

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA**

**1º Ten CARLOS YOSHIO MORITA
1º Ten IVANILDO BARBOSA**

DETERMINAÇÕES ALTIMÉTRICAS EMPREGANDO GPS

**Rio de Janeiro
2001**

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

1º Ten CARLOS YOSHIO MORITA

1º Ten IVANILDO BARBOSA

DETERMINAÇÕES ALTIMÉTRICAS EMPREGANDO GPS

Projeto de Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, requisito parcial para graduação em Engenharia Cartográfica.

Orientador: Prof. Leonardo Castro de Oliveira – D. E.

Rio de Janeiro

2001

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Carlos Yoshio Morita

Ivanildo Barbosa

DETERMINAÇÕES ALTIMÉTRICAS EMPREGANDO GPS

Projeto de final de curso apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito para a conclusão do 5º ano da graduação em Engenharia Cartográfica.

Orientador: Prof. Leonardo Castro de Oliveira – D.E.

Aprovado em 23 de Outubro de 2001 pela seguinte banca examinadora:

Prof. Leonardo Castro de Oliveira – D.E. pela USP – Presidente

Prof. Luiz Felipe C. F. da Silva – D.E. pela USP – Convidado

Cel R/1 QEM José Carlos Penna de Vasconcellos – M. C. pelo INPE – Convidado

Rio de Janeiro

2001

Aos nossos pais e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus antes de qualquer pessoa.

Às nossas famílias pelo apoio incondicional.

Aos nossos mestres, nossos amigos.

Ao IBGE, nas pessoas de Kátia Duarte Pereira, Maria Cristina Barboza Lobianco, Roberto Teixeira Luz, e Antônio da Cruz Castro.

Aos Chefes da 1ª Divisão de Levantamento, Ten Cel Sérgio Monteiro Soares, do Centro de Cartografia Automatizada do Exército, Ten Cel Cláudio Márcio de Jesus Rodrigues, e da 5ª Divisão de Levantamento, Ten Cel José Donizetti Lopes Telles, e aos Oficiais Engenheiros Cap Edson Barbarioli Netto da 1ª DL, 1º Ten Cristiano Brilhante de Souza do CCAuEx e 1º Ten Alexandre Dantas Soares Coutinho da 5ª DL.

Aos integrantes do Departamento de Engenharia Cartográfica, militares e civis, pela amizade e prontidão em auxiliar-nos.

“Strength and Honor”.

MAXIMUS AELIUS

Gladiator – O Filme

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	09
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE SIGLAS	13
RESUMO	14
ABSTRACT	15
1. APRESENTAÇÃO DO PROJETO	16
2. CONCEITOS INICIAIS	17
2.1. ALTITUDES.....	17
2.2. POLINÔMIOS DE LEGENDRE	20
2.3. HARMÔNICOS ESFÉRICOS DE SUPERFÍCIE.....	21
2.4. MODELOS GEOPOTENCIAIS.....	23
3. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS DADOS UTILIZADOS NO PROJETO	24
3.1. INTRODUÇÃO	24
3.2. REDE ALTIMÉTRICA	26
3.3. LEVANTAMENTO COM GPS	27
3.4. ONDULAÇÕES GEOIDAIIS.....	33
4. DETERMINAÇÃO DAS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS	35
4.1. TRANSFORMAÇÕES DE SISTEMAS DE COORDENADAS.....	35
4.2. USO DO GEOID CALCULATOR	35
4.3. USO DO MAPGEO 2.0.....	37

4.4.	DETERMINAÇÃO DE ALTITUDE PELO MÉTODO ABSOLUTO	38
4.5.	DETERMINAÇÃO DE ALTITUDE PELO MÉTODO RELATIVO	43
5.	CONCLUSÃO	46
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
7.	ANEXO 1 – REDES ALTIMÉTRICAS ESTADUAIS	50
8.	ANEXO 2 – COORDENADAS DOS PONTOS UTILIZADOS	53
A)	FORNECIDOS PELO IBGE	53
B)	FORNECIDOS PELO CCAUEX	55
9.	ANEXO 3 – VISUALIZAÇÃO DO MODELO GEOPOTENCIAL EGM96	57
10.	ANEXO 4 – RELATÓRIOS DE LEVANTAMENTO ENVIADOS PELO CCAUEX	58

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 2.1 -	ESQUEMA DA ALTURA GEOMÉTRICA E DA ALTITUDE ORTO-MÉTRICA.	18
FIG. 2.2 -	ESQUEMA DE LEVANTAMENTO GPS SIMULTÂNEO.	19
FIG. 2.3 -	ESQUEMA DO PROBLEMA DA DISTÂNCIA ENTRE DOIS PONTOS SOBRE A ESFERA.	20
FIG. 2.4 -	ESFERA DE RAIO UNITÁRIO USADA NA DEDUÇÃO DOS HARMÔNICOS ESFÉRICOS DE SUPERFÍCIE.	21
FIG. 3.1 -	ESQUEMA SIMPLIFICADO DA VERIFICAÇÃO DOS VETORES LEVANTADOS COM GPS.	28
FIG. 4.1-	DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS COMPUTADOS NA AMÉRICA DO SUL.	36
FIG. 4.2 –	TELA DO GEOID CALCULATOR.	36
FIG. 4.3 –	TELA DO PROGRAMA MAPGEO 96, VERSÃO 2.0.	37
FIG. 7.1 -	EXTRATO DA REDE ALTIMÉTRICA DO ESTADO DA BAHIA COM AS REFERÊNCIAS DE NÍVEL USADAS NESTE TRABALHO ASSINALADAS EM VERMELHO.	50
FIG. 7.2 -	EXTRATO DA REDE ALTIMÉTRICA DO ESTADO DO CEARÁ COM AS REFERÊNCIAS DE NÍVEL USADAS NESTE TRABALHO ASSINALADAS.	51
FIG. 7.3 -	EXTRATO DA REDE ALTIMÉTRICA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, COM AS REFERÊNCIAS DE NÍVEL USADAS NESTE TRABALHO ASSINALADAS EM VERMELHO.	52

LISTA DE TABELAS

TAB. 3.1 -	IDENTIFICAÇÃO DAS RN'S RASTREADAS E SUAS RESPECTIVAS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS.	25
TAB. 3.2-	CONFERÊNCIA DOS VALORES DAS COORDENADAS AJUSTADAS E DOS VETORES DO PROJETO UNIFOR.	29
TAB. 3.3 -	NOVAS COORDENADAS DAS ESTAÇÕES 92168 E 92170.	30
TAB. 3.4 -	AVALIAÇÃO DAS SOMAS VETORIAIS NA DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO 93030.	32
TAB. 3.5 –	RESUMO DAS COORDENADAS DA ESTAÇÃO 93030 OBTIDAS.	31
TAB. 3.6 -	COORDENADAS RECALCULADAS DAS ESTAÇÕES DO ESTADO DA BAHIA.	31
TAB. 3.7 -	AS RRNN DE BRASÍLIA PROCESSADAS COM DIFERENTES BASES FIXAS.	33
TAB. 4.1 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO UNIFOR.	39
TAB. 4.2 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO PENTECOSTE.	39
TAB. 4.3 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO ARAÇOIABA.	39
TAB. 4.4 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO CRUZ.	39
TAB. 4.5 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO CASCAVEL.	39
TAB. 4.6 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO SOBRAL.	40

TAB. 4.7-	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO CHAVAL.	40
TAB. 4.8 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO CEMARCO.	40
TAB. 4.9 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO GUARACIABA.	40
TAB. 4.10 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO TABOSA.	40
TAB. 4.11 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO CRATEÚS.	40
TAB. 4.12 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO PARAMBU.	41
TAB. 4.13 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO QUIXADÁ.	41
TAB. 4.14 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO CAMSALES.	41
TAB. 4.15 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO PEREIRO.	41
TAB. 4.16 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO RUSSAS.	41
TAB. 4.17 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO GUANAMBI.	41
TAB. 4.18 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO CORRENTINA.	41
TAB. 4.19 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO BARREIRAS.	42
TAB. 4.20 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO MARICÁ.	42
TAB. 4.21 -	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO BRASÍLIA, CORRIGIDA PELA ESTAÇÃO BRAZ.	42

- TAB. 4.22 - RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ABSOLUTO NO PROJETO BRASÍLIA, COM CORREÇÃO DIFERENCIAL BASEADA EM VÉRTICES MATERIALIZADOS NAS INSTALAÇÕES DO CCAUEX. 43
- TAB. 4.23 - RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO RELATIVO ENTRE ESTAÇÕES PERTENCENTES AO MESMO PROJETO. 45
- TAB. 5.1 - RELAÇÃO DA PRECISÃO DO MÉTODO RELATIVO, EM METROS, COM A DISTÂNCIA ENTRE AS ESTAÇÕES. 47

LISTA DE SIGLAS

CCAuEx	Centro de Cartografia Automatizada do Exército
DL	Divisão de Levantamento
EGM96	Earth Gravitational Model 1996
GEM-T2	Goddard Earth Model
GPS	Global Positioning System of 1984
GSFC	Goddard Space Flight Center
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NASA	North American Space Agency
NIMA	National Imagery and Mapping Agency
OSU	Ohio State University
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS
RN	Referência de Nível
RRNN	Referências de nível (pl.)
SAD69	South American Datum of 1969
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TOD	Topografia do Oceano Dinâmico
USP	Universidade de São Paulo
WGS-84	World Geodetic System of 1984

RESUMO

O Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* - GPS) é uma das tecnologias mais eficientes na determinação de informações de posição. Entretanto, o valor de altitude fornecido pelo referido sistema tem conotação puramente geométrica (altura elipsoidal - h), enquanto a maioria das aplicações, como no caso das Engenharias, empregam a altitude relacionada ao nível médio dos mares (altitude ortométrica - H), cuja superfície é uma aproximação da superfície equipotencial da Terra tomada como origem (geóide). Foram aplicados modelos matemáticos que tem por objetivo estimar a diferença entre ambas (ondulação geoidal: $N = h - H$). Entre eles, pode-se citar os modelos GEM-T2 e o EGM96, cuja aplicabilidade tem sido testada em todo o mundo. Feita a determinação de N e posterior transporte de altitudes, é necessário que haja uma coerência na rede ortométrica existente, para que sirva de base para o processo, assim como um processamento adequado dos dados obtidos com o GPS. O trabalho apresenta uma metodologia que permite detectar eventuais problemas nos dados e uma avaliação dos modelos geopotenciais em algumas regiões do território brasileiro.

ABSTRACT

The Global Positioning System (GPS) is one of the most efficient technologies in position information determination. However, the given height by GPS is the geometric height h , while most of applications in Engineering use the orthometric height H , measured over the sea mean level, that is the approach of the geoid. Some mathematical models return the difference between them (geodetical height: $N = h - H$). Among these models we choose GEM-T2 and EGM96, whose applicability has been evaluated all over the world. When N is determined and heights are transported, the orthometric net available must be well built as well as a good GPS data processing. A methodology to detect inconsistencies in data is shown as well as an geopotential models evaluation in some regions of Brazil.

1. APRESENTAÇÃO DO PROJETO

Este projeto faz parte da linha de pesquisa Modelagem e Representação Terrestres. Trata-se de um assunto de grande importância para a Geodésia, visando utilizar o produto do processamento dos dados do Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS) como solução na determinação de altitudes para emprego em Engenharia.

SOARES (1994) apresenta uma metodologia para determinação da altitude ortométrica a partir das alturas geométricas, altitudes ortométricas e ondulações geoidais. Entretanto, a metodologia descrita naquele trabalho é válida sob a hipótese de ser perfeita a interpolação do modelo geoidal e as referências de nível serem exatas. Se forem desconsideradas as injunções propostas pelo autor, seria possível realizar uma melhor análise dos demais fatores que tem influência sobre o resultado final do método – a altitude ortométrica do ponto em questão.

O objetivo deste trabalho é analisar dois modelos geopotenciais quanto à sua adaptação ao território brasileiro, admitindo a incompatibilidade do resultado da interpolação inerente a cada modelo geopotencial adotado com a realidade física da superfície terrestre.

2. CONCEITOS INICIAIS

2.1. ALTITUDES

O geóide é uma superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra, firmemente associado à superfície média dos oceanos. Pode-se dizer também que o conceito de “*firmemente associado*” pode ser definido de diversas formas. Um desses conceitos é o de que a diferença média entre o Geóide e a superfície média dos oceanos deve ser zero. Desvios entre a superfície média dos oceanos e o geóide representam, primariamente, a Topografia do Oceano Dinâmico médio (TOD). O desvio padrão do TOD é aproximadamente ± 62 cm, com valores extremos de cerca de 80 cm até cerca de -213 cm, sendo este último nas Regiões Circumpolares Antárticas (PAVLIS, 1998).

Altitude ortométrica (H) é definida como sendo a *distância contada do geóide à superfície física medida sobre a linha perpendicular a todas as superfícies equipotenciais entre eles* (FREITAS et BLITZKOW,1999). Tal definição atribui à altitude ortométrica um caráter físico, relacionado a fatores como a distribuição de massas na Terra, velocidade da mesma, anomalias, etc. A modelagem matemática dessa realidade é muito complexa, até porque as massas no interior da Terra estão em constante movimento. A determinação das altitudes em pontos no interior dos continentes está associada à soma dos desníveis obtidos no nivelamento geométrico a partir de um *datum* (origem) até o dado ponto.

A busca de um modelo matemático que melhor representasse a Terra foi necessária para fins de simplificação dos cálculos de posicionamento sobre a mesma. A forma geométrica mais utilizada para essa finalidade é o elipsóide de revolução, que pode ser global ou local, para melhor adaptação a certas regiões do globo. Este, por sua vez, é definido por quatro quantidades, que são o raio equatorial (a), o achatamento (f), a velocidade angular (ω) e a constante gravitacional geocêntrica (GM). Quantidades alternativas são possíveis, como por exemplo, o harmônico zonal de segunda ordem J_2 , de grande importância na definição do Sistema Geodésico de Referência (MORITZ,1992 *apud* PAVLIS, 1998). As

coordenadas planimétricas obtidas em relação a esse elipsóide são aquelas da projeção do ponto sobre o mesmo, desde que definido o meridiano de origem. FREITAS et BLITZKOW (1999) definem a separação entre a superfície topográfica e a superfície elipsoidal ao longo da normal ao elipsóide no ponto em questão como **altura geométrica** ou **elipsoidal** (h), que é a referência altimétrica relacionada ao elipsóide de referência.

