	9,5348
RN3641A	11,3815
M024	8,9514
LAGO	9,7750
M022	9,9598
M023	8,9524

MODELAGEM DO GEOIDE LOCAL

-

$$N = Ax + By + C$$

VETOR DAS OBSERVAÇÕES:

Ondulações Geoidais

ESTACAO	N
RECF	-5,7310
M021	-5,7070
M030	-5,7420
M032	-5,7290
M033	-5,7240
BRENNAND	-5,6910
ELÉTRICA	-5,7270
EXÉRCITO	-5,7290
IGREJA	-5,7110
ITEP	-5,7410
RN3641B	-5,7360
RN3641C	-5,7410
RN3641A	-5,7310
M024	-5,7390

PARÂMETROS AJUSTADOS

PARAM	X	sigma(X)
A =	-2,987606	0,472498
B =	2,236253	0,550407
C =	-5,728639	0,001200

COORDENADAS DE ORIGEM DO CÁLCULO DOS PARÂMETROS

Latitude = -8°03'11,65209" Longitude = -34°57'12,28410"

VETOR DOS RESÍDUOS ESTIMADO

ESTACAO	V	sigma(V)
RECF	0,0018	0,0012
M021	-0,0145	0,0059
M030	0,0008	0,0066
M032	0,0045	0,0068
M033	-0,0025	0,0042
BRENNAND	-0,0006	0,0085
ELÉTRICA	-0,0050	0,0033
EXÉRCITO	0,0027	0,0023
IGREJA	0,0022	0,0051
ITEP	0,0037	0,0045
RN3641B	0,0003	0,0031
RN3641C	-0,0091	0,0143
RN3641A	-0,0028	0,0233
M024	-0,0035	0,0072

Média dos Resíduos média(v) = -0,001568

Desvio padrão dos Resíduos des_pad(v) = 0,005254

Soma dos Resíduos Ponderados ao Quadrado (v`Pv) = 8,198199

Variância da Unidade de Peso a-posteriori (sig2_pos) = 0,745291

Desvio Padrão da Unidade de Peso a-posteriori (sig_pos) = 0,863302

TESTE ESTATÍSTICO QUI-QUADRADO UNI-CAUDAL PARA VARIÂNCIA

Hipótese nula (H0): 0,745290847784005 = 1 (sig2_pri)

Hipótese alternativa (H0): 0,745290847784005 > sig2_pri

Nível de significância (alfa) = 0,05

Número de observações (n) = 14

Número de parâmetros (u) = 3

Gruas de liberdade (gl) = 11

--

Valor critico superior (Chi2_sup) = 19,68

Estatística do teste (v`Pv/sig2_pri) = 8,19819932562406

Conclusão:

Hipótese nula (H0) não foi rejeitada ao nível de significância $\alpha=5\%$
As observações estão de acordo com o esperado.

ELEMENTOS DE CONFIABILIDADE DO AJUSTAMENTO

Semi-eixos do Hiperelipsóide de Erros

semi-eixo 1 = 0,0011784794749141

semi-eixo 2 = 0,368084798014956

semi-eixo 3 = 0,62507301108879

Número de condição do Sistema Eq. Normais = 281330,90894723

Traço da matriz de redundância $\text{tr}(R) = 11$

ESTACAO	Nº.redund.	Conf.Int.	N.Absorção	Conf.Ext
RECF	0,3886	0,0143	-0,0028	25,1762
M021	0,9236	0,0294	0,0012	1,3227
M030	0,8908	0,0342	-0,0001	1,9609
M032	0,9599	0,0329	-0,0002	0,6685
M033	0,9096	0,0214	0,0002	1,5900
BRENNAND	0,6703	0,0588	0,0003	7,8716
ELÉTRICA	0,8476	0,0179	0,0009	2,8774
EXÉRCITO	0,4046	0,0259	-0,0040	23,5417
IGREJA	0,6930	0,0340	-0,0010	7,0868
ITEP	0,7507	0,0281	-0,0012	5,3129
RN3641B	0,7808	0,0187	-0,0001	4,4922
RN3641C	0,9409	0,0702	0,0006	1,0049
RN3641A	0,9956	0,1083	0,0000	0,0701
M024	0,8439	0,0394	0,0006	2,9593

INTERPRETAÇÃO

- 1) O número de redundância vai de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1 mais ganho tem o ajustamento. Esse número indica a contribuição da observação correspondente para os graus de liberdade do ajustamento
- 2) A confiabilidade interna indica uma probabilidade de 90% para detectar erros grosseiros acima dos valores mostrados ou a probabilidade de 10% em não detectar erros grosseiros abaixo dos valores mostrados.
- 3) O número de absorção indica o quanto um erro grosseiro na observação poderia afetar o cálculo do resíduo, então quanto menor esse valor, melhor.
- 4) A confiabilidade externa global indica o quanto os parâmetros estimados poderiam ser afetados na presença de erros grosseiros não detectados mostrados na confiabilidade interna, então quanto menor, melhor.

