

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**IMPLANTAÇÃO DA REDE GEODÉSICA UNESP PARA INTEGRAÇÃO
AO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO**

VILMAR ANTONIO RODRIGUES

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP

Dezembro – 2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**IMPLANTAÇÃO DA REDE GEODÉSICA UNESP PARA INTEGRAÇÃO
AO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO**

VILMAR ANTONIO RODRIGUES

Engenheiro Agrimensor

Orientador: Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP

Dezembro – 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

R696i Rodrigues, Vilmar Antonio , 1960-
 Implantação da rede geodésica UNESP para integração ao
sistema geodésico brasileiro / Vilmar Antonio Rodrigues .
- Botucatu : [s.n.], 2006.
 x, 125 f. : gráfs, tabs.

 Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Facul-
dade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2006
 Orientador : Lincoln Gehring Cardoso
 Inclui bibliografia

1. Geodésia. 2. Redes(Geodésia). 3. Topografia. 4. Carto-
grafia. 5. Sistema de Posicionamento Global. I. Cardoso,
Lincoln Gehring. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio
de Mesquita Filho"(Campus de Botucatu). Faculdade de Ciên-
cias Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: "IMPLANTAÇÃO DA REDE GEODÉSICA UNESP PARA INTEGRAÇÃO
AO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO"**

ALUNO: VILMAR ANTONIO RODRIGUES

ORIENTADOR: PROF. DR. LINCOLN GEHRING CARDOSO

Aprovado pela Comissão Examinadora



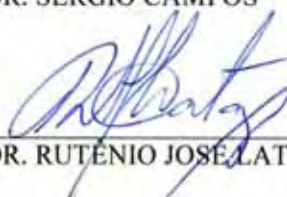
PROF. DR. LINCOLN GEHRING CARDOSO



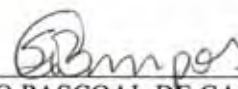
PROF. DR. ZACARIAS XAVIER DE BARROS



PROF. DR. SERGIO CAMPOS



PROF. DR. RUTÊNIO JOSÉ LATANZE



PROF. DR. SÉRGIO PASCOAL DE CAMPOS

Data da Realização: 07 de dezembro de 2006

A Deus, pela graça recebida de concluir este trabalho.

Aos meus pais, Valtair (*in memorian*) e Ida, razão de vida, carinho e sábios ensinamentos no decorrer de minha existência.

Aos meus irmãos

Valtair, Vander e Virlei, pela amizade sincera.

À minha esposa Letícia e a nossa filha Thaís, pelo amor, compreensão, dedicação que suportou durante esta etapa de nossas vidas,

dedico.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao meu orientador **Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso** pela incansável dedicação, orientação e sugestões na elaboração deste trabalho e prontidão em atender minhas solicitações durante meus estudos, pela amizade adquirida durante estes anos de convivência,

MINHA GRATIDÃO.

AGRADECIMENTOS

Ao **Prof. Dr. Herman Jacobus Cornelis Voorwald**, vice-reitor da UNESP pelo apoio e incentivo.

Ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP/Campus de Botucatu, por conceder-me a oportunidade de realizar o Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

Ao amigo **Wilson Aparecido Zadra** pela ajuda incansável nos trabalhos de campo.

Agradeço ainda, a todos que de alguma forma colaboraram para execução deste trabalho.

SUMARIO

LISTA DE FIGURA	VII
LISTA DE TABELA	X
1. RESUMO	1
2. SUMMARY	2
3. INTRODUÇÃO	3
4. REVISÃO DA LITERATURA	4
4.1. Geodésia	4
4.1.1. Geodésia Superior	4
4.1.2. Geodésia Elementar	5
4.1.3 Referenciais Geodésicos	5
4.1.4. O Sistema Geodésico Brasileiro	7
4.1.5. Elipsóide	11
4.1.5.1. Coordenadas Geodésicas ou Elipsoídicas	11
4.1.5.2. Universal Transverse de Mercator – UTM	14
4.1.5.3. SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrica para a América do Sul)	15
4.1.5.4. Rede GPS do Estado de São Paulo	16
4.1.5.5. RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo)	17
4.2. Sistema de Posicionamento Global – GPS	19
4.2.1. História e desenvolvimento do GPS	19
4.2.2. Princípio básico do GPS e GLONASS	20
4.2.3. Aplicações do GPS	21
4.2.4. Constelação de satélites	22
4.2.5. Sinai dos satélites	24
4.2.6. Segmentos do Sistema GPS	30
4.3. Fundamentos de GPS	31
4.3.1. Observáveis GPS	31
4.3.2. Pseudodistância	31
4.3.3. Fase de Batimento da Onda Portadora	32

4.4. Fontes de Erros do GPS e Procedimentos para sua Minimização	32
4.4.1. Erros relativos aos satélites	33
4.4.2. Erros relativos à propagação do sinal	36
4.4.3. Erros relativos ao receptor ou à antena	42
4.4.4. Erros relativos à estação	44
4.5. Modelos Matemáticos	46
4.5.1. Combinações Lineares entre Frequências	46
4.5.1.1. Observável Livre dos Efeitos da Ionosfera (<i>Iono Free</i>)	46
4.5.1.2. Observável de Banda Larga (<i>Wide Lane</i>)	47
4.5.2. Diferenciação das observáveis entre diferentes estações	47
4.5.2.1. Simples Diferença	47
4.5.2.2. Dupla Diferença	49
4.5.2.3. Tripla Diferença	50
4.5.3. Modelo Estocástico	51
4.6. Otimização, Ajustamento e Integração de Redes Geodésicas	54
4.6.1. Redes Geodésicas GPS	54
4.6.2. Otimização de Rede Geodésicas GPS	55
4.6.3. Ajustamento de Observações GPS	59
4.6.4. Validação do ajustamento e detecção de erros grosseiros	61
4.6.5. Confiabilidade	65
4.6.5.1. Confiabilidade Interna	66
4.6.5.2. Confiabilidade Externa	69
4.7. Integração de Redes Geodésicas	70
4.7.1. Injunções no ajustamento	70
4.8. Métodos de Levantamento com GPS	72
4.8.1. Método Estático	72
4.8.2. Método Cinemático	72
4.8.3. Método Cinemático "Stop-and-Go" (Semi-cinemático)	73
4.9. Principais Fontes de Erros no Campo	73
5. MATERIAL E MÉTODOS	79