Ondulação geoidal (N) é a diferença entre a altura geométrica e a altitude ortométrica (PAVLIS, 1998 e IBGE, 1996). Nos modelos geopotenciais adotados neste Projeto, considera-se

$$H = h - N$$

A determinação de ondulações geoidais será abordada com mais detalhes na seção relativa aos modelos geopotenciais. Mesmo sendo a altitude ortométrica medida sobre a linha de força (que não é uma linha reta devido ao não paralelismo das superfícies equipotenciais), e a altura geométrica (ou elipsoidal), medida sobre a normal ao elipsóide (reta por definição), para fins práticos a curvatura das linhas de força não impede que a altitude ortométrica e a altura elipsoidal sejam consideradas colineares (GEMAEL, 2000). A FIG. 2.1 resume o que foi abordado até o presente momento:

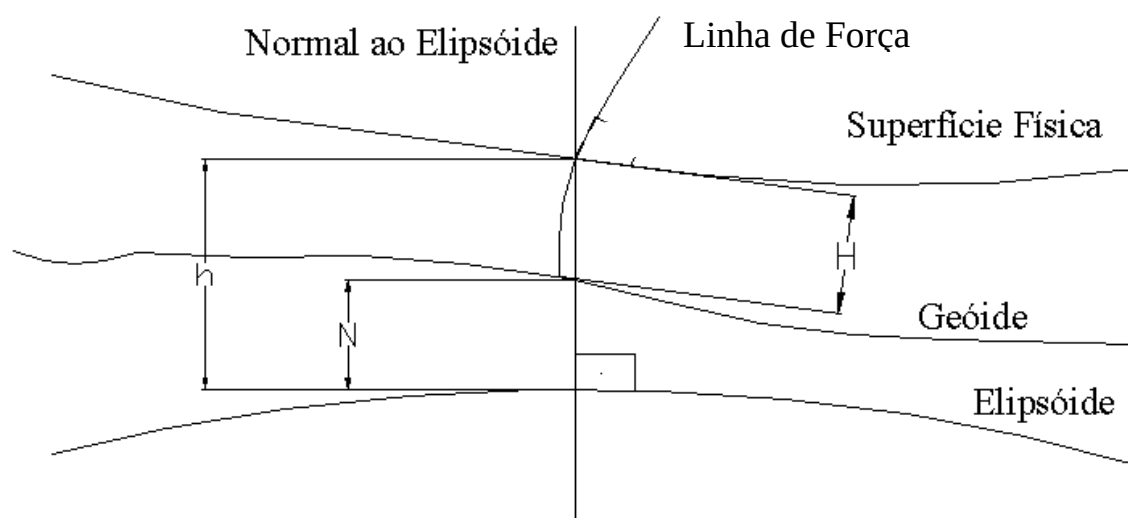


FIG. 2.1 - Esquema da altura geométrica e da altitude ortométrica.

O produto do rastreamento de satélites (como, por exemplo, o GPS) é o conjunto de coordenadas no sistema do elipsóide de referência (ϕ , λ e h). Sendo conhecida a ondulação geoidal nesse ponto, a obtenção da altitude ortométrica torna-se uma questão algébrica. A simples aplicação do valor da ondulação geoidal sobre a altura elipsoidal, respeitando as convenções de sinais e sistemas geodésicos de referência, caracteriza o método **absoluto** de determinação de altitude, analisado neste projeto.

Sejam dois pontos sobre a superfície terrestre, um deles com altitude ortométrica conhecida H_2 e outro com altitude a ser determinada (FIG. 2.2).

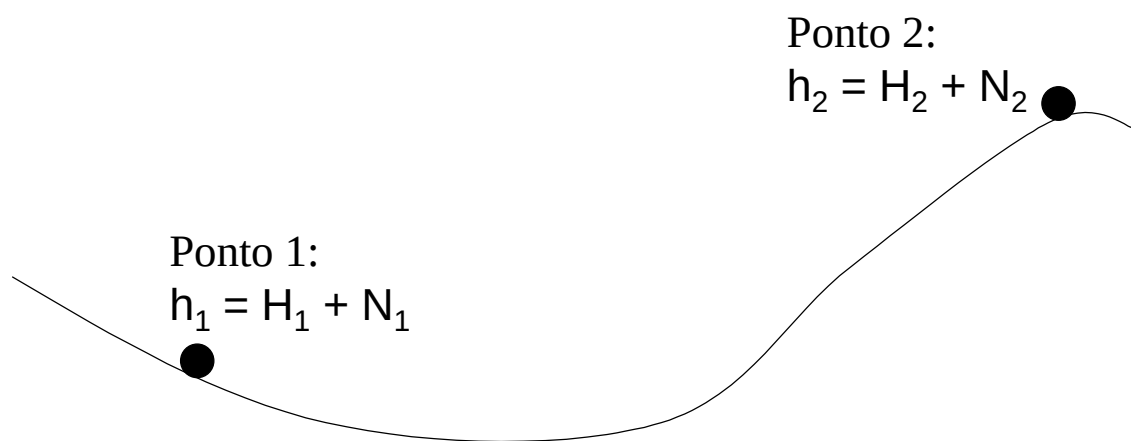


FIG. 2.2 - Esquema de levantamento GPS simultâneo.

De posse das coordenadas (ϕ , λ e h), das ondulações geoidais nos mesmos e das expressões mostradas na FIG. 2.2, deduz-se, subtraindo a primeira expressão da segunda e passando H_1 para o segundo membro, que:

$$H_2 = H_1 + (h_2 - h_1) - (N_2 - N_1) \quad (2.1)$$

O emprego da expressão 2.1 na obtenção de altitudes ortométricas caracteriza o método **relativo** de determinação de altitudes, abordado posteriormente neste trabalho.

2.2. POLINÔMIOS DE LEGENDRE

Conforme Alves (1998), os polinômios de Legendre são construídos a partir de uma fórmula de recorrência conhecida como Fórmula de Rodrigues:

$$P_0(\Psi) = 1$$
$$P_n(\Psi) = \frac{1}{n!} \frac{d^n}{dt^n} (t^2 - 1)^n, \text{ para } n \geq 1 \quad (2.2)$$

São empregados no desenvolvimento de expressões em séries convergentes como as de Fourier (ALVES, 1998). Uma das aplicações desses polinômios ocorre na representação do inverso da distância entre dois pontos P e P' (ver FIG. 2.3).

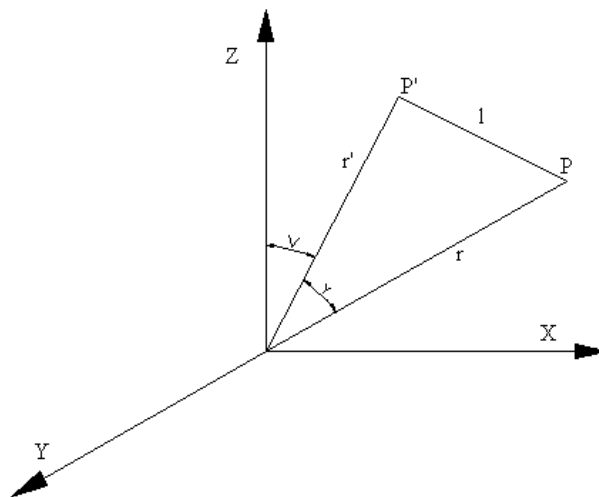


FIG. 2.3 - Esquema do problema da distância entre dois pontos sobre a esfera.

Observando o esquema da FIG. 2.3, usando a lei dos cossenos e substituindo $\cos(\Psi) = t$, escreve-se:

$$1/l = (r^2 + r'^2 - 2.r.r'.t)^{-1/2}$$

Em Gemael (2000) está demonstrado que:

$$\begin{aligned}\frac{1}{l} &= \frac{1}{r} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{r'}{r} \right)^n \cdot P_n \quad \text{para } r' < r \\ \frac{1}{l} &= \frac{1}{r'} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{r}{r'} \right)^n \cdot P_n \quad \text{para } r < r'\end{aligned} \quad (2.3)$$

onde P_n é o polinômio de Legendre de grau n .

2.3. HARMÔNICOS ESFÉRICOS DE SUPERFÍCIE¹

Sejam P , P' e suas respectivas projeções (φ, λ) e (φ', λ') sobre uma esfera de raio unitário e centro na origem do sistema cartesiano, conforme mostra a FIG. 2.4, a seguir.

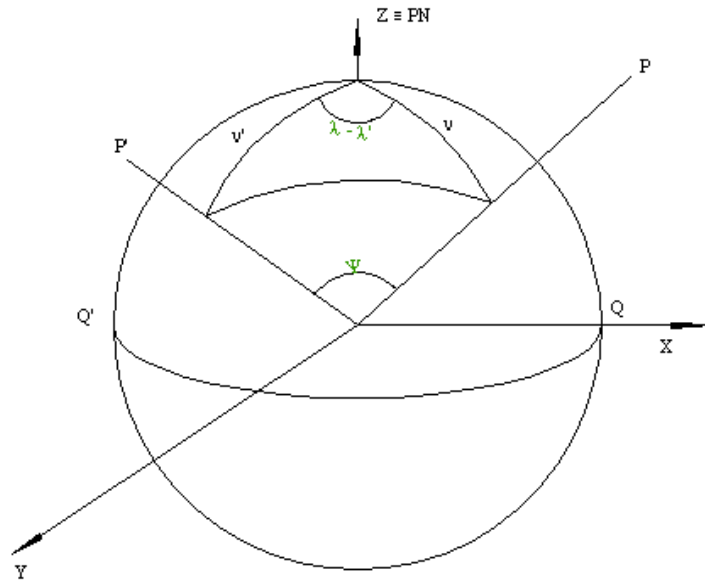


FIG. 2.4 - Esfera de raio unitário usada na dedução dos harmônicos esféricos de superfície.

Por Trigonometria Esférica, obtém-se:

$$P_1(\Psi) = \cos(\Psi) = \cos(\nu) \cdot \cos(\nu') + \sin(\nu) \cdot \sin(\nu') \cdot \cos(\lambda - \lambda') \quad (2.4)$$

¹ Demonstração baseada em GEMAEL, 2000.

Se forem considerados $\cos v = P_{10}(v)$ e $\sin v = P_{11}(v)$, a EQ. 2.4 pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$P_1(\Psi) = \cos(\Psi) = P_{10}(v).P_{10}(v') + P_{11}(v).P_{11}(v').\cos(\lambda - \lambda') \quad (2.5)$$

Utilizando o raciocínio aplicado em $P_1(v)$ a $P_2(v)$, obtém-se, após algumas transformações :

$$P_2(\Psi) = P_{20}(v).P_{20}(v') + 1/3.P_{21}(v).P_{21}(v').\cos(\lambda - \lambda') + 1/12.P_{22}(v).P_{22}(v').\cos 2(\lambda - \lambda')$$

Seguindo o mesmo raciocínio para polinômios de ordens maiores, chega-se à seguinte expressão:

$$P_n(\Psi) = \sum_{m=0}^n \frac{\xi_m (n-m)!}{(n+m)!} \cdot P_{nm}(v) P_{nm}(v') \cos m(\lambda - \lambda')$$

$$P_n(\Psi) = \sum_{m=0}^n \frac{\xi_m (n-m)!}{(n+m)!} \cdot P_{nm}(v) P_{nm}(v') \cdot [\cos m\lambda \cos m\lambda' + \sin m\lambda \sin \lambda'] \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} \xi_m &= 1 & p/m &= 0; \\ \xi_m &= 2 & p/m &\geq 1; \end{aligned}$$

onde m é a **ordem** do polinômio. Sejam:

$$a_{nm} = \frac{\xi_m (n-m)!}{(n+m)!} \cdot P_{nm}(v') \cdot \cos m\lambda' \quad (2.7)$$

$$b_{nm} = \frac{\xi_m (n-m)!}{(n+m)!} \cdot P_{nm}(v') \cdot \sin m\lambda' \quad (2.8)$$

Substituindo (2.7) e (2.8) na EQ. 2.6, resulta a função S_n , **harmônico esférico de superfície de grau n** :

$$S_n = \sum_{m=0}^n [a_{nm} P_{nm}(v) \cos m\lambda + b_{nm} P_{nm}(v) \sin m\lambda] \quad (2.9)$$

Os valores de P_{nm} são dados pela expressão geral:

$$P_{nm}(v) = \frac{\sin^m v}{2^n} \sum_{k=0}^l \frac{(2n-2k)!(-1)^k}{(n-m-2k)!(n-k)!k!} t^{n-m-2k} \quad (2.10)$$

onde $t = \cos \varphi$, e l é o maior inteiro contido em $0,5.(n - m)$.

2.4. MODELOS GEOPOTENCIAIS

A expressão que quantifica o potencial gravitacional W é derivada da fórmula de Newton para a Gravitação Universal (GEMAEEL, 2000):

$$W = G \cdot \int_m \frac{dm}{l}, \quad (2.11)$$

onde G é a constante gravitacional ($6,672 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{s}^{-2}\text{kg}^{-1}$) e dm é a massa de uma partícula situada à distância de l metros do centro de massa da Terra.

Os modelos geopotenciais criados visam representar matematicamente esse potencial, de modo que se desvie o mínimo possível do potencial real. Infelizmente, essa distribuição de massa para o caso da Terra não é possível porque as massas constituintes da Terra estão em constante movimento.

A implementação dos modelos se dá, na maior parte das vezes, expandindo a expressão do potencial em harmônicos esféricos de superfície e calculando os coeficientes que compõem tais harmônicos. Para esse cálculo, são utilizados dados altimétricos e gravimétricos da região de interesse, medidos em pontos dispostos em grades de tamanho pré-determinado. O potencial nos demais pontos é obtido por interpolação no interior da área contida em cada grade.

Um dos produtos dos modelos geopotenciais é o valor da ondulação geoidal referente a um dado sistema geodésico, a partir de transformações que variam de modelo para modelo. Os modelos utilizados neste trabalho para fins de obtenção das ondulações geoidais foram o EGM96 – cuja descrição consta em PAVLIS (1998) – e o GEM -T2 – abordado detalhadamente em PAVLIS (1990).

3. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS DADOS UTILIZADOS NO PROJETO

3.1. INTRODUÇÃO

Observando a EQ. 2.1, deduz-se que a altitude de um ponto qualquer depende da integridade de três conjuntos de dados:

- a) a altitude de um ponto de referência;
- b) as coordenadas dos pontos em questão, obtidas por rastreios com GPS;
- c) os valores das ondulações geoidais obtidas por um modelo confiável.

Foram obtidos, mediante solicitação ao IBGE, os dados citados nas alíneas a) e b) relativos a pontos utilizados por Pereira *et Oliveira* (2000) em pesquisa de interesse deste projeto. Tais pontos estão situados nos estados do Ceará e Bahia (ver Anexo 1). Os levantamentos geodésicos de RRNN no Rio de Janeiro foram cedidos pela empresa GPSurvey e os dados de Brasília foram fornecidos pelo CCAuEx. A 1ª DL e a 5ª DL também colaboraram, mas não foram enviados todos os dados solicitados a tempo de concluir o trabalho.

As referências de nível foram separadas em projetos, de acordo com a sua localização geográfica. O processamento dos dados GPS foi feito em modo diferencial, com base em estações que variavam projeto a projeto. A distribuição das RRNN está descrita resumidamente na TAB. 3.1. A altitude ortométrica que consta na tabela é a mesma da descrição oficial do órgão executor do nivelamento. Esse valor foi truncado em duas casas decimais devido à precisão da ondulação geoidal fornecida pelos softwares (em centímetros), como será visto mais adiante.

O último conjunto de dados foi obtido utilizando dois programas: um fornecido gratuitamente pela *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA²), que retorna o valor da ondulação geoidal utilizando o modelo EGM96 a partir das coordenadas geodésicas do ponto em questão (no sistema WGS-84), e o software Mapgeo 2.0,

² <ftp://164.214.2.65/pub/gig/gravity3/clenshawFiles.zip>

TAB. 3.1 - Identificação das RN's rastreadas e suas respectivas altitudes ortométricas.