DETECÇÃO DE ERROS GROSSEIROS

1. Método: $|v_i| > 2 \cdot \text{sig}(v)$ [0,010508]

Observações que podem ter erros grosseiros!

Critério 2xsigma:

M021 Resíduo = -0,0145

2. Método: Data Snopping de Baarda(1968) para alfa=5%

ESTACAO	V(padronizado)	Decisão: $ V_p < 1,96$
RECF	1,2768	Ok
M021	-2,1332	Erro Grosseiro
M030	0,1002	Ok
M032	0,5655	Ok
M033	-0,5138	Ok
BRENNAND	-0,0583	Ok
ELÉTRICA	-1,3076	Ok
EXÉRCITO	1,0449	Ok
IGREJA	0,3696	Ok
ITEP	0,7036	Ok
RN3641B	0,0842	Ok
RN3641C	-0,5484	Ok
RN3641A	-0,1048	Ok
M024	-0,4169	Ok

A observação de M021 é a mais indicada para ter erro grosseiro no modelo $N = Ax + By + C$.

Desconsidere esse ponto como ponto de controle refaça o ajustamento

3. Método: tau de Pope(1976) para alfa=10%

ESTACAO	V(padronizado)	Decisão: $ V_p < 2,41$
RECF	1,4789	Ok
M021	-2,4710	Erro Grosseiro
M030	0,1160	Ok
M032	0,6550	Ok
M033	-0,5951	Ok
BRENNAND	-0,0676	Ok
ELÉTRICA	-1,5146	Ok
EXÉRCITO	1,2104	Ok
IGREJA	0,4281	Ok
ITEP	0,8150	Ok
RN3641B	0,0976	Ok
RN3641C	-0,6353	Ok
RN3641A	-0,1214	Ok
M024	-0,4829	Ok

ESTUDOS DAS DISCREPÂNCIAS RELATIVAS ENTRE AS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS E GEOMÉTRICAS E SUAS IMPLICAÇÕES EM TRABALHOS DE ENGENHARIA

A observação de M021 é a mais indicada para ter erro grosseiro no modelo $N=Ax+By+C$.

Desconsidere esse ponto como ponto de controle refaça o ajustamento

RESULTADO DA ALTITUDE ORTOMÉTRICA COM MODELO LOCAL

Pto	Latitude	Longitude	N(m)	H.ort.(m)
RECF	-8,030346970	-34,570545910	-5,7292	25,9092
M021	-8,030941018	-34,571921259	-5,7215	8,3485
M030	-8,030819987	-34,565451888	-5,7412	9,1262
M032	-8,030821736	-34,571466042	-5,7245	9,1385
M033	-8,030660773	-34,571108767	-5,7265	9,3335
BRENNAND	-8,030432328	-34,575145968	-5,6916	12,2046
ELÉTRICA	-8,031529937	-34,571100830	-5,7320	9,3500
EXÉRCITO	-8,032731552	-34,572687575	-5,7263	9,4513
IGREJA	-8,030468487	-34,573094549	-5,7088	10,6858
ITEP	-8,032648514	-34,571296068	-5,7373	8,5863
RN3641B	-8,030724530	-34,570048561	-5,7357	9,2207
RN3641C	-8,030787727	-34,564364783	-5,7501	9,5431
RN3641A	-8,030631926	-34,570204210	-5,7338	11,3848
M024	-8,032767435	-34,570761323	-5,7425	8,9575
LAGO	-8,025432028	-34,570797647	-5,7214	9,7744
M022	-8,031767006	-34,572180429	-5,7245	9,9605
M023	-8,032370677	-34,571823331	-5,7312	8,9552