5.1. Planejamento	79
5.2. Seleção dos locais para os marcos da Rede	79
5.3. Planejamento do rastreo	81
5.4. Monumentação dos marcos	82
5.5. Coleta de dados	82
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	85
6.1. Processamento dos dados	85
6.2. Análise da Acurácia	87
7. CONCLUSÃO	97
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXO A (Tabela de acurácia das linhas de base da Rede GPS UNESP, Modelo do pilar da Rede GPS UNESP)	105
APÊNDICE A (Monografia dos Vértices da Rede GPS UNESP)	116

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Superfície Geoidal.....	6
2 Conceito de Vertical, normal e alturas	7
3 Coordenadas Geográficas	12
4 Coordenadas Geodésicas ou Elipsoídicas	12
5 Sistema Terrestre Convencional	13
6 Zona UTM do Brasil.	14
7 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo RBMC (IBGE-2006).....	18
8 Configuração de satélites GPS e GLONASS (Rocha, 2002).....	20
9 Princípio Básico do GPS (Moraes et al., 1998)..	21
10 Distribuição dos satélites GPS nos planos orbitais (Mônico, 2000).....	23
11 Espectro eletromagnético.....	25
12 Modulação bifásica da onda portadora.....	27
13 Formato dos sinais de dados.....	29
14 Representação esquemática de um segmento do código PRN, gerado no satélite e no receptor.....	30
15 Esquema ilustrativo das simples diferença das observáveis GPS.....	48
16 Esquema ilustrativo da dupla diferença das observáveis GPS.....	49
17 Esquema ilustrativo das triplas diferenças das observáveis GPS.....	50
18 Probabilidades do erro tipo I (α) e do erro tipo II (β).....	67
19 Lateração Plana.....	73
20 Corpo Sólido Gerado Pelos Satélites e o Receptor	74
21 Receptor (P) Representado pela intersecção das frentes de onda geradas pelos satélites GPS	75
22 Representação do VDOP com grande deformação vertical	75
23 Representação do HDOP com deformação horizontal	76
24 PDOP caso ideal	76

25 Situação desfavorável quanto à geometria dos satélites	77
26 Situação favorável quanto à geometria dos satélites	78
27 Rede Geodésica do Estado de São Paulo USP, ITESP e UNESP.....	80
28 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP ASSI (Assis) com a rede RBMC.....	88
29 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP DRAC (Dracena) com a rede RBMC.	89
30 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP GUAR (Guaratinguetá) com a rede RBMC	90
31 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP JABO (Jaboticabal) com a rede RBMC.	91
32 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP MARI (Marília) com a rede RBMC.	92
33 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP PPRI (Rosana) com a rede RBMC.	93
34 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP RUJU (Botucatu) com a rede RBMC.	94
35 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP SAPA (São Paulo) com a rede RBMC.	95
36 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP SJCA (São José dos Campos) com a rede RBMC.	96

LISTA DE TABELA

Tabela	Página
1 Componentes dos sinais dos satélites GPS/GLONASS.....	26
2 Principais características e diferenças entre os códigos GPS.....	29
3 Fontes e efeitos dos erros envolvidos no GPS.....	33
4 Testes estatísticos da hipótese nula contra a hipótese verdadeira.....	66
5. Potência do teste para diferentes de α , q e λ	69
6 Especificações técnicas para a coleta de dados.....	83
7 Estações da Rede GPS UNESP.....	84
8 Linha de base dos pilar com a rede RBMC.....	86
9 Coordenadas finais ajusta da Rede GPS UNESP – Datum WGS 84.....	87
10 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP ASSI (Assis).....	106
11 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP DRAC (Dracena).....	107
12 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP GUAR (Guaratingueta).....	108
13 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP JABOT (Jaboticabal).....	109
14 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP MARI (Marília).....	110
15 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP ROSA (Rosana).....	111
16 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP RUJU (Botucatu).....	112
17 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP SAPA (São Paulo).....	113
18 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP SJCA (São Jose dos Campos).....	114

1 RESUMO

A necessidade de georreferenciar os projetos científicos, os trabalhos topográficos e ter, em todos os campus da UNESP, vértices confiáveis para levantamentos com GPS, motivaram a realização da Rede GPS UNESP com 09 vértices, integrando-a com a rede GPS USP e ITESP espalhados por todo o Estado de São Paulo, visando assim atender às necessidades da UNESP, bem como colaborando com o adensamento da Rede GPS do Estado de São Paulo.

O objetivo deste trabalho foi buscar uma solução que contemplasse todo o rigor científico e técnico para o ajustamento de redes GPS, além de atender as normas estabelecidas pelo órgão gestor da Geodésia Brasileira, o IBGE.

No planejamento do rastreio, alguns aspectos de otimização de redes GPS foram considerados: no levantamento de campo utilizou-se para rastrear os vértices o equipamento Receptor GPS Topcon Hiper GGD e a rede RBMC; e no processamento dos dados, o *software* Topcon Tools versão 6.04 realizou a solução da ambigüidade, bem como o tratamento das injunções durante o ajustamento da rede.

Os resultados obtidos conduziram a implantação de uma rede consistente e de acurácia melhor ou igual a 1 ppm pela rede RBMC, atendendo assim às especificações do IBGE.

IMPLANT OF UNESP GEODESIC NET FOR INTEGRATE IN THE BRASILIAN GEODESIC SYSTEM

Botucatu, 2006. 125f. (Doutorado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: VILMAR ANTONIO RODRIGUES

Adviser: LINCOLN GEHRING CARDOSO

SUMMARY

The necessity of geo referring the scientific project, the topographic works and have in all the campus at UNESP, reliable height to lifting with GPS motivated the realization from NET GPS UNESP, with 09 height, integrand with the net GPS USP and Itesp spread all off the State of São Paulo, aim at to attend the necessity from UNESP, as well as collaborating with the densification from NET GPS from State of São Paulo.

The objective of this work was to search one solution that contemplate the whole scientific and technicist strength for de adjustment from NETS GPS, besides to attend determine norm by manager organ from Brazilian Geodesic, the IBGE.

In the planning of to harrow, some aspects of optimization from NET GPS was considerate: the lifting of field was used to harrow the height the equipment Receiver GPS Topcon Hiper GGD and the net RBMC, and at data processing the software Topcon Tools 6.04 version, besides was realized the ambiguity solution, as well as the treatment of injunctions during the net adjustment.

The results analyses showed the implantation of the consistent net and accuracy better or equal the 1ppm by net RBMC, attending in this specification of IBGE.

Keywords: global positioning system, geodesic net, geodesic

3 INTRODUÇÃO

A necessidade do homem em locomover-se, alimentar-se e conquistar território para fins comerciais e exploratórios, despertou o interesse no conhecimento da forma e dimensões da terra. O ser humano nesta evolução referenciou esse espaço, seja por acidente topográficos, ou pelas estrelas, levando a navegar e descobrir novas terras ou continentes.