Referência de Nível	Estação	Cidade / Projeto	Altitude Ortométrica
2728-S	92168	UNIFOR	17.44
2728-T	92169	UNIFOR	17.47
2728-V	92170	UNIFOR	16.66
1851-E	92174	Pentecoste	63.05
1850-X	92176	Pentecoste	85.65
467-V	92178	Araçoiaba	144.13
467-Y	92179	Araçoiaba	105.80
471-C	92181	Cruz	237.91
1614-J	92184	Cascavel	13.89
1614-C	92185	Cascavel	19.79
9328-D	92187	Sobral	67.59
1654-H	92188	Sobral	68.72
533-F	92191	Chaval	11.58
533-D	92192	Chaval	17.08
525-R	92194	Cemarco	17.38
1853-M	92195	Cemarco	62.48
522-B	92197	Guaraciaba	940.83
522-F	92198	Guaraciaba	880.52
1862-H	92332	Tabosa	690.53
1862-E	92333	Tabosa	672.56
1862-U	92335	Crateús	300.53
504-B	92336	Crateús	335.43
569-M	92338	Parambu	475.38
1674-H	92339	Parambu	475.58
459-I	92344	Quixadá	186.09
459-F	92345	Quixadá	186.29
2634-V	92347	Campos Sales	596.41
2629-C	92348	Campos Sales	602.71
1897-P	92351	Pereiro	183.30
1897-F	92352	Pereiro	182.72
1691-F	92354	Russas	23.96
1691-H	92355	Russas	29.03
1184-N	93077	Guanambi	542.64
1184-V	93078	Guanambi	508.07
2295-R	93080	Correntina	569.61
2298-G	93081	Correntina	647.02
2302-R	93083	Barreiras	444.37
1010-U	-	Maricá	12.41
1011-D	-	Maricá	41.09
1011-H	-	Maricá	3.66
RN_41	-	Brasília	1134.34
RN_144	-	Brasília	1043.88
RN_173	-	Brasília	1102.27
RN_187	-	Brasília	1174.21
RN_174	-	Brasília	1105.88
RN_188	-	Brasília	1156.96
RN_148	-	Brasília	1053.32
RN_60	-	Brasília	1076.31
RN_96	-	Brasília	1004.56
RN_146	-	Brasília	1033.67
RN_03	-	Brasília	1124.26
RN_151	-	Brasília	1179.57

que utiliza o modelo GEM-T2 na determinação das ondulações (IBGE, 1996) a partir das coordenadas geodésicas em SAD-69.

Os tópicos seguintes abordam os tratamentos que os dados devem receber inicialmente, investigando a existência de possíveis erros grosseiros como RRNN com altitude equivocada ou rastreios (ou processamentos) mal executados, assim como imprecisões dos modelos geoidais adotados.

3.2. REDE ALTIMÉTRICA

Para fins de avaliação dos resultados obtidos pelos métodos descritos neste trabalho, é preciso compará-los com valores reais de altitude dos pontos pesquisados. Para isso, é necessário que haja uma rede altimétrica confiável, devidamente ajustada com o *datum* altimétrico existente no país.

O IBGE, que detém a responsabilidade de implementar a Rede Altimétrica Nacional, possui uma metodologia para execução e ajustamento da mesma. Entretanto, é possível que haja um equívoco na altitude de partida de uma determinada linha, e que propague uma informação errada.

Um caso que pode ser considerado é a possibilidade de um marco ser arrancado e colocado em outro lugar por leigos, sem autorização do IBGE. A informação altimétrica é comprometida sem que haja um controle da mesma. Outra situação possível é a escrituração de um número de forma equivocada (inversão de dígitos, por exemplo) na caderneta de campo ou no banco de dados do IBGE. Assim, pode-se obter um erro significativo no nivelamento dos circuitos, ou até em um estado inteiro.

O IBGE forneceu um mapa esquemático das redes de nivelamento dos estados do Ceará, Bahia e Rio de Janeiro (como pode ser visto no anexo 1), onde estão todas as RN's fornecidas pelo citado Instituto. Com isso, pode-se ter uma idéia aproximada da correlação entre as medidas obtidas, ou seja, saber se o erro encontrado em uma dada RN é propagação do erro existente em outra.

3.3. LEVANTAMENTO COM GPS

Embora o GPS tenha aumentado consideravelmente a qualidade na determinação de coordenadas, é possível existir grandes discrepâncias em um rastreo, mesmo que ele dure muitas horas. Exemplificando com o caso de um posicionamento relativo: a coordenada da estação de partida deve ser bem confiável, para que os vetores oriundos dessa observação sejam coerentes com a realidade. Se, no momento do processamento, algum dado for inserido de forma errada (altura da antena, coordenadas de partida, etc.), certamente haverá um resultado ajustado, porém não acurado. Isso pode ser controlado transportando as coordenadas de estações diversas (de preferência da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC – controlada pelo IBGE) com os vetores gerados pelo processamento – *baseline vectors* – dos dados do GPS. Espera-se que, por todas as combinações possíveis, exista um mesmo valor de coordenadas para a estação em questão.

O *baseline vector* é composto pelas diferenças ΔX , ΔY , ΔZ entre as coordenadas dos pontos no sistema de coordenadas escolhido pelo usuário (MONICO, 1996). Se estão disponíveis três estações com coordenadas ortogonais X, Y e Z, espera-se que o vetor que parte da estação A em direção à estação C tenha o mesmo módulo que a soma dos vetores que ligam A a B e B a C (FIG. 3.1). Para cada eixo ortogonal é feita essa composição, e é analisada a compatibilidade dos vetores cedidos. Se as componentes vetoriais são independentes, o raciocínio a ser seguido é o mesmo que rege o nivelamento geométrico:

Não importa o caminho percorrido: a soma dos desníveis quando o nivelamento chega ao ponto inicial deve ser nulo.

$$\Delta X_{AB} + \Delta X_{BC} = \Delta X_{AC}$$

$$\Delta Y_{AB} + \Delta Y_{BC} = \Delta Y_{AC}$$

$$\Delta Z_{AB} + \Delta Z_{BC} = \Delta Z_{AC}$$

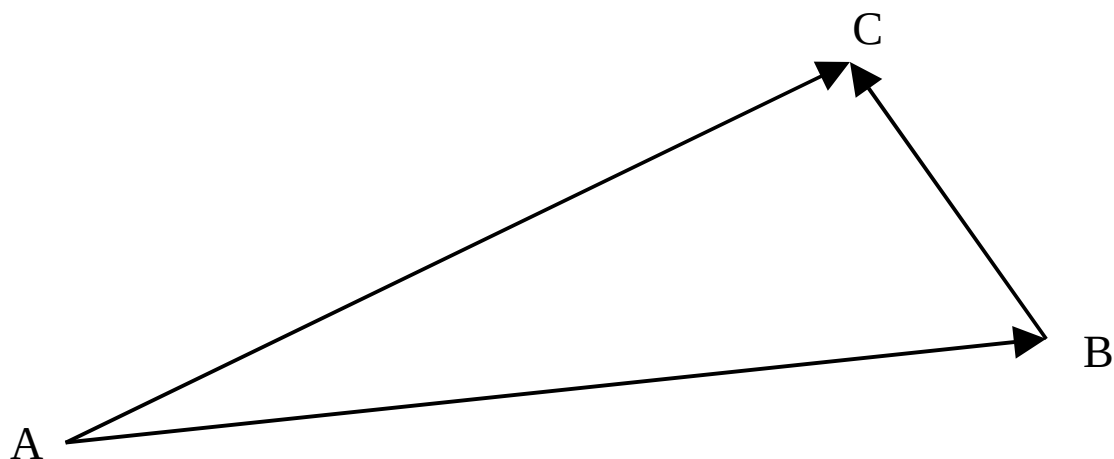


FIG. 3.1 - Esquema simplificado da verificação dos vetores levantados com GPS.

Os dados que foram solicitados ao IBGE, referentes ao estado do Ceará, vieram com incorreções tais que tornou-se impossível a avaliação das estações relativas àquele estado, a não ser as de número 92168 e 92170. A estação 92009 é uma estação de referência para rastreios (RBMC – Fortaleza), sendo usada no processamento de várias estações analisadas neste trabalho.

O resumo dos vetores cedidos pelo IBGE (e que puderam ser aproveitados nesse trabalho) estão mostrados a seguir. O primeiro valor médio que se tem é a distância geodésica entre as estações; os demais são as diferenças de coordenadas das mesmas nos eixos ortogonais X, Y e Z, respectivamente.

PROJETO UNIFOR

[92170 UNIFOR][92009]				
Mean value ==>	13638.711	-3064.682	-5156.056	12248.969
[92170 UNIFOR][92168 UNIFOR]				
Mean value ==>	549.245	-257.453	-357.370	328.139
[92168 UNIFOR][92009]				
Mean value ==>	13153.483	-2807.229	-4798.687	11920.830

Somando os vetores-diferença 92170-92168 e 92168-92009, chega-se ao vetor de mesmo módulo, direção e sentido que o vetor-diferença 92170-92009. Isso descarta a possibilidade de erros no processamento relativo para esse caso.

Outra possibilidade de conferência está na aplicação dos valores desses vetores sobre as coordenadas ortogonais de cada estação – rotina de conversão está descrita em MONICO (2000), pág. 38. Com as coordenadas da estação 92009 no sistema geodésico SAD-69, sugere-se que tal coordenada seja comparada com os valores obtidos para a mesma pela adição dos vetores apresentados acima às coordenadas ortogonais de 92168 e 92170. Observa-se que os valores apresentam uma pequena diferença entre valores obtidos para cada eixo pelos dois caminhos diferentes (TAB. 3.2). A estação estaria deslocada de 8,394m e não se chegaria a um valor preciso sobre a posição da estação.

TAB. 3.2- Conferência dos valores das coordenadas ajustadas e dos vetores do Projeto UNIFOR.

UNIFOR (92009) – Valores em metros.			
Estação	Vetores cedidos pelo IBGE		
	dX	dY	DZ
92168	-2807.229	-4798.687	11920.83
92170	-3064.682	-5156.056	12248.969
Coordenadas ortogonais oficiais das estações			
Estação	X	Y	Z
92168	4982606.6	-3959829.5	-416508.41
92170	4982354.44	-3960180.35	-416180.23
Coordenadas da estação de referência (92009)			
A partir de	X	Y	Z
92168	4985413.829	-3955030.813	-428429.24
92170	4985419.122	-3955024.294	-428429.199
Diferença	-5.293	-6.519	-0.041
Resultante	8.397		

Devido à grande diferença encontrada, buscou-se saber a possível causa da mesma. Os vetores fornecidos, mais as coordenadas da estação 92009 geraram coordenadas diferentes daquelas listadas nos relatórios (TAB. 3.2). As novas coordenadas estão listadas na TAB. 3.3. Na determinação de altitudes com ambos os métodos, as estações com coordenadas corrigidas estão indicadas com a letra “R” antecedendo a identificação da RN.

TAB. 3.3 - Novas coordenadas das estações 92168 e 92170.

FORTALEZA			
	X	Y	Z
92009 OFICIAL	4985454.434	-3955002.955	-428388.123
VETORES 92168	2807.229	4798.687	-11920.83
COORDENADAS 92168	4982647.205	-3959801.642	-416467.293
VETORES 92170	3064.682	5156.056	-12248.969
COORDENADAS 92170	4982389.752	-3960159.011	-416139.154

Os dados relativos ao estado da Bahia vieram subdivididos nos projetos de rastreamento limitados às cidades isoladamente, o que não permitiu um maior número de combinações de vetores. As estações 93030 e 90092 tem a mesma função que a estação 92009, descrita anteriormente. Tanto as somas vetoriais quanto as determinações de coordenadas desconhecidas foram verificadas. Todos tem em comum a estação 93030, de coordenadas não conhecidas. Contou-se com os vetores listados a seguir:

PROJETO GUANAMBI

[93078 GUANAMBI][93077 GUANAMBI]
Mean value ==> 9330.015 -6540.772 -6523.698 -1307.228

[93030][93077 GUANAMBI]
Mean value ==> 127125.672 -30966.901 -69387.448 101918.446

[93030][93078 GUANAMBI]
Mean value ==> 123304.609 -24426.129 -62863.750 103225.674

PROJETO CORRENTINA

[93081 CORRENTINA][93080 CORRENTINA]
Mean value ==> 2206.079 500.778 -322.722 2124.113

[93030][93080 CORRENTINA]
Mean value ==> 132056.715 93019.717 93275.283 9275.225

[93030][93081 CORRENTINA]
Mean value ==> 131800.907 92518.939 93598.006 7151.112

PROJETO BARREIRAS

[93083 BARREIRAS][90092]
Mean value ==> 9603.100 -2313.335 929.523 -9273.833

[93030][90092]
Mean value ==> 215251.028 98843.456 142974.044 -126970.071

[93030][93083 BARREIRAS]
Mean value ==> 210384.759 101156.791 142044.521 -117696.238

Todos os projetos apresentaram coerência na composição vetorial. De forma semelhante ao procedimento adotado para as estações de Fortaleza, a determinação da estação 93030 (pertencente à RBMC em Bom Jesus da Lapa) é apresentada na TAB. 3.4. Reunindo os resultados obtidos e as coordenadas oficiais da estação 93030 no IBGE, observa-se uma grande diferença entre os resultados obtidos através dos processamentos fornecidos e aqueles obtidos pela soma dos *baseline vectors* às coordenadas oficiais da estação de monitoramento contínuo (TAB. 3.5):

TAB. 3.5 – Resumo das coordenadas da estação 93030 obtidas.

Origem	X	Y	Z
93077	4510214.299	-4268339.708	-1453041.064
93078	4510214.751	-4268340.15	-1453041.236
93080	4510214.307	-4268339.747	-1453041.085
93081	4510214.309	-4268339.744	-1453041.078
90092	4510214.306	-4268339.746	-1453041.081
93083	4510214.301	-4268339.749	-1453041.078
Oficial	4510263.185	-4268326.193	-1452997.078

Optou-se por utilizar ambos os resultados. Os cálculos envolvendo as coordenadas obtidas pela soma vetorial encontram-se identificadas com a letra “R” antes da identificação da referência de nível.

TAB. 3.6 - Coordenadas recalculadas das estações do estado da Bahia.

BOM JESUS DA LAPA			
	X	Y	Z
93030 OFICIAL	4510263.185	-4268326.193	-1452997.078
GUANAMBI			
VETORES 93077	-30966.901	-69387.448	101918.446
COORDENADAS R93077	4541230.086	-4198938.745	-1554915.524
VETORES 93078	-24426.129	-62863.75	103225.674
COORDENADAS R93078	4534689.314	-4205462.443	-1556222.752
CORRENTINA			
VETORES 93080	93019.717	93275.283	9275.225
COORDENADAS R93080	4417243.468	-4361601.476	-1462272.303
VETORES 93081	92518.939	93598.006	7151.112
COORDENADAS R93081	4417744.246	-4361924.199	-1460148.19
BARREIRAS			
VETORES 93083	101156.791	142044.521	-117696.238
COORDENADAS R93083	4409106.394	-4410370.714	-1335300.84

TAB. 3.4 - Avaliação das somas vetoriais na determinação das coordenadas da estação 93030.

GUANAMBI (93030) - Valores em metros			
Estação	Vetores cedidos pelo IBGE		
	dX	DY	DZ
93077	30966.901	69387.448	-101918.446
93078	24426.129	62863.75	-103225.674
Coordenadas ortogonais oficiais das estações			
Estação	X	Y	Z
93077	4541181.2	-4198952.26	-1554959.51
93078	4534640.88	-4205476.4	-1556266.91
Coordenadas da estação de referência (93030)			
A partir de	X	Y	Z
93077	4510214.299	-4268339.708	-1453041.064
93078	4510214.751	-4268340.15	-1453041.236
Diferença	-0.452	0.442	0.172
Resultante	0.655		
CORRENTINA (93030) - Valores em metros			
Estação	Vetores cedidos pelo IBGE		
	dX	dY	DZ
93080	-93019.717	-93275.283	-9275.225
93081	-92518.939	-93598.006	-7151.112
Coordenadas ortogonais oficiais das estações			
Estação	X	Y	Z
93080	4417194.59	-4361615.03	-1462316.31
93081	4417695.37	-4361937.75	-1460192.19
Coordenadas da estação de referência (93030)			
A partir de	X	Y	Z
93080	4510214.307	-4268339.747	-1453041.085
93081	4510214.309	-4268339.744	-1453041.078
Diferença	-0.002	-0.003	-0.007
Resultante	0.008		
BARREIRAS (93030) - Valores em metros			
Estação	Vetores cedidos pelo IBGE		
	dX	dY	dZ
90092	-98843.456	-142974.044	126970.071
93083	-101156.791	-142044.521	117696.238
Coordenadas ortogonais oficiais das estações			
Estação	X	Y	Z
90092	4411370.85	-4411313.79	-1326071.01
93083	4409057.51	-4410384.27	-1335344.84
Coordenadas da estação de referência (93030)			
A partir de	X	Y	Z
90092	4510214.306	-4268339.746	-1453041.081
93083	4510214.301	-4268339.749	-1453041.078
Diferença	0.005	0.003	-0.003
Resultante	0.007		
OFICIAL	4510263.185	-4268326.193	-1452997.078

Em Brasília, a diferença entre os processamentos das mesmas RRNN com estações fixas diferentes chamou a atenção. De um lado a estação da RBMC BRAZ, pertencente à Rede de Referência do SIRGAS e à Rede IGS; do outro, os pontos PTFE e MSDT, pertencentes à rede de triangulação do IBGE. Os valores foram organizados adequadamente na TAB. 5.2.