----- ANÁLISE PONTO A PONTO -----

ESTACAO	Latitude	Longitude	H.Contr.	H.Modelo	Discrep.
RECF	-8°03`03,46970"	-34°57`05,45910"	25,9110	25,9064	0,0046
M021	-8°03`09,41018"	-34°57`19,21259"	8,3340	8,3497	-0,0157
M030	-8°03`08,19987"	-34°56`54,51888"	9,1270	9,1261	0,0009
M032	-8°03`08,21736"	-34°57`14,66042"	9,1430	9,1383	0,0047
M033	-8°03`06,60773"	-34°57`11,08767"	9,3310	9,3337	-0,0027
BRENNAND	-8°03`04,32328"	-34°57`51,45968"	12,2040	12,2049	-0,0009
ELÉTRICA	-8°03`15,29937"	-34°57`11,00830"	9,3450	9,3509	-0,0059
EXÉRCITO	-8°03`27,31552"	-34°57`26,87575"	9,4540	9,4472	0,0068
IGREJA	-8°03`04,68487"	-34°57`30,94549"	10,6880	10,6849	0,0031
ITEP	-8°03`26,48514"	-34°57`12,96068"	8,5900	8,5851	0,0049
RN3641B	-8°03`07,24530"	-34°57`00,48561"	9,2210	9,2206	0,0004
RN3641C	-8°03`07,87727"	-34°56`43,64783"	9,5340	9,5436	-0,0096
RN3641A	-8°03`06,31926"	-34°57`02,04210"	11,3820	11,3848	-0,0028
M024	-8°03`27,67435"	-34°57`07,61323"	8,9540	8,9581	-0,0041

Estatísticas do modelo avaliado ($N=Ax+By+C$):

Média discrepância = -0,0012

Média absoluta = 0,0048
Discrepância máxima = 0,0068 --> EXÉRCITO
Discrepância mínima = -0,0157 --> M021
Amplitude = 0,0225
Erro médio quadrático= 0,0062

MONOGRAFIA DAS RRNN IBGE

IBGE		Relatório de Estação Geodésica			
Estação :	3641A	Nome da Estação :	3641A		
Município :	RECIFE	Tipo :	Estação Altimétrica - RN		
Última Visita :	26/3/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8131577	UF :	PE		
DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08° 03' 05" S	Altitude Ortométrica(m)	11,3625	Gravidade(mGal)	978,158,41
Longitude	34° 57' 01" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Sigma Gravidade(mGal)	
Fonte	GPS Navegação	Classe	Ajustada - Alta Precisão	Precisão	E <= 0,05 mGAL
Origem	Transformada	Datum	Imbituba	Datum	RGFB
S Datum	SAD-69	Data Medição	18/11/2004	Data Medição	26/3/2009
A Data Medição	18/11/2004	Data Cálculo	29/6/2007	Data Cálculo	19/10/2009
D Data Cálculo		Sigma Altitude Ortométrica(m)		Correção Topográfica	
E Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	28,36
S Sigma Longitude(m)				Anomalia Ar-Livre	29,64
UTM(N)	9.109.505			Densidade	2,67
UTM(E)	285.067				
MC	-33				
Latitude	08° 03' 06" S			Gravidade(mGal)	978,158,41
S Longitude	34° 57' 02" W			Sigma Gravidade(mGal)	
I Fonte	GPS Navegação			Precisão	E <= 0,05 mGAL
R Origem				Datum	RGFB
G Datum	SIRGAS2000			Data Medição	26/3/2009
A Data Medição	18/11/2004			Data Cálculo	19/10/2009
S Data Cálculo				Correção Topográfica	
2 Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	27,54
0 Sigma Longitude(m)				Anomalia Ar-Livre	28,81
D UTM(N)	9.109.478			Densidade	2,67
D UTM(E)	285.037				
MC	-33				
* Último Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996					
** Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 08/03/2006					
*** Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69					
Localização					
No segundo degrau ao lado do monumento alusivo ao Rector Joaquim Inácio de Almeida Amazonas, no canteiro central defronte ao Centro de Convenções, no Campus Universitário da UFPE.					
Chapa padrão IBGE		Descrição			
		Observação			
Informante: Adelfo Antão dos Santos - Professor do Departamento de Cartografia da UFPE, Tel: (81) 2126-8095E-mail: asantos@npd.ufpe.br RN 3641A = EG 8131577					
Foto(s)					
					

ESTUDOS DAS DISCREPÂNCIAS RELATIVAS ENTRE AS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS E GEOMÉTRICAS E SUAS IMPLICAÇÕES EM TRABALHOS DE ENGENHARIA