Com o aprimoramento das técnicas de posicionamento e dos instrumentos de medidas, o homem pode descrever melhor o espaço em que vive, e assim representá-lo com mais exatidão. Nesta evolução a ciência desenvolveu a geodésia por satélite, proporcionando assim maior precisão, rapidez e economia nos trabalhos de mapeamento e engenharia.

No Estado de São Paulo, foram implantadas duas redes GPS, a primeira pela Universidade São Paulo (USP) com 24 vértices (FONSECA, 1996), e a segunda pela Fundação Instituto de Terras do Estado de São Paulo (ITESP) com 27 vértices (MARINI, 2002). Estes vértices, entretanto, não contemplam todos os campus da Universidade Estadual Paulista (UNESP). A implantação de uma Rede GPS UNESP e sua integração ao SGB apresenta elevada relevância no campo científico, tecnológico e legal, já que irá permitir a realização de trabalhos topográficos com georreferenciamento, além de atender as normas da Lei 10.267 (28/08/2001), a qual exige o georreferenciamento de imóveis imobiliários para fins de registro.

O objetivo deste trabalho foi criar uma rede geodésica na Universidade Estadual Paulista (UNESP), utilizando a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), e sua homologação ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Geodésia

A geodésia consiste no estudo da forma, das dimensões e campo gravitacional da Terra. A geodésia, em seus trabalhos, leva em consideração a forma da terra, enquanto a topografia tem sua atuação restrita a pequenos trechos da superfície terrestre, considerando-se este trecho como sendo plano - Plano Topográfico.

Costuma-se distinguir a topografia da geodésia em função da extensão do levantamento: até 25 ou 30 quilômetros de raio referem-se ao campo da topografia, e acima deste limite refere-se ao campo da geodésia, no qual se faz necessário considerar a curvatura da terra (CINTRA, 1993).

Tendo em vista que o fator curvatura da terra é considerado, a geodésia é dividida em geodésia superior e geodésia elementar.

4.1.1 Geodésia Superior

A geodésia superior estuda a forma e dimensões da terra, deslocamento dos continentes e monitoras falha geológica, utilizando-se de satélites, o que lhe permite a obtenção de medidas de alta precisão.

4.1.2 Geodésia Elementar

A geodésia elementar ou geodésia aplicada procura determinar com precisão a posição de pontos sobre a superfície terrestre, levando em consideração a sua forma, fornecendo para a topografia uma rede de pontos para apoiar seus levantamentos topográficos. Os vértices da rede geodésica podem ser de 1ª, 2ª e 3ª ordem (em função da precisão) e estão amarrados num ponto chamado de “Datum” (CINTRA, 1993).

Segundo Monico (2000) o Datum contém em si próprio a parte conceitual e a parte material do referencial geodésico, uma vez que quando se faz referência ao Datum de um levantamento, ou representação cartográfica, pretende-se informar a que rede de referência o trabalho está ligado, bem como os parâmetros definidores do sistema associado.

Os sistemas de referência podem ser divididos entre os sistemas fixos à Terra e aqueles fixos no espaço. Um referencial ideal seria aquele em que a origem estivesse em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, caracterizando-o como um referencial inercial, no conceito da mecânica de Newton. O problema é que todos os corpos estão sujeitos a movimentos, e cabe em cada referencial a modelagem dessas perturbações. Os efeitos do movimento de rotação da Terra, precessão e mutação, movimento das placas litosféricas, a atração gravitacional da Terra em relação ao Sol e à Lua, e as marés terrestres e oceânicas são exemplos das perturbações a serem consideradas no sistema de referência fixo a Terra (MONICO, 2000).

4.1.3 Referenciais Geodésicos

Há várias formas de descrever a posição de um ponto sobre a superfície terrestre, cada uma delas mais apropriada a um tipo aplicação ou decorrente de uma situação peculiar. Em Geodésia, tem-se o espaço unidimensional, quando o objetivo é descrever a altitude de um ponto; o espaço bidimensional, quando se descreve a posição planimétrica, que pode ser expressa por coordenadas geográficas (ϕ e λ) ou plano-retangulares (N e E), adequadas para a representação cartográfica; o espaço tridimensional, que se representado por coordenadas cartesianas (X, Y, Z) são mais apropriadas para propósito de cálculos; e com o

desenvolvimento da tecnologia espacial, pode-se afirmar que a Geodésia trabalha, hoje, no espaço tetra-dimensional (X, Y, Z e t), que considera a variação da posição de um ponto no tempo. Todas estas formas de descrever a posição de um ponto, bem como outras não citadas, dizem respeito a um sistema de coordenadas bem definido e realizado, um referencial geodésico (MARINI, 2002).

O referencial geodésico é dividido em duas partes, o Sistema de Referência e a Rede de Referência, que é definido segundo (KÖSTERS, 1992):

- Sistema de Referência significa, escolher a posição da origem e a direção dos eixos coordenados, além de teorias físicas, constantes, suposições e procedimentos de observação.
- Rede de Referência é a realização do Sistema de Referência através da sua materialização, resultando numa lista publicada de uma série de pontos bem definidos no terreno e suas respectivas coordenadas, velocidades e erros associados. Para correlacionar o sistema definido conceitualmente com o espaço físico, observações são coletadas. Observações são variáveis estocásticas, logo, a rede de referência tem característica estocástica.

Geóide ou superfície de referência é a forma da terra correspondente a superfície definida pelo nível médio dos mares prolongado através dos continentes, ou seja, a superfície equipotencial que coincide com o nível médio não perturbado dos mares Figura 1.

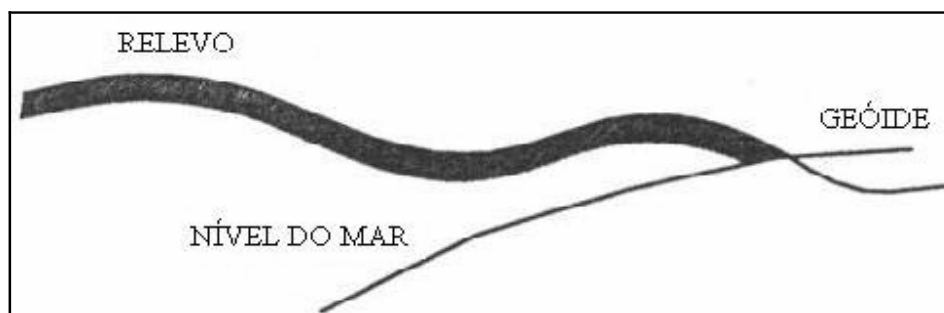


Figura 1 Superfície Geoidal.