TAB. 3.7 - As RRNN de Brasília processadas com diferentes bases fixas.

RRNN	H RBMC (m)	h MSDT (m)	h PTFE (m)	Diferença (m)
RN 41	1122.06	-	1121.23	0.83
RN 144	1031.69	1030.86	-	0.82
RN 173	1090.30	-	1089.77	0.53
RN 174	1095.61	-	1093.12	2.49
RN 188	1145.00	1144.17	-	0.83
RN 148	1041.20	1040.36	-	0.85
RN 60	1063.73	-	1062.87	0.86
RN 96	992.11	-	991.26	0.86
RN 146	1020.95	-	1020.12	0.83
RN 03	1112.03	-	1111.20	0.83
RN 151	1167.17	-	1166.31	0.86

Excetuando as RRNN 173 e 174, que já haviam apresentado problemas com o processamento, todas as demais apresentam a mesma diferença de altura elipsoidal na faixa de 80 cm, caracterizando um erro sistemático. Observando as coordenadas planimétricas, percebe-se que existem diferenças, cuja investigação foge ao objetivo deste trabalho. As coordenadas dos pontos usados como base são oriundas de uma rede de triangulação antiga do IBGE (em SAD-69) que apresenta um processamento diferente da estação da RBMC (SAD-69/96). Entretanto, essa última é fruto de um melhor ajustamento da Rede Planimétrica, apresentando resultados mais confiáveis.

3.4. ONDULAÇÕES GEOIDAIS

Existem, atualmente, programas que permitem calcular as ondulações geoidais em pontos indicados pelo usuário a partir de equações como a EQ. 2.11. Investigar detalhes relativos ao procedimento computacional interno aos *softwares* foge ao escopo deste trabalho, já que demandaria muito tempo e conhecimentos específicos alheios à área do mesmo.

Dessa forma, serão aceitos como “verdadeiros” os resultados provenientes desses *softwares*, sendo de inteira responsabilidade dos seus desenvolvedores a não coerência entre valores retornados pelos programas e os valores calculados pelos modelos geoidais a que se referem.

A precisão anunciada pelos produtores dos softwares é de 3 metros e 1 metro para o Mapgeo e para o Geoid Calculator, respectivamente, usando os valores absolutos de ondulações geoidais; utilizando tais valores no modo relativo (EQ. 2.1), a precisão nominal de ambos é de 1 centímetro para cada quilômetro entre os pontos envolvidos. Logo, espera-se que os valores das altitudes ortométricas obtidas pelo método absoluto difiram entre si de, no máximo, 4 metros, o que pode ser um primeiro indicador da coerência dos resultados.

4. DETERMINAÇÃO DAS ALTITUDES ORTOMÉTRICAS

4.1. TRANSFORMAÇÕES DE SISTEMAS DE COORDENADAS

Os resultados finais dos processamentos realizados pelo IBGE dentro de cada projeto foram fornecidos no sistema SAD-69; os fornecidos pela GPSurvey foram fornecidos em SAD-69 e WGS-84, assim como as referências de nível de Brasília, levantadas pelo Centro de Cartografia Automatizada do Exército (CCAUEX).

O *software* fornecido pela Agência de Mapeamento Americana fornece a ondulação geoidal relativa ao elipsóide GRS-80 (MONICO, 1996), o que faz necessário conhecer as coordenadas das estações no sistema WGS-84. O Mapgeo, entretanto precisa das coordenadas em SAD-69. Para realizar as devidas transformações, foi utilizado o *software* Geocalc, produzido pela empresa Blue Marble Geographics. A configuração da transformação de sistemas baseou-se nas seguintes informações (MONICO, 1996):

SAD-69

Método de Transformação: Molodenski

Semi-eixo maior (metros): 6378160.000000

Achatamento (1/f): 298.2500000000

Soma ao eixo X do WGS 84 (metros): -66.87000

Soma ao eixo Y do WGS 84 (metros): 4.37000

Soma ao eixo Z do WGS 84 (metros): -38.52000

As ondulações geoidais são obtidas com os programas citados, seguindo o procedimento descrito a seguir:

4.2. USO DO GEOID CALCULATOR

Como foi dito anteriormente, este *software* é obtido pela Internet gratuitamente (FIG. 4.2). A convenção adotada para entrada dos sinais é positivo para os

hemisférios norte e leste, e o valor obtido deve ser subtraído da altura geométrica (em WGS-84) a fim de obter o valor da altitude ortométrica.

Espera-se que haja uma boa aproximação para a maior parte do território brasileiro, visto que um modelo digital de elevação disposto em um *grid* de 2' X 2', abrangendo grande parte do país (a área em verde da FIG. 4.1), foi computado na implementação do modelo EGM96 (PAVLIS, 1998).



FIG. 4.1- Distribuição dos pontos computados na América do Sul.

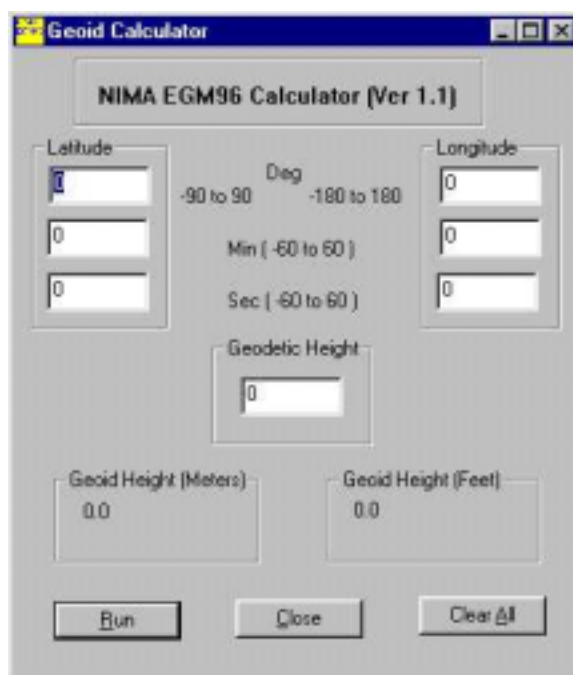


FIG. 4.2 – Tela do Geoid Calculator.

4.3. USO DO MAPGEO 2.0

O cálculo do Mapa Geoidal do Brasil está baseado no modelo geopotencial GEM-T2, complementando as informações disponíveis de alturas geoidais por satélite em 521 pontos. Estas alturas são originadas de observações Doppler e GPS efetuadas sobre a rede de nivelamento de alta precisão, subtraindo-se a altitude ortométrica da altitude elipsoidal obtida. Sua área de atuação é apenas o território brasileiro, apresentando limites à entrada de coordenadas. A convenção adotada para entrada dos sinais é positivo para os hemisférios norte e leste, e o valor obtido deve ser subtraído da altura geométrica (em SAD-69) a fim de obter o valor da altitude ortométrica (IBGE, 1996).

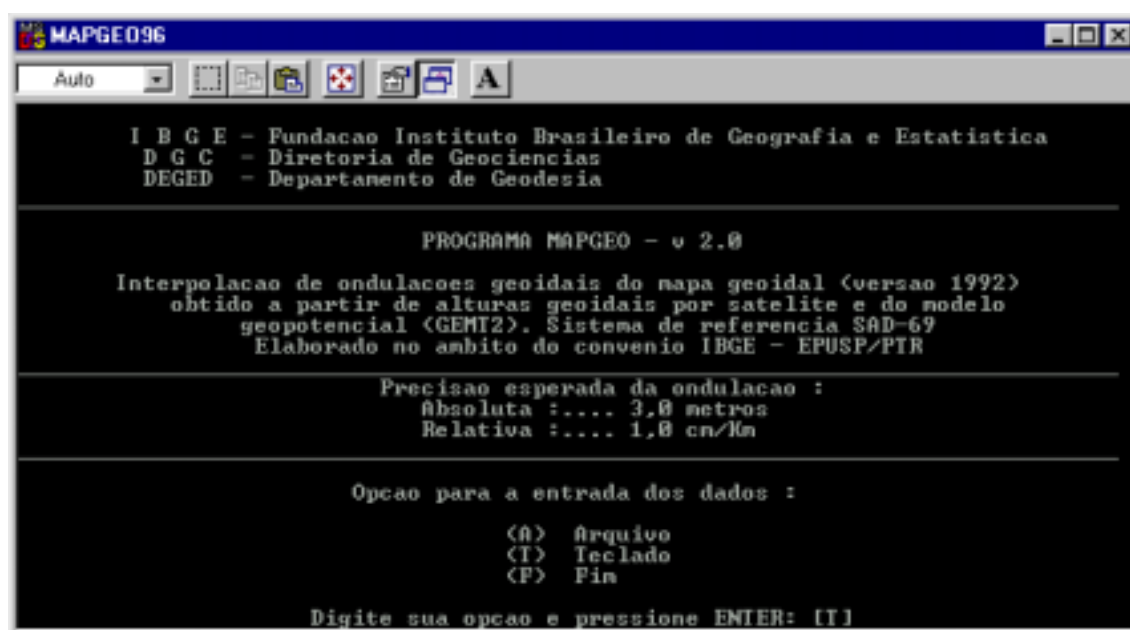


FIG. 4.3 – Tela do programa Mapgeo 96, versão 2.0.

O IBGE, em parceria com a USP, está implementando um novo modelo geopotencial com mais informações altimétricas e gravimétricas que os modelos utilizados neste Projeto. Espera-se que esse modelo seja disponibilizado em breve e forneça resultados melhores que os modelos EGM96 e GEM-T2 (Lobianco, 2001).

4.4. DETERMINAÇÃO DE ALTITUDE PELO MÉTODO ABSOLUTO

Este é o método mais rápido de determinar a altitude ortométrica, tendo a altura elipsoidal e a ondulação de um ponto. Todavia, é o que apresenta maior erro, porque:

- a) a altura elipsoidal é produto de uma transformação das coordenadas cartesianas fornecidas no processamento. Este valor é obtido por um método iterativo que depende do valor da latitude, propagando um erro muito maior que nas coordenadas planimétricas (MONICO, 1996);
- b) a ondulação geoidal que ambos os softwares retornam é um valor interpolado, que pode ser melhor ou pior de acordo com a proximidade a fontes de informações altimétricas utilizadas na implementação do modelo geopotencial. Além do mais, ambos os programas fornecem seus resultados com duas casas decimais. Isso significa que não se pode exigir uma precisão subcentimétrica em aplicações de tais resultados em qualquer das possibilidades abordadas a seguir.

Conhecendo-se as coordenadas nos dois sistemas, assim como as ondulações nos dois modelos, foi possível montar uma planilha com os valores das altitudes ortométricas obtidas pelos dois métodos. Cada projeto será apresentado separadamente para que se possa analisar individualmente. Os dados estão dispostos em colunas, seguindo o padrão descrito a seguir:

Coluna 1 (RN): indica a referência de nível analisada;

Coluna 2 (H Niv): sua respectiva altitude ortométrica, em metros, conforme consta no banco de dados do IBGE (com duas casas decimais apenas, para fins de comparação, devido à precisão da ondulação geoidal obtida por ambos os softwares);

Coluna 3 (h WGS): a altura elipsoidal no sistema WGS-84, em metros;

Coluna 4 (N WGS): mostra a ondulação geoidal, em metros, fornecida pelo software Geoid Calculator (NIMA/NASA).

Coluna 5 (H WGS): a altitude ortométrica, em metros, obtida pela relação entre as duas colunas anteriores (FIG. 2.2).

Coluna 6 (WGS - Niv): mostra a diferença, em metros, entre o valor oficial e o valor encontrado pelo método.

Coluna 7 (h SAD): a altura elipsoidal no sistema SAD-69, em metros;

Coluna 8 (N SAD): mostra a ondulação geoidal, em metros, fornecida pelo Mapgeo;

Coluna 9 (H SAD): idem à coluna 5, para o sistema SAD-69;

Coluna 10: idem à coluna 6, para o sistema SAD-69.

TAB. 4.1 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Unifor.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
R2728-S	17.44	9.08	-8.61	17.69	0.25	38.51	18.16	20.35	2.91
R2728-V	16.66	8.28	-8.62	16.90	0.24	37.70	18.15	19.55	2.89
2728-S	17.44	-2.63	-8.61	5.98	-11.46	26.79	18.16	8.63	-8.81
2728-T	17.47	-2.91	-8.61	5.70	-11.77	26.51	18.15	8.36	-9.11
2728-V	16.66	-3.35	-8.62	5.27	-11.39	26.07	18.14	7.93	-8.73

Observa-se que as altitudes obtidas com as informações cedidas originalmente apresentaram erros da ordem de 11 e 9 metros usando o EGM96 e o GEM-T2, respectivamente. Isso mostra que existe um erro sistemático, que foi reduzido a 0,25 e 3 metros, após a correção das coordenadas pelos dados das estações da RBMC.

TAB. 4.2 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Pentecoste.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
1851-E	63.05	41.29	-10.52	51.81	-11.24	70.14	16.39	53.75	-9.31
1850-X	85.65	63.93	-10.4	74.33	-11.32	92.84	16.4	76.44	-9.21

TAB. 4.3 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Araçoiaba.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
467-V	144.13	135.42	-9.01	144.43	0.30	164.19	18.01	146.18	2.05
467-Y	105.80	96.97	-9.05	106.02	0.23	125.72	17.99	107.73	1.93

TAB. 4.4 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Cruz.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
471-C	237.91	217.80	-9.76	227.56	-10.36	246.29	17.43	228.86	-9.05

TAB. 4.5 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Cascavel.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
1614-J	13.89	-5.67	-8.36	2.69	-11.20	23.59	18.93	4.66	-9.23
1614-C	19.79	0.14	-8.41	8.55	-11.24	29.44	18.83	10.61	-9.17

Os dados das tabelas (4.2), (4.4) e (4.5) apresentam erros da mesma ordem de grandeza dos obtidos no projeto Unifor. Analisando os processamentos recebidos, observou-se que nenhum desses projetos teve como base para correção diferencial a estação da RBMC de Fortaleza, mas de outras estações irradiadas. Isso reforça a hipótese de ocorrer um problema análogo ao ocorrido no Projeto Unifor.