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3641B	Nome da Estação :	3641B	Tipo :	Estação Altimétrica - RN
Município :	RECIFE			UF :	PE
Última Visita :	27/3/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Coordenadas :	EG : 8131578				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08° 03' 06" S	Altitude Ortométrica(m)	9,2215	Gravidade(mGal)	978,158,98
Longitude	34° 56' 59" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Sigma Gravidade(mGal)	
Fonte	GPS Navegação	Classe	Ajustada - Alta Precisão	Precisão	E <= 0,05 mGAL
Origem	Transformada	Datum	Imbituba	Datum	RGFB
S Datum	SAD-69	Data Medição	18/11/2004	Data Medição	27/3/2009
A Data Medição	18/11/2004	Data Cálculo	28/6/2007	Data Cálculo	19/10/2009
D Data Cálculo		Sigma Altitude Ortométrica(m)		Correção Topográfica	
E Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	28,51
F Sigma Longitude(m)				Anomalia Ar-Livre	29,54
G UTM(N)	9,109,475			Densidade	2,67
H UTM(E)	285,128				
I MC	-33				
Latitude	08° 03' 07" S			Gravidade(mGal)	978,158,98
S Longitude	34° 57' 00" W			Sigma Gravidade(mGal)	
I Fonte	GPS Navegação			Precisão	E <= 0,05 mGAL
R Origem				Datum	RGFB
G Datum	SIRGAS2000			Data Medição	27/3/2009
A Data Medição	18/11/2004			Data Cálculo	19/10/2009
S Data Cálculo				Correção Topográfica	
Z Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	27,68
D Sigma Longitude(m)				Anomalia Ar-Livre	28,71
Q UTM(N)	9,109,447			Densidade	2,67
Q UTM(E)	285,089				
MC	-33				

* Último Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996
 ** Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 09/03/2006
 *** Dados Planimétricos para Fonte certa nas escalas maiores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

Localização
 Na borda da ponte sobre o Riocho Cavoco, no lado esquerdo da rotovia sentido UFPE / BR-101, 13 m a leste do poste da CELPE nº B097028, no Campus Universitário da UFPE e a 80 além da RN 3641 - A.

Cheque padrão IBGE	Descrição
	Observação
Conector da Estação: Adelfo Antão dos Santos - Professor do Departamento de Cartografia da UFPE, Tel: (81) 2126-8095 E-mail: assantos@npd.ufpe.br, RN 3641 B = EG 8131578	

Foto(s)



FN 3641-B

ESTUDOS DAS DISCREPÂNCIAS RELATIVAS ENTRE AS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS E GEOMÉTRICAS E SUAS IMPLICAÇÕES EM TRABALHOS DE ENGENHARIA



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	3641C	Nome da Estação :	3641C	Tipo :	Estação Altimétrica - RN
Município :	RECIFE				UF : PE
Última Visita:	27/3/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Coordenadas :	EG : 8131579				

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	08° 03' 07" S	Altitude Ortométrica(m)	9,5506	Gravidade(mGal)	978,158,90
Longitude	34° 56' 43" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Sigma Gravidade(mGal)	
Fonte	GPS Navegação	Classe	Ajustada - Fora da Prescrição	Precisão	E <= 0,05 mGAL
Origem	Transformada	Datum	Irbituba	Datum	RGFB
S Datum	SAD-69	Data Medição	18/11/2004	Data Medição	27/3/2009
A Data Medição	18/11/2004	Data Cálculo	29/6/2007	Data Cálculo	19/10/2009
D Data Cálculo		Sigma Altitude Ortométrica(m)		Correção Topográfica	
6 Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	28,48
9 Sigma Longitude(m)				Anomalia Airy	29,55
UTM(N)	9,109,447			Densidade	2,67
UTM(E)	285,619				
MC	-33				
Latitude	08° 03' 08" S	Gravidade(mGal)			978,158,90
S Longitude	34° 56' 44" W	Sigma Gravidade(mGal)			
Fonte	GPS Navegação	Precisão			E <= 0,05 mGAL
R Origem		Datum			RGFB
G Datum	SIRGAS2000	Data Medição			27/3/2009
A Data Medição	18/11/2004	Data Cálculo			19/10/2009
S Data Cálculo		Correção Topográficas			
Z Sigma Latitude(m)		Anomalia Bouguer			27,56
6 Sigma Longitude(m)		Anomalia Air-Livre			28,73
UTM(N)	9,109,419	Densidade			2,67
UTM(E)	285,589				
MC	-33				

* Último Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996
 ** Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 05/03/2006
 *** Dados Planimétricos para Fonte cartões escalas menores ou iguais a 1:200000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

Localização
 Na base de concreto de sustentação do mastro central das bandeiras da Retorta da UFPE, 20m a Sudeste da quilômetro e 15m ao norte da entrada, na Av. Professor Moraes Rego, nº 1236, no Bairro Cidade Universitária e 0,63km além da RN 3641 B.

Cheque padrão IBGE	Descrição

Observação

Informações: Tel. : (81) 8126-8155 Retorta da UFPE - RN 3641C = EG 8131579

Foto(s)



RN 3641-C