Existem três superfícies que rotineiramente envolvem o geodesta ou quem necessite de posicionamento. A primeira delas é a “superfície física” (SF), limitante do relevo topográfico, e a segunda é chamada “superfície elipsoidal”, limitante de um elipsóide de revolução - figura matemática gerada pela rotação de uma elipse entorno do eixo menor; e

finalmente, a “superfície geoidal”, conceitualmente mais complicada e que limita um corpo com uma dada distribuição de massa chamado Geóide.

Considere-se um ponto P sobre o Geóide. A reta que passa por P , perpendicular ao mesmo, define a direção de uma linha de força chamada vertical (v). A reta que passa por P , perpendicular ao elipsóide, define a direção de uma linha de força chamada normal (n). O ângulo que a vertical forma com o normal é chamado “deflexão da vertical” ou “ângulo de desvio da vertical” (i). Normalmente considera-se as componentes ângulo segundo dois planos perpendiculares: a componente meridiana (ξ) (plano da direção norte-sul) e a componente 1° vertical (η) (plano de direção leste-oeste). A separação entre a superfície física e a superfície geoidal tomada ao longo da vertical é chamada “altura ortométrica”, H . A altura ortométrica, H , é obtida de modo relativamente simples através da operação de nivelamento associado à gravimétrica. A separação entre as superfícies geoidal e elipsoidal ao longo da normal é a “altura” ou “ondulação geoidal”, N Figura 2. Seu cálculo foi objeto tradicionalmente da geodésia física e hoje pode ser feito também a partir da observação de satélites artificiais (BLITZKOW; NETO; BUENO, 1996).

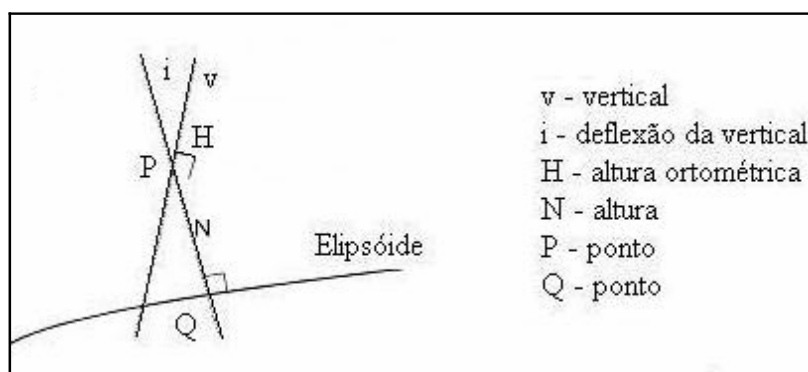


Figura 2 Conceito de vertical, normal e alturas.

4.1.4 O Sistema Geodésico Brasileiro

Segundo Marini (2002) entende-se por Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) o conjunto de pontos geodésicos materializados em território brasileiro e ao qual estão referenciadas as informações espaciais do país. A definição, implantação e manutenção do SGB é de responsabilidade do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

O referencial planimétrico adotado no Brasil atualmente é o SAD 69 (*South American Datum 1969*), e o referencial altimétrico é dado pelo nível médio dos mares apontado pelo marégrafo da baía de Imbituba (SC). Encontra-se em andamento a realização de um referencial geocêntrico, o SIRGAS.

Segundo Blitzkow, Neto e Bueno (1996) é o ponto de partida de uma rede geodésica. No Brasil o Datum está localizado em Chuá (próximo ao município de Uberaba) no Estado de Minas Gerais.

Escolhida a superfície de referência para as coordenadas geodésicas tem-se o que é denominado “Datum Geodésico Horizontal” (DGH). Para que um sistema geodésico fique caracterizado é necessário fixar e orientar o elipsóide no espaço. A fixação é realizada mediante a escolha de um ponto origem e a atribuição, de alguma forma, de coordenadas geodésicas, Φ_G , λ_G ao mesmo, bem como, de um valor para a altura geoidal N . A orientação é definida como azimuth de uma direção inicial. Esta caracterização de um DGH conduz ao conceito denominado sistema geodésico. O conjunto de marcos assim estabelecidos leva ao conceito de sistema geodésico materializado. O que se deseja é uma perfeita coerência entre o sistema definido e o materializado, entretanto, os erros inerentes aos processos de medição não permitem geralmente uma completa identificação entre os mesmos (MARINI, 2002).

Segundo Monico (2000) excetuando alguns sistemas locais usados no passado em caráter emergencial, o Brasil adotou durante muitos anos o Datum “Córrego Alegre”. Os elementos característicos deste DGH são:

$$\Phi_G = \Phi_A = 19^\circ 50'15,14''S$$

$$\lambda_G = \lambda_A = 48^\circ 57'42,75''W$$

$$A_G = 128^\circ 21'48,96''$$

$$N = 0$$

sendo, dotado como elipsóide o de Hayford cujos parâmetros são:

$$a = 6.378.388 \text{ m}$$

$$f = 1:297,00$$

e A_G o azimuth geodésico da direção Córrego Alegre-Chapada das Areias.

A partir de 1979 a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), através de seu Departamento de Geodésia decidiu por uma mudança. Adotou o sistema conhecido como SAD-69 (*South American Datum*, 1969), cuja origem é o vértice Chuá.

As características deste DGH são:

$$\Phi_G = 19^\circ 45'41,6527''\text{S}$$

$$\lambda_G = 48^\circ 06'04,0639''\text{W}$$

$$A_G = 271^\circ 30'04,05''\text{S}$$

$$N = O$$

sendo $\xi = 0,31''$ e $\eta = -3,52''$, tendo como elipsóide aquele do Sistema de Referência 1967 cujos parâmetros são:

$$\text{semi-eixo maior: } a = 6.378.160 \text{ metros}$$

$$\text{achatamento: } f = 1:298,25$$

e sendo A_G o azimute da direção Chuá-Uberaba.

Isto tem implicado na existência de cartas referidas ao antigo sistema e cartas referidas ao novo, exigindo a devida atenção do usuário.