TAB. 4.6 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Sobral.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
9328-D	67.59	53.57	-14.09	67.66	0.08	81.78	12.97	68.81	1.23
1654-H	68.72	54.63	-14.14	68.77	0.05	82.83	12.94	69.89	1.16

TAB. 4.7- Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Chaval.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
533-F	11.81	11.58	-5.15	-16.96	0.22	22.90	9.98	12.92	1.33
533-D	17.31	17.08	0.34	-16.97	0.22	28.35	9.97	18.38	1.30

TAB. 4.8 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Cemarco.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
525-R	17.70	17.38	4.30	-13.4	0.32	33.05	12.98	20.07	2.69
1853-M	62.98	62.48	49.74	-13.24	0.49	78.52	13.17	65.35	2.87

TAB. 4.9 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Guaraciaba.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
522-B	940.83	926.83	-14.66	941.49	0.66	954.41	11.94	942.47	1.64
522-F	880.52	866.46	-14.66	881.12	0.59	894.00	11.99	882.01	1.49

TAB. 4.10 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Tabosa.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
1862-H	690.53	678.91	-12.76	691.67	1.15	706.50	14.66	691.84	1.31
1862-E	672.56	660.47	-13.04	673.51	0.95	688.05	14.45	673.60	1.04

TAB. 4.11 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Crateús.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
1862-U	300.53	286.80	-14.5	301.30	0.77	313.66	12.56	301.10	0.57
504-B	335.43	321.76	-14.22	335.98	0.55	348.67	12.95	335.72	0.29

TAB. 4.12 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Parambu.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
569-M	475.38	463.19	-13.42	476.61	1.23	489.27	12.81	476.46	1.07
1674-H	475.58	463.43	-13.37	476.80	1.22	489.50	12.85	476.65	1.07

TAB. 4.13 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Quixadá.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
459-I	186.09	177.20	-9.68	186.88	0.79	205.36	17.63	187.73	1.64
459-F	186.29	177.65	-9.7	187.35	1.06	205.81	17.61	188.20	1.91

TAB. 4.14 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Camsales.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
2634-V	596.41	586.49	-11.68	598.17	1.76	612.09	13.86	598.23	1.83
2629-C	602.71	592.81	-11.57	604.38	1.66	618.47	14.07	604.40	1.69

TAB. 4.15 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Pereiro.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
1897-P	183.30	176.12	-8.23	184.35	1.06	203.92	18.83	185.09	1.79
1897-F	182.72	175.60	-8.07	183.67	0.95	203.43	18.94	184.49	1.77

TAB. 4.16 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Russas.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
1691-F	23.96	16.51	-8	24.51	0.54	45.37	19.41	25.96	2.00
1691-H	29.03	21.54	-8.01	29.55	0.52	50.38	19.39	30.99	1.96

TAB. 4.17 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Guanambi.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
R1184-N	542.64	529.73	-12.67	542.40	-0.24	547.79	3.56	544.23	1.59
R1184-V	508.07	495.21	-12.72	507.93	-0.14	513.20	4.49	508.71	0.64
1184-N	542.64	514.62	-12.67	527.29	-15.35	532.68	4.63	528.05	-14.59
1184-V	508.07	480.83	-12.72	493.55	-14.52	498.82	4.49	494.33	-13.74

TAB. 4.18 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Correntina.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
R2295-R	569.61	557.34	-12.39	569.73	0.12	574.77	2.4	572.37	2.76
R2298-G	647.02	634.93	-12.42	647.35	0.33	652.38	2.38	650.00	2.98
2295-R	569.61	542.92	-12.39	555.31	-14.30	560.35	2.4	557.95	-11.66
2298-G	647.02	620.49	-12.42	632.91	-14.11	637.94	2.38	635.56	-11.46

TAB. 4.19 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Barreiras.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
R2302-R	444.37	429.34	-15.17	444.51	0.14	447.49	0.96	446.53	2.16
2302-R	444.37	414.20	-15.17	429.37	-15.00	432.35	0.96	431.39	-12.98

Os projetos da Bahia mostram que existia um erro sistemático no processamento recebido. As coordenadas derivadas da soma dos *baseline vectors* às coordenadas cartesianas das estações da RBMC diminuíram as discrepâncias da ordem de 15 e 10 metros – para EGM96 e GEM-T2, respectivamente – para diferenças da ordem de 15 a 20 centímetros para EGM96 e 2 metros para GEM-T2.

TAB. 4.20 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Maricá.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	h SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
1010u	12.41	-0.94	-5.58	4.64	-7.77	9.09	3.31	5.78	-6.63
1011d	41.09	27.55	-5.57	33.12	-7.97	37.70	3.3	34.40	-6.69
1011h	3.66	-9.94	-5.56	-4.38	-8.04	0.30	3.3	-3.00	-6.66

As RRNN de Maricá não puderam ter suas coordenadas recalculadas pelo mesmo método aplicado em Fortaleza e nas RRNN da Bahia. Isso impede que se conclua algo concreto a respeito desse conjunto.

TAB. 4.21 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Brasília, corrigida pela estação BRAZ.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	H SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
RN_41	1134.34	1122.06	-12.48	1134.54	0.20	1134.88	0.12	1134.76	0.42
RN_144	1043.88	1031.69	-12.45	1044.14	0.25	1044.39	0.1	1044.29	0.40
RN_173	1102.27	1090.30	-12.42	1102.72	0.45	1102.78	0.02	1102.76	0.50
RN_187	1174.21	1162.28	-12.34	1174.62	0.40	1174.93	-0.05	1174.98	0.77
RN_174	1105.88	1095.61	-12.41	1108.02	2.14	1108.10	0.02	1108.08	2.20
RN_188	1156.96	1145.00	-12.33	1157.33	0.37	1157.65	-0.06	1157.71	0.76
RN_148	1053.32	1041.2	-12.43	1053.63	0.31	1053.90	0.08	1053.82	0.49
RN_60	1076.31	1063.73	-12.71	1076.44	0.13	1076.75	0.29	1076.46	0.15
RN_96	1004.56	992.11	-12.62	1004.73	0.17	1005.02	0.37	1004.65	0.08
RN_146	1033.67	1020.95	-12.83	1033.78	0.11	1034.03	0.46	1033.57	-0.10
RN_03	1124.26	1112.03	-12.47	1124.50	0.24	1124.83	0.11	1124.72	0.46
RN_151	1179.57	1167.17	-12.43	1179.60	0.03	1179.69	0.04	1179.65	0.07

Dos resultados mostrados na TAB. 4.21, um chama a atenção por estar muito acima dos demais (2.14 m). Consultando o relatório de ocupação, observa-se que a RN 174 é corrigida com base na RN 173, que por sua vez, foi corrigida com base na estação BRAZ, da RBMC.

TAB. 4.22 - Resultados da aplicação do método absoluto no Projeto Brasília, com correção diferencial baseada em vértices materializados nas instalações do CCAuEx.

RN	H Niv	h WGS	N WGS	H WGS	WGS - Niv	H SAD	N SAD	H SAD	SAD - Niv
RN_41	1134.34	1121.23	-12.48	1133.71	-0.63	1134.05	0.12	1133.93	-0.41
RN_144	1043.88	1030.86	-12.45	1043.31	-0.57	1043.56	0.1	1043.46	-0.42
RN_173	1102.27	1089.77	-12.42	1102.19	-0.08	1102.25	0.02	1102.23	-0.03
RN_174	1105.88	1093.12	-12.41	1105.53	-0.35	1105.61	0.02	1105.59	-0.29
RN_188	1156.96	1144.17	-12.33	1156.50	-0.46	1156.82	-0.06	1156.88	-0.08
RN_148	1053.32	1040.36	-12.43	1052.79	-0.54	1053.05	0.08	1052.97	-0.35
RN_60	1076.31	1062.87	-12.71	1075.58	-0.73	1075.89	0.29	1075.60	-0.71
RN_96	1004.56	991.26	-12.62	1003.88	-0.69	1004.16	0.37	1003.79	-0.77
RN_146	1033.67	1020.12	-12.83	1032.95	-0.72	1033.21	0.46	1032.75	-0.92
RN_03	1124.26	1111.2	-12.47	1123.67	-0.59	1124.09	0.11	1123.98	-0.27
RN_151	1179.57	1166.31	-12.43	1178.74	-0.83	1178.83	0.04	1178.79	-0.79

Neste caso, a referência de nível RN 174 foi corrigida diretamente com base na estação PTFE, reduzindo significativamente o erro encontrado. Isso leva a crer que há uma grande propagação de erro quando é utilizado o resultado de um processamento intermediário para servir de base para outro processamento.

A qualidade da interpolação está associada, também, à variação do comportamento do relevo próximo à estação em questão. Isso quer dizer que, em regiões predominantemente planas tendem a apresentar melhores resultados, enquanto regiões muito acidentadas tendem a apresentar discrepâncias significativas.

4.5. DETERMINAÇÃO DE ALTITUDE PELO MÉTODO RELATIVO

Este método resume-se na aplicação da expressão 2.1, obtendo a altitude de um determinado ponto conhecendo a altitude de um outro ponto, as ondulações geoidais e as altitudes elipsoidais de ambos os pontos. Ele tem a vantagem de minimizar os erros provenientes da interpolação implícita nos modelos geoidais. Entretanto, existindo uma referência de nível problemática, vai-se propagar o erro para o ponto de altitude incógnita.

O resultado da combinação das 52 estações duas a duas geraria um total teórico de 2652 combinações (MACHADO,1991). Procurou-se avaliar o procedimento entre estações pertencentes ao mesmo projeto, a fim de minimizar as distâncias entre a RN de base e a estação incógnita.

Dois dos projetos ficariam sem ser processados por apresentarem apenas uma estação sobre RN. Para esses casos, procurou-se identificar a referência de nível rastreada mais próxima (mesmo de outro projeto) e aplicar a mesma metodologia.

Espera-se que o resíduo apresentado seja grande nas altitudes determinadas com base em RRNN com alta distorção no método absoluto, visto que todas as informações da estação base são empregadas no cálculo da altitude incógnita.

A TAB. 4.23 resume o comportamento das altitudes ortométricas obtidas aplicando-se a EQ. 2.1. As informações estão organizadas nas colunas da seguinte maneira:

1ª Coluna (RN): Identificação da Referência de Nível;

2ª Coluna (H Niv): Altitude Ortométrica, em metros, da RN indicada na primeira coluna;

3ª Coluna (Origem): Referência de nível adotada como partida para determinação da altitude daquela indicada na primeira coluna;

4ª Coluna (Distância): distância, em metros, entre as RRNN da primeira e da terceira colunas;

5ª Coluna (H rel WGS): valor encontrado para a altitude, em metros, da estação indicada na primeira coluna a partir da aplicação da expressão 2.1, com as coordenadas no sistema WGS-84 e ondulações geoidais obtidas pelo EGM96;

6ª Coluna (dif niv): valor, em metros, encontrado na 5ª coluna menos o valor esperado (2ª coluna);

7ª Coluna (H rel SAD): valor encontrado para a altitude da estação indicada na primeira coluna, em metros, a partir da aplicação da expressão 2.1, com as coordenadas no sistema SAD-69 e ondulações geoidais obtidas pelo GEM-T2;

8ª Coluna (dif niv): valor, em metros, encontrado na 7ª coluna menos o valor esperado (2ª coluna);

São observadas diferenças menores que pelo método absoluto, apresentando grande diferença naqueles processamentos onde o método absoluto apresentou grandes distorções.

TAB. 4.23 - Resultados da aplicação do método relativo entre estações pertencentes ao mesmo projeto.

RN	H Niv	Origem	Distância	H rel WGS	dif niv	H rel SAD	dif niv
2728-S	17.44	2728-V	549	17.37	-0.07	17.36	-0.08
2728-T	17.47	2728-S	126	17.16	-0.31	17.17	-0.30
2728-V	16.66	2728-T	473	17.04	0.38	17.04	0.38
R2728-V	16.66	R2728-S	549	16.65	-0.01	16.65	-0.01
1850-X	85.65	1851-E	6750	85.57	-0.08	85.75	0.10
467-Y	105.80	467-V	2053	105.72	-0.08	105.68	-0.12
1614-C	19.79	1614-J	10213	19.75	-0.04	19.84	0.05
1654-H	68.72	9328-D	2748	68.70	-0.03	68.66	-0.06
533-D	17.08	533-F	4894	17.08	0.00	17.05	-0.03
1853-M	62.48	525-R	6896	62.66	0.17	62.66	0.17
522-F	880.52	522-B	4797	880.46	-0.07	880.37	-0.15
1862-E	672.56	1862-H	7849	672.37	-0.19	672.29	-0.27
504-B	335.43	1862-U	10879	335.21	-0.22	335.15	-0.28
1674-H	475.58	569-M	1827	475.57	-0.01	475.58	0.00
459-F	186.29	459-I	1295	186.56	0.27	186.56	0.27
2629-C	602.71	2634-V	7729	602.61	-0.10	602.57	-0.14
1897-F	182.72	1897-P	6446	182.61	-0.11	182.70	-0.02
1691-H	29.03	1691-F	3151	29.00	-0.02	28.99	-0.04
1184-V	508.07	1184-N	9329	508.89	0.82	508.92	0.85
2298-G	647.02	2295-R	2205	647.21	0.20	647.22	0.20
2302-R	444.37	2298-G	134187	443.48	-0.89	442.85	-1.52
R1184-V	508.07	R1184-N	9329	508.17	0.10	507.12	-0.95
R2298-G	647.02	R2295-R	2205	647.23	0.21	647.24	0.22
R2302-R	444.37	R2298-G	134187	444.18	-0.19	443.55	-0.82
1010-U	12.41	1011-H	25519	12.68	-0.27	12.44	-0.03
1011-D	41.09	1010-U	15619	40.89	-0.19	41.03	-0.06
1011-H	3.66	1011-D	10283	3.58	-0.08	3.69	0.03
RN_144	1043.88	RN_41	12104	1043.94	0.05	1043.87	-0.01
RN_173	1102.27	RN_144	20122	1102.47	0.20	1102.36	0.09
RN_187	1174.21	RN_173	19470	1174.16	-0.05	1174.48	0.27
RN_174	1105.88	RN_187	19030	1107.62	1.74	1107.31	1.43
RN_188	1156.96	RN_174	18888	1155.19	-1.77	1155.51	-1.44
RN_148	1053.32	RN_188	8963	1053.26	-0.07	1053.06	-0.26
RN_60	1076.31	RN_148	29917	1076.14	-0.17	1075.97	-0.34
RN_96	1004.56	RN_60	16636	1004.60	0.04	1004.49	-0.07
RN_146	1033.67	RN_96	17145	1033.61	-0.06	1033.49	-0.18
RN_03	1124.26	RN_146	29533	1124.39	0.13	1124.82	0.56
RN_151	1179.57	RN_03	27769	1179.36	-0.21	1179.18	-0.39
RN_144	1043.88	RN_41	12104	1043.94	0.06	1043.87	-0.01
RN_173	1102.27	RN_144	20122	1102.76	0.50	1102.66	0.39
RN_174	1105.88	RN_173	442	1105.61	-0.27	1105.62	-0.26
RN_188	1156.96	RN_174	18888	1156.85	-0.11	1157.17	0.21
RN_148	1053.32	RN_188	8963	1053.24	-0.08	1053.05	-0.27
RN_60	1076.31	RN_148	29917	1076.12	-0.19	1075.95	-0.36
RN_96	1004.56	RN_60	16636	1004.60	0.04	1004.50	-0.06
RN_146	1033.67	RN_96	17145	1033.63	-0.03	1033.52	-0.15
RN_03	1124.26	RN_146	29533	1124.39	0.13	1124.91	0.65
RN_151	1179.57	RN_03	27769	1179.33	-0.25	1179.06	-0.51

5. CONCLUSÃO

Todas as estações fornecidas pelo IBGE que foram determinadas com base nas estações da RBMC em Fortaleza e em Bom Jesus da Lapa apresentaram melhores resultados. Nos casos em que as correções não foram feitas com base na RBMC, a diferença entre as altitudes obtidas com GPS decrescidas das ondulações geoidais e as obtidas por nivelamento geométrico chegou à ordem de 10 metros. Isso prova que um bom processamento é de fundamental importância para a aplicação dos métodos.