Segundo Monico (2000) até hoje não foi possível adotar um único DGH que fosse mundialmente aceito, o que seria desejável. Isto implicaria evidentemente em mudar toda a cartografia de cada País, o que seria certamente oneroso. Entretanto, em alguns casos específicos, não há como fugir de num referencial comum. As informações e elementos transmitidos pelos satélites para o posicionamento não podem atender a cada País especificamente. Neste aspecto, vem se evoluindo para um referencial que constitua uma perfeita materialização do Sistema Terrestre Convencional. Nesta tentativa surgiram, entre outros o WGS-72 (*World Geodetic System 1972*), o NSWG (*Naval Surface Weapon Center*) com algumas variantes. É importante mencionar que o sistema terrestre com mais pormenores é o chamado WGS-84 (*World Geodetic System 1984*), adotado como referencial nos satélites GPS. Estes sistemas constituem mais do que um simples referencial, estabelecem valores para

uma série de constantes, tais como: velocidade angular da Terra, velocidade da luz, constante universal da gravitação, etc..

O WGS 84 foi o sistema de referência desenvolvido pelo DMA (Defense Mapping Agency), hoje NIMA (National Imagery and Mapping Agency), para atender às necessidades do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) no posicionamento por GPS. É o sistema de referência associado ao GPS. Todas as observações feitas pelo GPS, em qualquer nível de precisão, estarão referenciadas a este sistema.

Os principais parâmetros definidores do WGS 84 são:

- origem no centro de massa da Terra (referencial geocêntrico);
- eixos cartesianos idênticos aos do CTRS, para a época 1984,0;
- o elipsóide de referência é o WGS 84, cujos parâmetros são

(LEÍCK, 1990):

$$\text{Semi-eixo maior: } a = 6.378.137 \text{ m} \pm 2\text{m}$$

$$\text{Achatamento: } f = 1:298,257223563$$

$$\text{Velocidade da luz: } c = 299792458 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{Velocidade angular da terra: } J_2 = 0,108263 \times 10^{-2}$$

e o fato de que o referencial cartesiano vinculado ao mesmo “coincide” com o Terrestre Convencional.

Em função da diversidade e do aperfeiçoamento de referenciais há uma constante necessidade de transformações para se poder fazer comparações de coordenadas.

É importante salientar que a materialização de um sistema cartesiano geocêntrico tem se beneficiado nos últimos anos das observações interferométricas levadas a efeito nas estações VLBI (*Very Large Baseline Interferometry*), bem como das observações *laser* tanto aos satélites artificiais quanto á lua. Em função da alta precisão das referidas observações hoje se admite pequenas correções ao WGS-84 para compatibilizá-lo com um referencial geocêntrico devidamente orientado, o chamado ITRF90 (*International Terrestrial Reference Frame*, 1990). São eles:

$$TX = -0,060 \text{ m} \quad a_1 = -0,01830''$$

$$TY = 0,517 \text{ m} \quad a_2 = 0,0003''$$

$$TZ = 0,223 \text{ m} \quad a_3 = 0,0070''$$

$$K = 0,011 \text{ ppm}$$

Estas correções, compostas de três translações, três rotações e uma escala, aproximam o WGS-84 do sistema Terrestre Convencional (BLITZKOW, 1995).

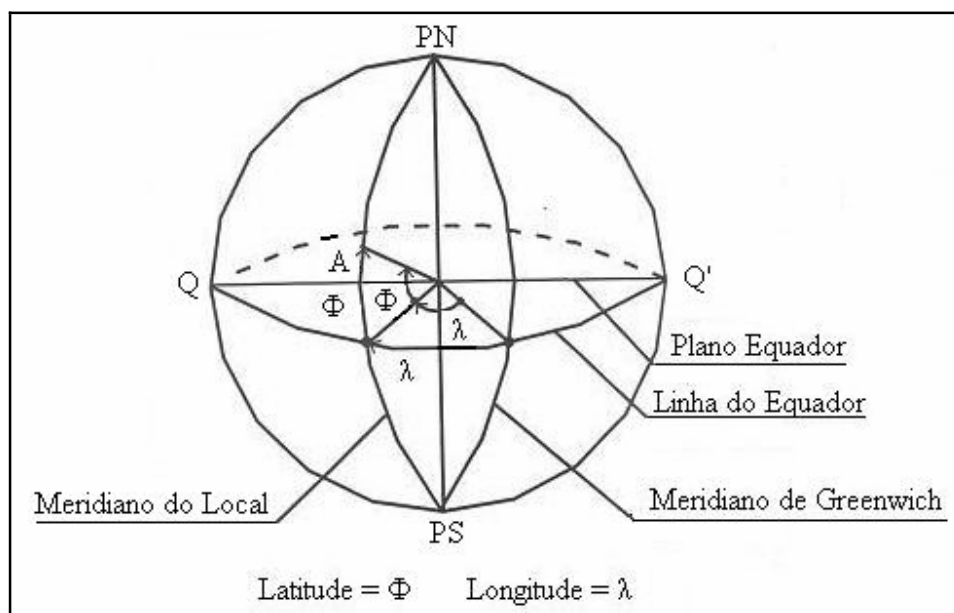
4.1.5 Elipsóide

É uma Figura matemática, gerada pela rotação de uma semi-elipse em torno de seu eixo menor, que imita a forma da terra. É o sólido imaginário que mais se aproxima do geóide. O elipsóide é conhecido da matemática, onde seus elementos são perfeitamente dedutíveis.

4.1.5.1 Coordenadas Geodésicas ou Elipsoídicas

Em se tratando de posicionamento é extraordinariamente importante o conceito de coordenada. Muito familiar são as coordenadas geográficas: latitude e longitude. Denomina-se latitude astronômica ϕ_A ao ângulo formado pela vertical e sua projeção sobre o plano do equador. A latitude é medida de 0° a 90° com origem no equador, positiva no hemisfério norte e negativo no hemisfério sul, por convenção. A longitude astronômica λ_A é o ângulo diedro formado pelo meridiano astronômico médio de Greenwich e pelo meridiano astronômico do ponto. É contada positiva por leste de 0° a 360° com origem em Greenwich

Figura 3.



Figuras 3 Coordenadas Geográficas.

Define-se latitude geodésica ou elipsóidica Φ_G como o ângulo que a normal forma com sua projeção sobre o plano do equador. O diedro formado pelos meridianos geodésicos de Greenwich e do ponto mede a longitude geodésica ou elipsóidica λ_G . Para definir sem ambigüidade a posição de um ponto P sobre a superfície da Terra necessita-se da distância entre o elipsóide e o ponto ao longo da normal, a altura geométrica (h) Figura 4.

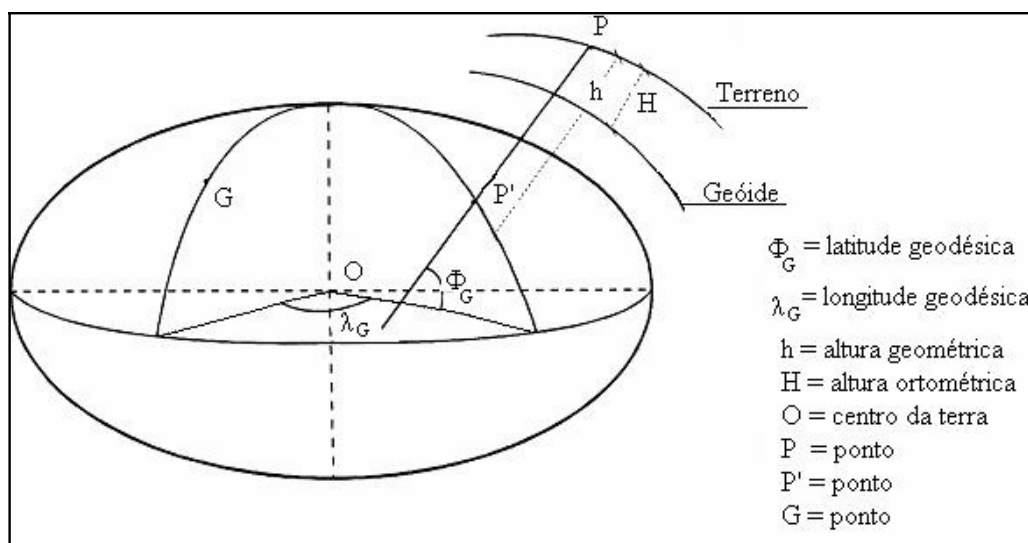


Figura 4 Coordenadas geodésicas ou elipsóidicas.

As coordenadas astronômicas são referidas á direção da vertical, enquanto as coordenadas geodésicas ou elipsóidicas são referidas á direção da normal. As relações entre elas são:

$$\phi_A - \phi_G = \xi$$

$$(\lambda_A - \lambda_G) \cos \phi_G = \eta$$

Um referencial importante, em se tratando de satélites artificiais, é o denominado “Sistema Terrestre Médio”. Trata-se de um referencial cartesiano convencional cuja origem coincide com o centro de massa da Terra (Geocentro). O eixo terciário é orientado positivamente para o Pólo Terrestre Convencional (CTP) que coincide com o CIO (*Convencional International Origin*). O eixo primário é estabelecido pelo meridiano médio de Greenwich, e o secundário completando em sistema dextrógiro. Tem sido denominado igualmente de Sistema Terrestre Convencional (CTS) Figura 5.

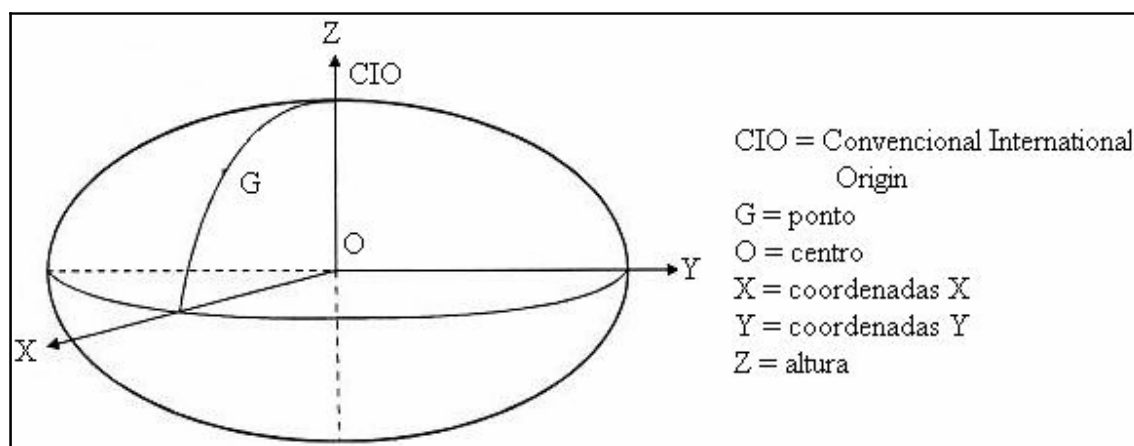


Figura 5 Sistema Terrestre Convencional.

O posicionamento e a cartografia se valem sempre de coordenadas geodésicas ou elipsóidicas referidas a um elipsóide de revolução. Este fica definido através de dois parâmetros, por exemplo, os dois semi-eixos maior “a” e menor “b”. Tem sido usado, escolher o semi-eixo maior e o achatamento, este representado por “f” e definido como:

$$f = \frac{a - b}{a}$$

4.1.5.2 Universal Transverse de Mercator – UTM

É um método prático para o cálculo das transformações de coordenadas planas em geográfica, geodésicas e vice-versa, para transporte de coordenadas planas sobre o elipsóide segundo os lados e ângulos elipsóidicos, para cálculo da convergência meridiana e dos azimutes e lados planos e elipsóidicos. Incorre-se em erros confundir a sistema UTM, que é método prático de cálculos geodésicos, com um sistema de projeções. É comum ouvir-se a expressão “Coordenada UTM”, expressão esta incorreta, pois que não existem coordenadas UTM, mas sim “coordenadas plano retangulares”, calculadas segundo um sistema que, por acaso, pode ser o UTM (RAMOS, 1999) Figura 6.