No método absoluto a maioria das aplicações ficou dentro da precisão nominal especificada pelos implementadores dos modelos, exceto em algumas estações do interior do Ceará (com o EGM96), onde foram encontrados erros superiores a 1 metro, limitados a 1,80 metro. Os erros encontrados com as coordenadas no sistema geodésico SAD-69 e com o modelo geopotencial GEM-T2 encontram-se dentro do limite nominal especificado, sendo, algumas vezes, menores que aqueles fornecidos com o sistema WGS-84 e com o modelo EGM96. Isso é possível em localidades onde, provavelmente, a informação de altitude foi usada na implementação do Mapgeo 2.0 e não na do Geoid Calculator.

No método relativo, questionou-se a precisão nominal dos *softwares* (de um centímetro por quilômetro de distância entre as estações) para os dois modelos. Isso foi realizado, separando os processamentos que não apresentaram discrepâncias na aplicação do método absoluto, inclusive as combinações em que havia problema de rastreio. A TAB. 6.1 mostra os resultados obtidos medindo a relação entre a diferença encontrada pelo método relativo e a distância entre as estações. Foram comparados os valores encontrados na TAB. 4.23 e as distâncias entre as estações usadas na determinação das altitudes ortométricas. Vale salientar que os valores foram aproximados para duas casas decimais, o que pode influenciar os valores da quinta e da oitava colunas.

Usando as ondulações geoidais fornecidas pelo Geoid Calculator no método relativo, chegou-se a 24 resultados, de um total de 39, dentro da precisão esperada. Quando se usou o Mapgeo, foram encontrados apenas 12 combinações dentro da

precisão. Os resultados usando o EGM96 foram mais próximos da realidade e as estações de Brasília apresentaram baixas discrepâncias e maior uniformidade nos resultados.

TAB. 5.1 - Relação da precisão do método relativo, em metros, com a distância entre as estações.

RN determinada	Dist	H rel WGS	dif niv	egm/dist	H rel SAD	Dif niv	gem/dist
R2728-V	549	16.65	-0.01	2.19	16.65	-0.01	2.19
1850-X	6750	85.57	-0.08	1.17	85.75	0.10	1.48
467-Y	2053	105.72	-0.08	3.81	105.68	-0.12	5.64
1614-C	10213	19.75	-0.04	0.35	19.84	0.05	0.51
1654-H	2748	68.70	-0.03	0.97	68.66	-0.06	2.25
533-D	4894	17.08	0.00	0.02	17.05	-0.03	0.65
1853-M	6896	62.66	0.17	2.49	62.66	0.17	2.52
522-F	4797	880.46	-0.07	1.38	880.37	-0.15	3.11
1862-E	7849	672.37	-0.19	2.48	672.29	-0.27	3.48
504-B	10879	335.21	-0.22	2.00	335.15	-0.28	2.60
1674-H	1827	475.57	-0.01	0.55	475.58	0.00	0.13
459-F	1295	186.56	0.27	20.95	186.56	0.27	20.89
2629-C	7729	602.61	-0.10	1.29	602.57	-0.14	1.83
1897-F	6446	182.61	-0.11	1.67	182.70	-0.02	0.34
1691-H	3151	29.00	-0.02	0.77	28.99	-0.04	1.36
R1184-V	9329	508.17	0.10	1.08	507.12	-0.95	10.19
R2298-G	2205	647.23	0.21	9.74	647.24	0.22	10.09
R2302-R	134187	444.18	-0.19	0.14	443.55	-0.82	0.61
1011-D	15619	40.89	-0.19	1.25	41.03	-0.06	0.40
1011-H	10283	3.58	-0.08	0.77	3.69	0.03	0.29
RN_144	12104	1043.94	0.05	0.45	1043.87	-0.01	0.11
RN_173	20122	1102.47	0.20	0.99	1102.36	0.09	0.47
RN_187	19470	1174.16	-0.05	0.26	1174.48	0.27	1.38
RN_148	8963	1053.26	-0.07	0.76	1053.06	-0.26	2.94
RN_60	29917	1076.14	-0.17	0.58	1075.97	-0.34	1.15
RN_96	16636	1004.60	0.04	0.23	1004.49	-0.07	0.41
RN_146	17145	1033.61	-0.06	0.36	1033.49	-0.18	1.04
RN_03	29533	1124.39	0.13	0.44	1124.82	0.56	1.89
RN_151	27769	1179.36	-0.21	0.76	1179.18	-0.39	1.40
RN_144	12104	1043.94	0.06	0.46	1043.87	-0.01	0.10
RN_173	20122	1102.76	0.50	2.46	1102.66	0.39	1.94
RN_174	442	1105.61	-0.27	61.54	1105.62	-0.26	58.37
RN_188	18888	1156.85	-0.11	0.59	1157.17	0.21	1.13
RN_148	8963	1053.24	-0.08	0.89	1053.05	-0.27	3.06
RN_60	29917	1076.12	-0.19	0.63	1075.95	-0.36	1.20
RN_96	16636	1004.60	0.04	0.25	1004.50	-0.06	0.38
RN_146	17145	1033.63	-0.03	0.20	1033.52	-0.15	0.88
RN_03	29533	1124.39	0.13	0.45	1124.91	0.65	2.20
RN_151	27769	1179.33	-0.25	0.88	1179.06	-0.51	1.85

Valores muito acima da precisão nominal dos modelos (RN 174, 459-F, etc.) merecem uma investigação mais aprofundada, o que não foi possível realizar neste projeto devido ao término do prazo para a entrega do mesmo. Outro item a ser investigado seria a causa da diferença entre os valores obtidos pelo método relativo usando os diferentes modelos (RN 03, 1011-D, entre outros).

Uma das maiores dificuldades encontradas foi a falta de informações para esclarecimento das questões que surgiram antes e durante o desenvolvimento do trabalho. Alguns dados puderam ser agilizados em tempo, mas outros não foram obtidos devido à falta de tempo (principalmente as Divisões de Levantamento do Sul e do Sudeste, devido às suas atividades cotidianas), e outras por motivo de força maior.

Outro grande problema foi a necessidade de descobrir a origem das discrepâncias encontradas nos primeiros cálculos. Após diversas visitas e consultas ao Departamento de Geodésia / Setor de Altimetria do IBGE, constatou-se que a fonte dos erros foi uma série de processamentos de dados GPS realizados inadequadamente.

Sugere-se que, em um futuro bem próximo, haja continuidade nessas pesquisas em regiões mais diversificadas do país, e seja testado o novo mapa geoidal produzido pelo IBGE/USP, a ser disponibilizado em breve.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Glória L. M., **Seqüências e Séries com Maple V**, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1998.

FREITAS, Sílvio R. C. e BLITZKOW, Denizar, **Altitudes e Geopotencial**, International Geoid Service Bulletin N. 9: Special Issue for South America, IGeS, Milão, 1999.

GEMAEL, Camil, **Introdução à Geodésia Física**, Editora Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

IBGE, **Arquivo de ajuda do software Mapgeo 2.0**, 1996.

LOBIANCO, M^a Cristina B., IBGE, Comunicação Verbal, 2001.

MACHADO, Antônio dos S., **Temas e Metas Vol. 3: Análise Combinatória**, Atual Editora, São Paulo, 1991.

MONICO, João F. G., **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição Fundamentos e Aplicações**, Editora da UNESP, Presidente Prudente, 1996.

PAVLIS, E. C., **The GEM-T2 Gravitational Model**, Journal of Geophysical Research, Vol. 95, nº B13, pág. 22,043 – 22,071, 1990.

PAVLIS, N. K. *et al*, **The Development of the Joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) Geopotential Model EGM96**, NASA, Greenbelt, 1998.

PEREIRA, Kátia D. e OLIVEIRA, Leonardo C. de [CD-ROM], **Altitude Ortométrica Obtida com GPS: um indicador da qualidade**, GIS BRASIL 2000, Salvador, 2000.

SOARES, Sérgio M., **Nivelamento de Precisão com Técnica GPS**, Anuário da DSG, Brasília, 1994.

7. ANEXO 1 – REDES ALTIMÉTRICAS ESTADUAIS

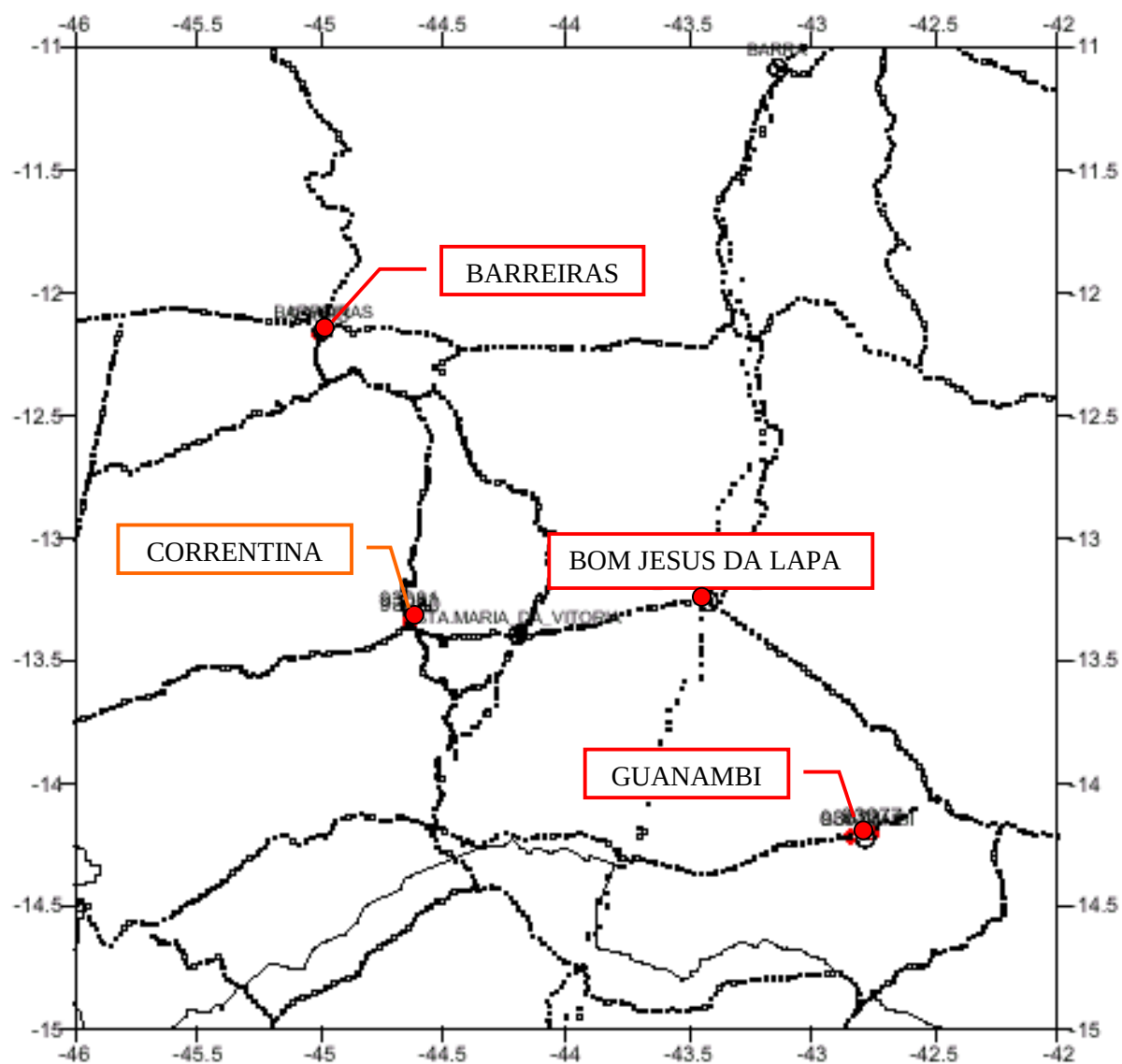


FIG. 7.1 - Extrato da rede altimétrica do estado da Bahia com as referências de nível usadas neste trabalho assinaladas em vermelho.

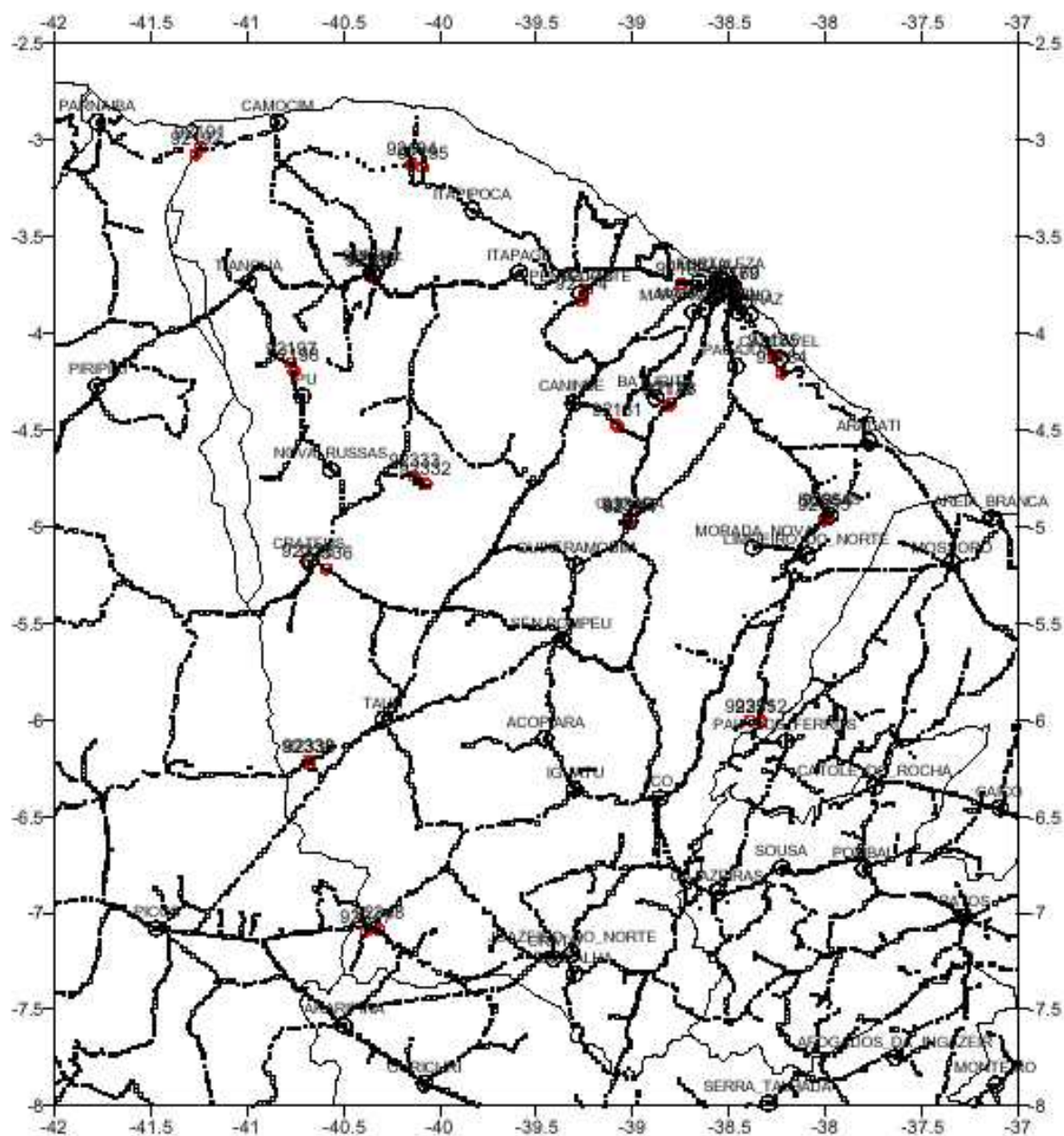


FIG. 7.2 - Extrato da rede altimétrica do estado do Ceará com as referências de nível usadas neste trabalho assinaladas.