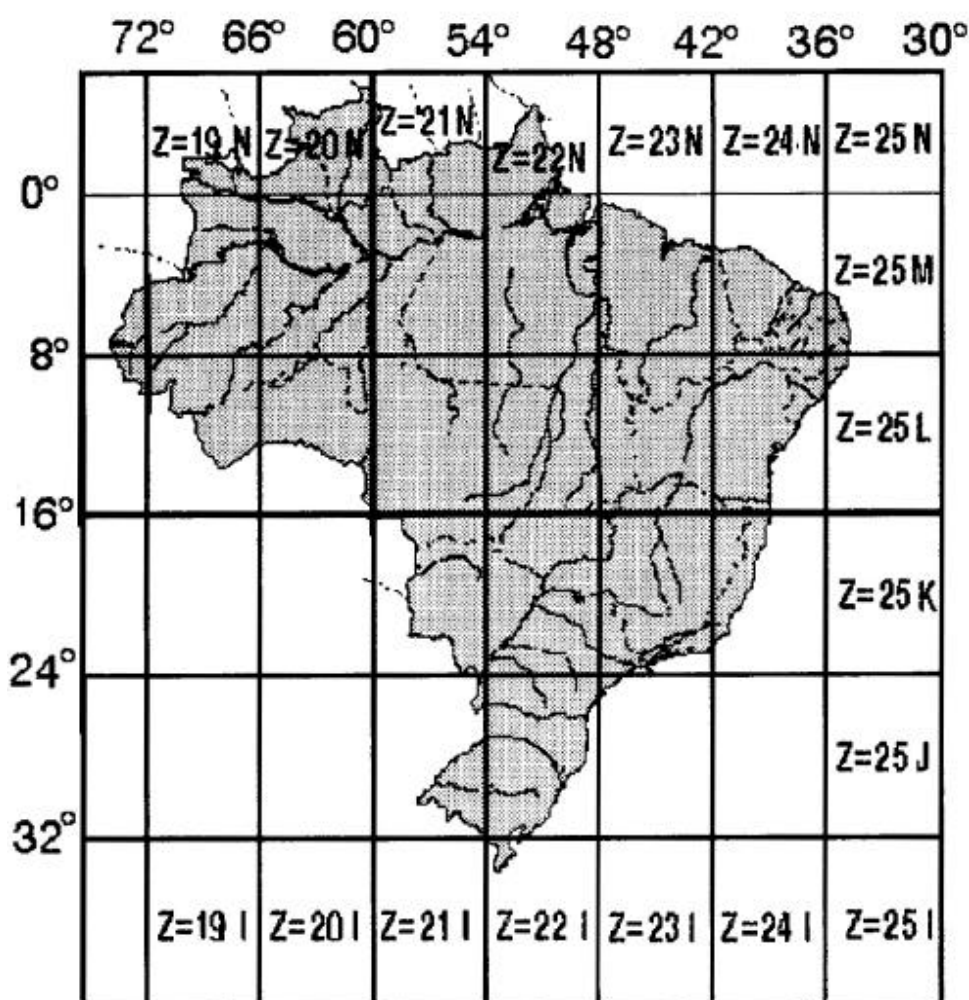


Figura 6 Zona UTM do Brasil (Fonte: RAMOS, 1999).

A projeção UTM está associada, também, ao Datum Horizontal, assim deve-se, toda vez que a especificação de um ponto for na projeção UTM, dizer ao qual Datum estas coordenadas se referem. Isto evitará problemas futuros, quando outras pessoas, de posse de memoriais descritivos de áreas ou propriedades rurais, se depararem com tais coordenadas. Se o sistema não for completamente especificado, poder-se-á cometer erros de transformação de coordenadas de maneira incorreta (BERALDO; SOARES,1995).

4.1.5.3 SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul)

Segundo Marini (2002), com o crescente uso do GPS em posicionamento, a tendência mundial é a adoção de sistemas de referência geocêntricos, compatíveis com o sistema do GPS e com o ITRF. A adoção de um referencial geocêntrico, além de ser de precisão compatível com a tecnologia atual, facilita a compatibilização dos sistemas de referência utilizados pelos diversos países. O IBGE tem realizado esforços nesse sentido, através de sua participação no projeto SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul).

O Projeto SIRGAS foi instituído durante a Conferência Internacional para a Definição de um Datum Geocêntrico para a América do Sul, ocorrida em outubro de 1993, em Assunção, Paraguai, promovida pelo IAG, IPGH (Instituto Pan-americano de Geografia e História) e DMA, com a participação de representantes dos países da América do Sul.

A definição conceitual do SIRGAS passou pela escolha entre ITRS e WGS 84. O ITRS tem realização mais precisa que o WGS 84, uma vez que o ITRF-97, por exemplo, tem mais de 500 estações espalhadas pelo mundo, e o WGS 84 utilizou apenas 32 estações no seu último refinamento (G873). Assim, enquanto uma solução ITRFyy permite avaliar a evolução temporal de uma estação (coordenadas e velocidades associadas), atendendo a aplicações científicas e práticas, o WGS 84 não oferece esta possibilidade, pois as velocidades das estações não estão disponíveis (IBGE, 2000). Para aplicações práticas, porém, pode-se dizer que o ITRF, WGS 84 e SIRGAS são referenciais compatíveis.

Duas campanhas já foram realizadas, mas o sistema ainda está em fase de realização. O IBGE vem desenvolvendo o ajustamento da rede geodésica neste novo sistema de referência. Na realização da primeira campanha obteve-se níveis de precisão da ordem de 4 mm, referenciadas ao ITRF-94.

Foi definido na reunião de Assunção, quando da instituição do Projeto SIRGAS, que a rede de referência SIRGAS deveria ser re-observada a cada 5 anos. A primeira realização do SIRGAS foi em 1995, e última em 2000. Esta última campanha foi orientada no sentido de atender também à componente altimétrica (IBGE, 2002a).

Na 7ª Conferência Cartográfica das Nações Unidas para as Américas, em reconhecimento à importância do projeto SIRGAS, recomenda-se a integração dos sistemas geodésicos de referência de todos os países da América ao SIRGAS, sugerindo a sigla passe a significar "Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas". Recomenda-se também observações de dados gravimétricos para cálculo do geóide como superfície de referência do sistema vertical, e ainda que sejam corrigidos os nivelamentos por observações gravimétricas para calcular os números do geopotencial e conectar as redes de nivelamentos aos países vizinhos, tornando essas informações disponíveis ao SIRGAS.

A migração do sistema topocêntrico para o sistema geocêntrico deve ser feita de forma gradual e estratégica, envolvendo tanto os produtores quanto os usuários de dados geodésicos e produtos cartográficos.

4.1.5.4 Rede GPS do Estado de São Paulo

Segundo Marini (2002), vários estados brasileiros têm estabelecido redes GPS na densificação do SGB. Pode-se citar sete redes estaduais estabelecidas até 2001, quais sejam: o estado do Paraná, Santa Catarina, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Mato Grosso e São Paulo.

A Rede GPS do Estado de São Paulo foi implantada pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com a colaboração do IBGE. São 23 vértices, materializados por pilares de concreto e providos de dispositivos de centragem forçada, além da estação UEPP, em Presidente Prudente, que faz parte da RBMC, e do vértice, Chuá, origem do SGB. A distribuição das estações foi feita de forma que a distância entre eles não ultrapasse 120 km.

Embora fosse possível integrar os vértices da Rede São Paulo a um sistema global, através da utilização de dados de estações fiduciais integrantes da rede IGS, quais sejam Fortaleza no Brasil, Santiago no Chile e Kourou na Guiana, a Rede São Paulo, oficialmente realizada, foi integrada ao SGB através da fixação do vértice Chuá.