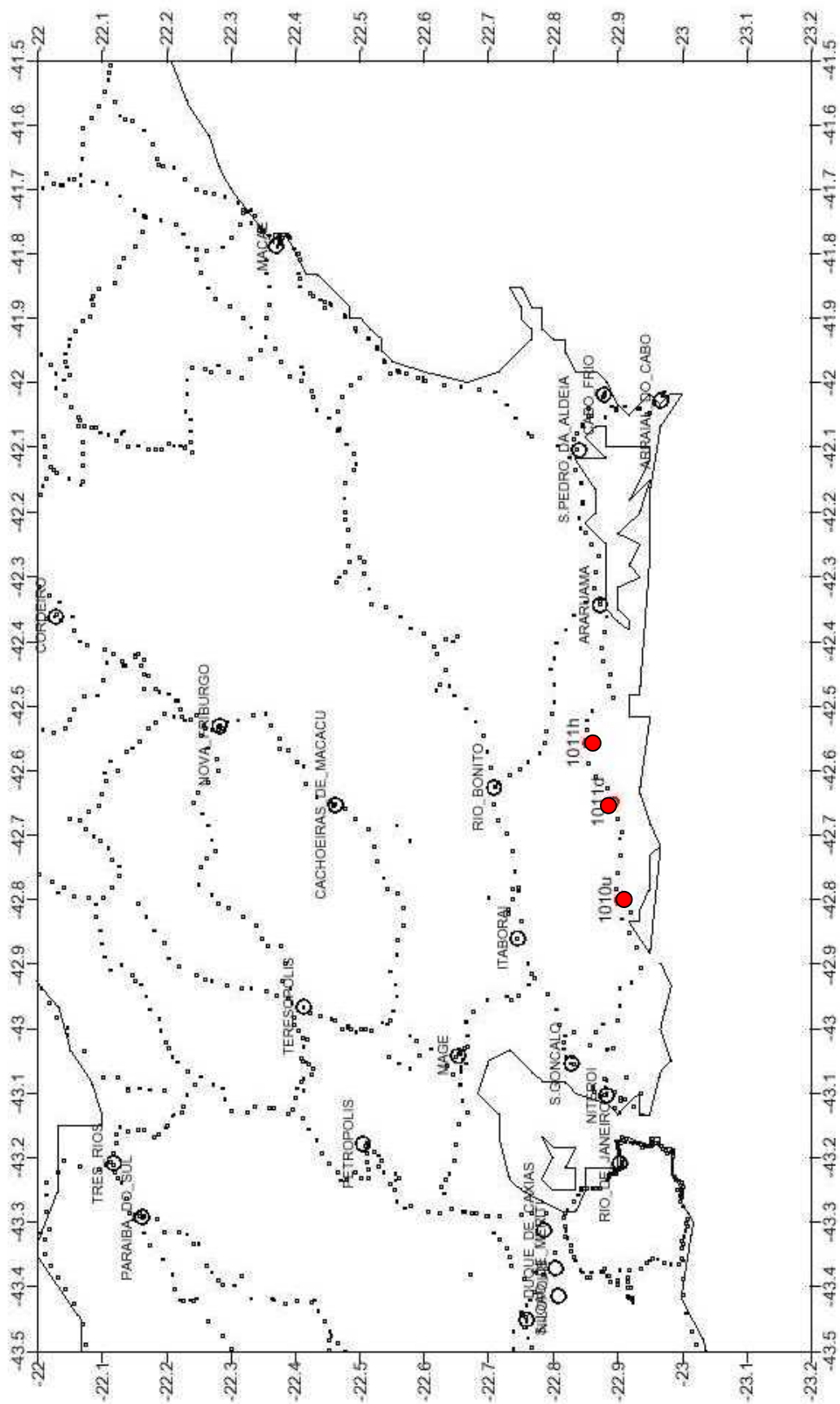


FIG. 7.3 - Extrato da Rede Altimétrica no estado do Rio de Janeiro, com as referências de nível usadas neste trabalho assinaladas em vermelho.

8. ANEXO 2 – COORDENADAS DOS PONTOS UTILIZADOS

A) FORNECIDOS PELO IBGE

Em SAD-69

Point Name	Latitude (Degrees)	Longitude (Degrees)	Ellip. Ht. (Meters)
92168	-3 46 09.876	-38 28 30.58424	26.7885
R92168	-3 46 08.50953	-38 28 29.32866	38.505
92169	-3 46 05.79831	-38 28 30.99948	26.5099
92170	-3 45 59.17028	-38 28 44.84065	26.0683
R92170	-3 45 57.80536	-38 28 43.58704	37.703
92174	-3 49 42.92978	-39 15 57.67661	70.1361
92176	-3 46 28.79749	-39 14 15.18054	92.8344
92178	-4 21 44.94448	-38 48 05.93662	164.1874
92179	-4 22 18.88951	-38 49 03.29865	125.721
92181	-4 28 42.3227	-39 04 40.07006	246.291
92184	-4 12 18.33308	-38 13 38.80162	23.5914
92185	-4 07 15.36405	-38 15 55.21406	29.4427
92187	-3 41 19.38706	-40 20 29.49718	81.7847
92188	-3 42 23.57438	-40 21 31.55115	82.8168
92191	-3 02 01.1271	-41 14 36.56084	22.8954
92192	-3 04 24.13304	-41 15 46.42997	28.3434
92194	-3 07 41.55779	-40 08 43.71189	33.0548
92195	-3 08 29.98753	-40 05 05.64157	78.5211
92197	-4 09 26.09527	-40 46 11.23661	954.3988
92198	-4 11 56.91308	-40 45 30.90696	894.0001
92332	-4 46 59.0632	-40 04 28.00943	706.5005
92333	-4 44 27.67735	-40 07 53.20552	688.0512
92335	-5 12 4.96646	-40 41 12.01486	313.6521
92336	-5 13 9.20722	-40 35 24.61517	348.6663
92338	-6 12 52.54024	-40 41 08.2326	489.2666
92339	-6 13 38.08242	-40 40 30.02675	489.5037
92344	-4 58 42.19481	-39 01 06.70047	205.3595
92345	-4 58 16.2742	-39 01 39.8566	205.8069
92347	-7 05 52.84978	-40 23 04.30576	612.094
92348	-7 05 02.80153	-40 18 57.4824	618.4696
92351	-6 00 35.39595	-38 23 20.54355	203.9221
92352	-6 00 46.24955	-38 19 51.23576	203.4345
92354	-4 56 52.11976	-37 59 31.11024	45.3708
92355	-4 58 13.8325	-38 00 32.92515	50.3767
93077	-14 12 12.76298	-42 45 27.61245	532.6798
93078	-14 12 56.92023	-42 50 35.46182	498.8114
93080	-13 20 29.05916	-44 38 14.13363	560.3491
93081	-13 19 17.43523	-44 38 10.07294	637.9378
93083	-12 9 53.93913	-45 00 31.02972	432.3501
R93077	-14 12 11.16221	-42 45 26.17485	547.7887
R93078	-14 12 55.31978	-42 50 34.02205	513.1985
R93080	-13 20 27.47647	-44 38 12.67186	574.7716
R93081	-13 19 15.85274	-44 38 08.61152	652.3797
R93083	-12 9 52.36818	-45 00 29.56918	447.4906

Em WGS-84

Point Name	Latitude (Degrees)	Longitude (Degrees)	Ellip. Ht. (Meters)
92168	3 46 11.24266 S	38 28 31.82173 W	-2.6325
R92168	3 46 09.87618 S	38 28 30.56613 W	9.084
92169	3 46 07.16494 S	38 28 32.23697 W	-2.9119
92170	3 46 00.53685 S	38 28 46.07825 W	-3.3523
R92170	3 45 59.17191 S	38 28 44.82463 W	8.282
92174	3 49 44.29699 S	39 15 58.93869 W	41.2895
92176	3 46 30.16319 S	39 14 16.44166 W	63.9290
92178	4 21 46.32774 S	38 48 07.18514 W	135.4215
92179	4 22 20.27303 S	38 49 04.54769 W	96.9727
92181	4 28 43.70880 S	39 04 41.32732 W	217.7968
92184	4 12 19.71276 S	38 13 40.03203 W	-5.6731
92185	4 07 16.74123 S	38 15 56.44552 W	0.1411
92187	3 41 20.74869 S	40 20 30.79201 W	53.5748
92188	3 42 24.93649 S	40 21 32.84653 W	54.6319
92191	3 02 02.46896 S	41 14 37.88208 W	-5.1547
92192	3 04 25.47600 S	41 15 47.75184 W	0.3357
92194	3 07 42.90369 S	40 08 45.00001 W	4.3019
92195	3 08 31.33389 S	40 05 06.92785 W	49.7359
92197	4 09 27.46926 S	40 46 12.54498 W	926.8319
92198	4 11 58.28828 S	40 45 32.21507 W	866.4562
92332	4 47 00.45602 S	40 04 29.29780 W	678.9135
92333	4 44 29.06889 S	40 07 54.49556 W	660.4722
92335	5 12 06.36980 S	40 41 13.32278 W	286.8044
92336	5 13 10.61124 S	40 35 25.92019 W	321.7645
92338	6 12 53.97129 S	40 41 09.54275 W	463.1880
92339	6 13 39.51384 S	40 40 31.33661 W	463.4274
92344	4 58 43.59525 S	39 01 07.95680 W	177.1988
92345	4 58 17.67442 S	39 01 41.11320 W	177.6470
92347	7 05 54.30548 S	40 23 05.60904 W	586.4897
92348	7 05 04.25704 S	40 18 58.78354 W	592.8069
92351	6 00 36.82685 S	38 23 21.78243 W	176.1243
92352	6 00 47.68066 S	38 19 52.47282 W	175.6006
92354	4 56 53.52129 S	37 59 32.33453 W	16.5051
92355	4 58 15.23465 S	38 00 34.15002 W	21.5393
93077	14 12 14.38436 S	42 45 29.01945 W	514.6224
93078	14 12 58.54139 S	42 50 36.87149 W	480.8258
93080	13 20 30.65029 S	44 38 15.59146 W	542.9200
93081	13 19 19.02591 S	44 38 11.53060 W	620.4909
93083	12 09 55.50187 S	45 00 32.49169 W	414.2043
R93077	14 12 12.78357 S	42 45 27.58183 W	529.7307
R93078	14 12 56.94093 S	42 50 35.43170 W	495.2122
R93080	13 20 29.06759 S	44 38 14.12967 W	557.3419
R93081	13 19 17.44340 S	44 38 10.06916 W	634.9322
R93083	12 09 53.93090 S	45 00 31.03113 W	429.3442

B) FORNECIDOS PELO CCAUEX

Base na RBMC - Coordenadas das RRNN em WGS-84

Estação	Latitude	Longitude	H Geométrica
RBMC-BRAZ	15°56'50.9207070"S	47°52'40.3065260"W	1105.950 (fixa)
RN_41	15°45'55.0237541"S	47°55'57.4737448"W	1122.059
RN_144	15°52'08.9415331"S	47°58'05.0428670"W	1031.687
RN_173	16°00'47.5327048"S	48°04'57.9445593"W	1090.298
RN_187	15°50'20.0696282"S	48°03'28.5165029"W	1162.276
RN_151	15°59'54.1366605"S	48°03'32.7198445"W	1167.172
RN_174	16°00'33.1634961"S	48°04'57.3737794"W	1095.613
RN_188	15°50'22.8762634"S	48°03'43.3653866"W	1145.002
RN_148	15°51'39.5343833"S	47°58'52.7310132"W	1041.200
RN_60	15°39'07.1548394"S	47°48'15.1840975"W	1063.733
RN_96	15°48'04.3594088"S	47°47'07.2021511"W	992.113
RN_146	15°41'07.1864184"S	47°40'44.9254171"W	1020.948
RN_03	15°46'35.0032254"S	47°56'17.3844855"W	1112.027

Coordenadas das RRNN em SAD-69

Estação	Latitude	Longitude	H Geométrica
RBMC - BRAZ	15°56'49.2963999"S	47°52'38.7375997"W	1118.653 (fixa)
RN_41	15°45'53.4034102"S	47°55'55.9046867"W	1134.877
RN_144	15°52'07.3193914"S	47°58'03.4719873"W	1044.387
RN_173	16°00'45.9086119"S	48°04'56.3693429"W	1102.783
RN_187	15°50'18.4487617"S	48°03'26.9433609"W	1174.931
RN_151	15°59'52.5127016"S	48°03'31.1454294"W	1179.688
RN_174	16°00'31.5394809"S	48°04'55.7986001"W	1108.101
RN_188	15°50'21.2554072"S	48°03'41.7921184"W	1157.654
RN_148	15°51'37.9124996"S	47°58'51.1598260"W	1053.897
RN_60	15°39'05.5357852"S	47°48'13.6195111"W	1076.751
RN_96	15°48'02.7372660"S	47°47'05.6369396"W	1005.015
RN_146	15°41'05.5658030"S	47°40'43.3640993"W	1034.034
RN_03	15°46'33.3827013"S	47°56'15.8151838"W	1124.831

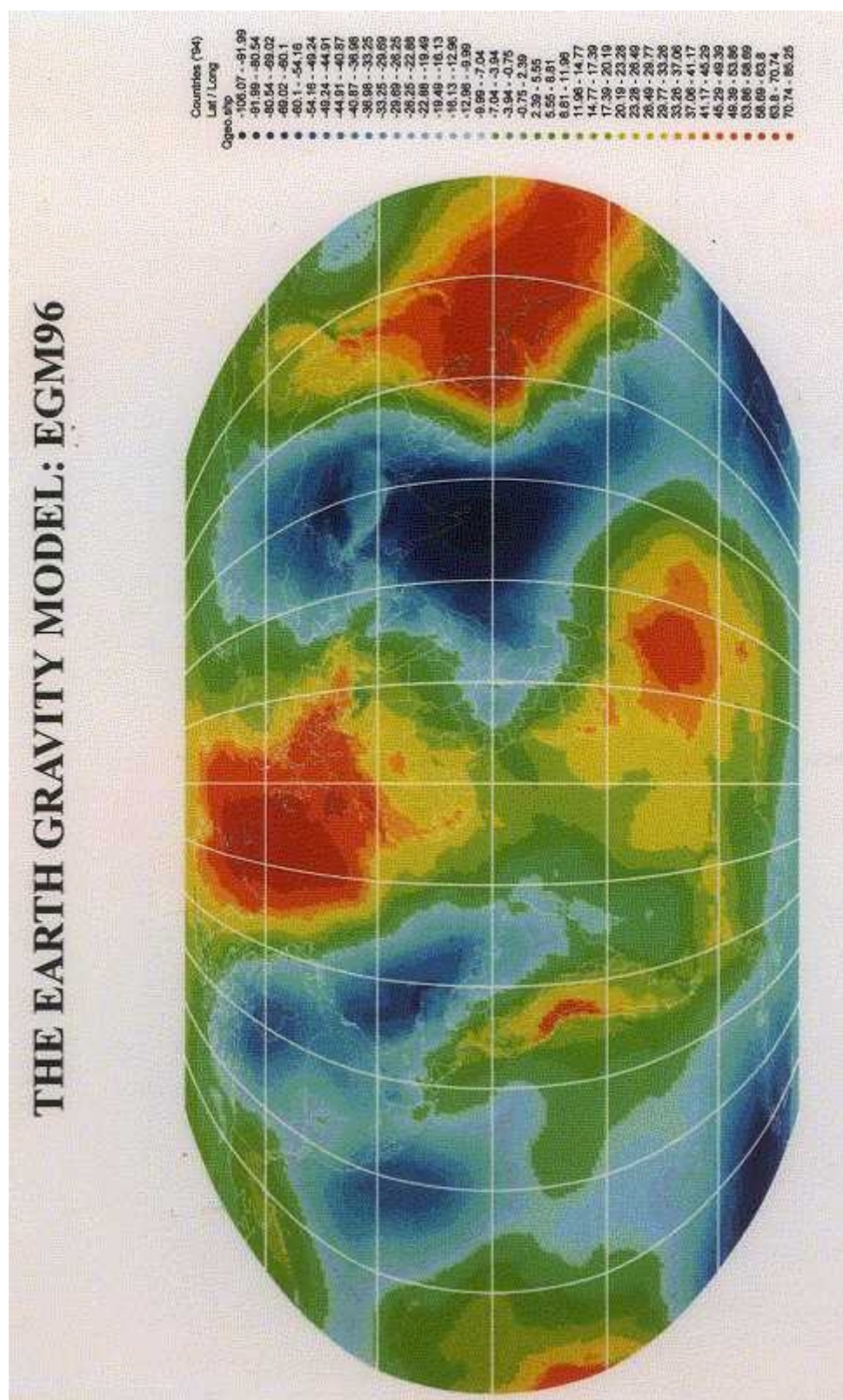
Segunda Base - Coordenadas das RRNN em WGS-84

Estação	Latitude	Longitude	H Geométrica
PTFE	15°42'16.4958120"S	47°49'14.0129760"W	1201.524 (FIXA)
RN_96	15°48'04.4102378"S	47°47'07.2677252"W	991.257
RN_115	15°39'27.8933871"S	47°41'38.3492702"W	939.554
RN_146	15°41'07.2395606"S	47°40'44.9874050"W	1020.119
RN_60	15°39'07.2070457"S	47°48'15.2485588"W	1062.874
RN_41	15°45'55.0739557"S	47°55'57.5393723"W	1121.234
RN_03	15°46'35.0535534"S	47°56'17.4501976"W	1111.200
RN_151	15°59'54.1872717"S	48°03'32.7856168"W	1166.312
RN_173	16°00'47.5851786"S	48°04'58.0099605"W	1089.770
RN_174	16°00'33.2182478"S	48°04'57.3157659"W	1093.123
MSDT	15°42'20.9276490"S	47°49'10.7233500"W	1200.785 (FIXA)
RN_188	15°50'22.9262830"S	48°03'43.4321391"W	1144.168
RN_148	15°51'39.5882632"S	47°58'52.7978063"W	1040.355
RN_144	15°52'08.9942842"S	47°58'05.1077840"W	1030.863

Coordenadas das RRNN em SAD-69

Estação	Latitude	Longitude	H Geométrica
PTFE	15°42'14.8758745"S	47°49'12.4475616"W	1214.483
RN_60	15°39'05.5879910"S	47°48'13.6839715"W	1075.891
RN_146	15°41'05.6189448"S	47°40'43.4260864"W	1033.206
RN_96	15°48'02.7880947"S	47°47'05.7025128"W	1004.160
RN_115	15°39'26.2734013"S	47°41'36.7877226"W	952.652
RN_41	15°45'53.4536114"S	47°55'55.9703134"W	1134.052
RN_03	15°46'33.4330289"S	47°56'15.8808950"W	1124.094
RN_151	15°59'52.5633125"S	48°03'31.2112008"W	1178.828
RN_173	16°00'45.9610855"S	48°04'56.4347433"W	1102.254
RN_174	16°00'31.5942315"S	48°04'55.7405863"W	1105.611
MSDT	15°42'19.3076806"S	47°49'09.1579518"W	1213.744
RN_188	15°50'21.3054265"S	48°03'41.8588700"W	1156.820
RN_148	15°51'37.9663792"S	47°58'51.2266183"W	1053.052
RN_144	15°52'07.3721422"S	47°58'03.5369034"W	1043.563

9. ANEXO 3 – VISUALIZAÇÃO DO MODELO GEOPOTENCIAL EGM96³



10. ANEXO 4 – RELATÓRIOS DE LEVANTAMENTO ENVIADOS PELO CCAUEX

Dados da estação utilizada como Base

1. Identificação do local da estação GPS

Nome da Estação	-	Brasília
Ident. da Estação	-	BRAZ
Inscrição no Monumento	-	Não há inscrição
Código Internacional	-	91200
Informações Adicionais	-	Esta estação pertence à Rede de Referência do SIRGAS e à Rede IGS

2. Informação sobre a localização

Cidade	-	Brasília
Estado	-	Distrito Federal
Informações Adicionais	-	A estação consiste em um pilar de concreto dotado de um dispositivo de centragem forçada, localizado no IBGE/Reserva Ecológica do Roncador.

Coordenadas oficiais (SAD-69)

Latitude:	-15° 56' 49.2964"	Sigma:	0.013 m
Longitude:	-47° 52' 38.7376"	Sigma:	0.047 m
Alt.Elíp.:	1118.6531m	Sigma:	0.302 m
UTM (N):	8234791.575 m		
UTM (E):	191946.760 m		
MC:	- 45		

Coordenadas (WGS-84) – Coordenadas utilizadas como fixas (do ponto conhecido) no processamento dos dados

Latitude:	-15° 56' 50.9207"
Longitude:	-47° 52' 40.3065"
Alt.Elíp.:	1105.950m

3. Informações sobre o equipamento GPS

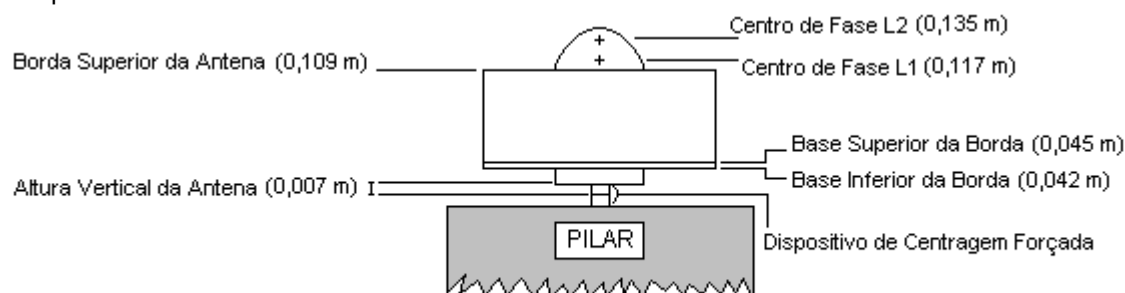
3.1 Receptor

3.1.1	Tipo do Receptor	-	Trimble 4000SSI
	Número de Série	-	16594
	Versão do Firmware	-	7.22
	Data de Instalação	-	28-ABR-1998
3.1.2	Tipo do Receptor	-	ROGUE SNR-8000
	Número de Série	-	253
	Versão do Firmware	-	3.2 link
	Data de Instalação	-	26-maio-1995
	Data da Remoção	-	28-ABR-1998

3.2 Antena

3.2.1 Tipo de Antena	- DORNE MARGOLIN T
Número de Série	- 71001
Altura Vertical da Antena(m)	- 0.008 (distância do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena, conforme figura abaixo)
Data de instalação	- 28-ABR-1998

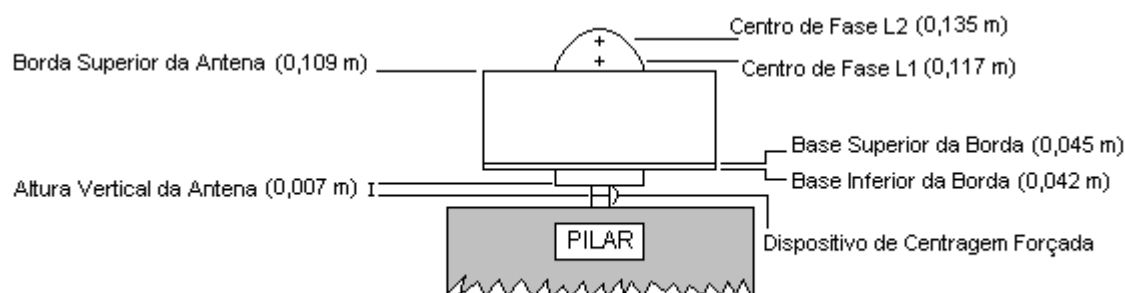
Esquema da Antena 3.2.1



Nota - para processar em softwares que não considerem a correção automática do centro de fase, utilizar os valores referentes a L1 ou L2 da figura acima ou a média deles, dependendo da observação utilizada. Por exemplo, para processamentos de L1, a altura da antena a ser utilizada é de 0.118m; para processamentos de L2, esta altura é de 0.136m; para L1/L2 (ion free), usar 0.089 m, que corresponde a combinação linear de L1 e L2

3.2.2 Tipo de Antena	- DORNE MARGOLIN T
Número de Série	- 407
Altura Vertical da Antena(m)	- 0.007 (distância do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena, conforme figura abaixo)
Data de instalação	- 26-maio-1995

Esquema da Antena 3.2.2



Nota - para processar em softwares que não considerem a correção automática do centro de fase, utilizar os valores referentes a L1 ou L2 da figura acima ou a média deles, dependendo da observação utilizada. Por exemplo, para processamentos de L1, a altura da antena a ser utilizada é de 0.117m; para processamentos de L2, esta altura é de 0.135m; para L1/L2 (ion free), usar 0.126m, que corresponde ao valor médio.

Dados do Rastreo

- O rastreo foi executado nos dias 14, 16, 20, 21, 22, 23 de Agosto de 2001, da seguinte forma:

Dia do rastreo	Estação rastreada	Altura da antena(inclinada)	Início do rastreo (hora Local)	Término do rastreo (hora Local)
14/08/2001	RN_60	1.753 m	13:48	15:10
16/08/2001	RN_146	1.858 m	14:38	15:38
20/08/2001	RN_96	1.792 m	09:36	10:30
21/08/2001	RN_03	1.580 m	10:00	11:00
21/08/2001	RN_41	1.461 m	09:46	10:46
22/08/2001	RN_144	1.772 m	13:30	14:45
22/08/2001	RN_187	1.920 m	09:46	10:46
22/08/2001	RN_148	1.702 m	13:30	14:35
22/08/2001	RN_188	1.708 m	09:58	10:58
23/08/2001	RN_173	1.858 m	12:24	13:24
23/08/2001	RN_174	1.695m	12:47	13:47
23/08/2001	RN_151	1.823 m	10:09	11:09

- A taxa de coleta de dados foi = 15 segundos
- O ângulo de elevação da máscara = 15 graus

Esquema do Processamento

<i>Estação Base</i>	<i>Estação Incógnita</i>	<i>Tempo comum (na linha de base)</i>	<i>Linha de base(m)</i>	<i>RMS (m)</i>
RBMC-BRAZ	RN_03	57min e 45 seg	20.006,962	0.012
RN_03	RN_41	43min e 40 seg	1.364,605	0.008
RBMC-BRAZ	RN_144	1 h 14min e 45 seg	12.980,448	0.024
RN_144	RN_148	1 h 03min e 30 seg	1.682,582	0.030
RBMC-BRAZ	RN_146	58min	35.988,128	0.025
RBMC-BRAZ	RN_151	50min	20.204,611	0.021
RBMC-BRAZ	RN_173	52min e 30 seg	23.111,831	0.013
RN_173	RN_174	32min	442,144	0.005
RBMC-BRAZ	RN_188	1 hora	23.054,491	0.031
RN_188	RN_187	47min e 45 seg	450.591	0.028
RBMC-BRAZ	RN_60	58min	33.642,270	0.036
RBMC-BRAZ	RN_96	57min e 45 seg	18.981,835	0.017

Dados das Estações utilizadas como Base

Ponto PTFE

1. Identificação do local da estação GPS

Nome da Estação	-	PTFE
Ident. da Estação	-	PTFE
Inscrição no Monumento	-	Não há inscrição
Informações Adicionais	-	Esta estação foi obtida através da rede de triangulação do IBGE

2. Informação sobre a localização

Cidade	-	Brasília
Estado	-	Distrito Federal
Informações Adicionais	-	A estação consiste em um pilar de concreto dotado em forma de um prisma reto

Coordenadas (SAD-69)

Latitude: -15° 42' 14.8758"
Longitude: -47° 49' 12.4475"
Alt.Elíp.: 1214.483m

Coordenadas (WGS-84) – Coordenadas utilizadas como fixas (do ponto conhecido) no processamento dos dados

Latitude: -15° 42' 16.4958"
Longitude: -47° 49' 14.0129"
Alt.Elíp.: 1201.524 m

Ponto MSDT

1. Identificação do local da estação GPS

Nome da Estação	-	MSDT
Ident. da Estação	-	MSDT
Inscrição no Monumento	-	Não há inscrição
Informações Adicionais	-	Esta estação foi obtida através da rede de triangulação do IBGE

2. Informação sobre a localização

Cidade	-	Brasília
Estado	-	Distrito Federal
Informações Adicionais	-	A estação consiste em um pilar de concreto dotado em forma de um prisma reto

Coordenadas (SAD-69)

Latitude: -15° 42' 19.3076"
Longitude: -47° 49' 09.1579"

Alt.Elíp.: 1213.744m

Coordenadas (WGS-84) – Coordenadas utilizadas como fixas (do ponto conhecido) no processamento dos dados

Latitude: -15° 42' 20.9276"
Longitude: -47° 49' 10.7233"
Alt.Elíp.: 1200.785 m

Informações sobre o equipamento GPS

3.2 Receptor

3.1.1 Tipo do Receptor - Trimble 4800
Número de Série - 0220119877

3.1.2 Tipo do Receptor - Trimble 4800
Número de Série - 0220112378

Dados do Rastreio

- O novo rastreio foi executado nos dias 19, 20, 21, 24, de Setembro de 2001, da seguinte forma:

Dia do rastreio	Estação rastreada	Altura da antena(inclinada)	Início do rastreio (hora Local)	Término do rastreio (hora Local)
19/09/2001	RN 96	2.078 m	14:00	14:40
20/09/2001	RN 115	1.842 m	10:26	11:26
20/09/2001	RN 146	1.855 m	11:40	12:30
20/09/2001	RN 60	1.948 m	13:49	14:50
21/09/2001	RN 41	1.636 m	09:43	10:25
21/09/2001	RN 03	1.532 m	10:38	11:18
24/09/2001	RN 151	1.764 m	10:07	11:07
24/09/2001	RN 173	1.881 m	11:19	12:19
24/09/2001	RN 174	1.930 m	12:47	13:47
25/09/2001	RN 188	1.820 m	10:52	11:52
25/09/2001	RN 148	1.900 m	12:49	13:49
25/09/2001	RN 144	1.730 m	14:00	15:00

- A taxa de coleta de dados foi = 15 segundos
- O ângulo de elevação da máscara = 15 graus

Esquema do Processamento

<i>Estação Base</i>	<i>Estação Incógnita</i>	<i>Tempo comum (na linha de base)</i>	<i>Linha de base(m)</i>	<i>RMS (m)</i>
PTFE	RN_96	40 min 45 seg	11344.086	0.014
PTFE	RN_115	1hora 01 min	14529.758	0.016
PTFE	RN_146	50 min	15309.478	0.013
PTFE	RN_60	1hora	6078.415	0.034
PTFE	RN_41	40 min 30 seg	13767.103	0.013
PTFE	RN_03	40 min 15 seg	14904.832	0.010
PTFE	RN_151	59 min 15 seg	41358.291	0.018
PTFE	RN_173	59 min 45 seg	44226.261	0.036
PTFE	RN_174	59 min 30 seg	43872.967	0.013
MSDT	RN_188	59 min 45 seg	29909.883	0.021
MSDT	RN_148	1 hora	24397.884	0.023
MSDT	RN_144	59 min 45 seg	24081.872	0.019