4.1.5.5 RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo)

A rede RBMC, implantada pela USP (Universidade de São Paulo) e IBGE, é composta hoje de 24 estações distribuídas pelo território nacional, equipadas de receptores GPS de dupla frequência que rastreiam dados GPS 24 horas por dia. Um sistema de comunicação com a central do IBGE permite que os dados sejam compactados e enviados automaticamente todos os dias para a central do IBGE, no Rio de Janeiro, que disponibiliza esses dados na internet através do seu site [http://www2.ibge.gov.br/pub/Rede Brasileira deMonitoramentoContínuo](http://www2.ibge.gov.br/pub/Rede_Brasileira_deMonitoramentoContínuo).

Quatro estações da RBMC tiveram suas coordenadas determinadas através do reajustamento global do SAD 69, em 1997, a saber, UEPP (Presidente Prudente - SP), PARA (Curitiba - PR), NEIA (Cananéia - SP), e UBAT (Ubatuba - SP). Estas estações também foram utilizadas na determinação dos parâmetros de transformação entre SAD 69 e SIRGAS (IBGE, 2000). As demais estações foram ajustadas, tendo como injunção as primeiras, e suas coordenadas em SAD 69 foram obtidas através dos parâmetros de transformação a partir WGS 84.

As vinte e quatro estações que compoem a RBMC podem ser visualizadas na Figura 7.

A RBMC é o que se pode chamar de uma rede de controle ativo e é um importante suporte na utilização da tecnologia GPS. Coletando dados GPS nas duas frequências (L1 e L2) diariamente a uma taxa de 15 segundos, as estações da RBMC podem funcionar como estação base para levantamentos GPS, garantindo ao usuário precisão e economia nos trabalhos, uma vez que os dados, em formato RINEX (*Receiver Independent EXchange*) podem ser acessados gratuitamente pela *internet*. No adensamento do SGB,

hoje, a RBMC é essencial. Redes geodésicas têm sido estabelecidas por todo o território nacional utilizando-se das estações ativas da RBMC como referência.

No que se refere aos trabalhos científicos, a RBMC tem sido referência no desenvolvimento de inúmeras pesquisas em Geodésia, em Geofísica, com o estudo das deformações da crosta terrestre, na meteorologia, através do estudo do teor de vapor d'água na atmosfera (SAPUCCI, 2001), onde os dados GPS das estações da RBMC são utilizados para o desenvolvimentos das pesquisas.

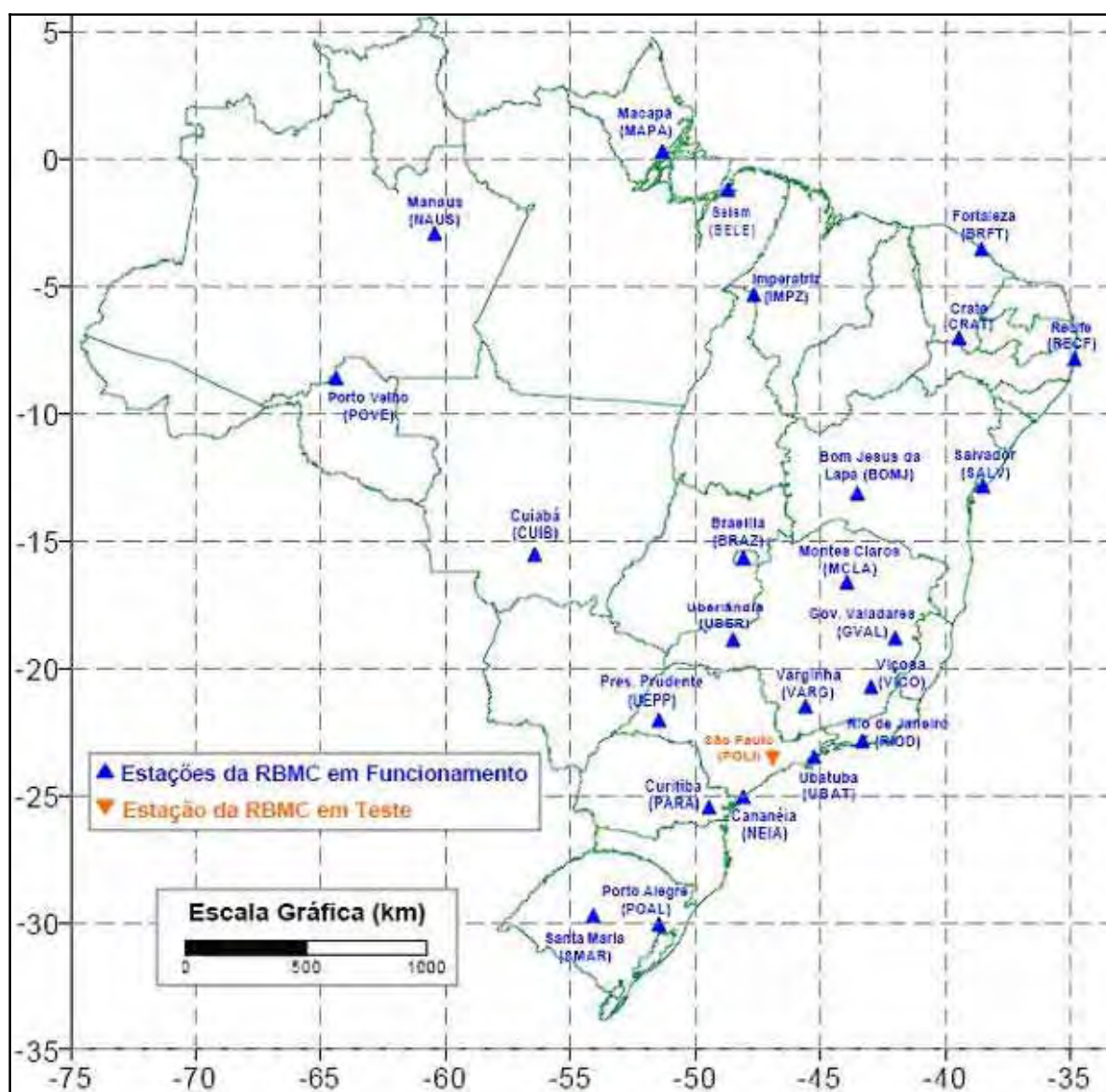


Figura 7 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC (Fonte: IBGE, 2006)

4.2 Sistema de Posicionamento Global - GPS

4.2.1 História e Desenvolvimento do GPS

Desenvolvido pelo departamento de defesa dos EUA (DoD) em 1973, com o objetivos de suprir as necessidades militares e disponibilizado posteriormente para uso na comunidade civil, o GPS é considerado um dos maiores avanços tecnológicos do fim do século XX, tendo revolucionado as técnicas de engenharia de mapeamento, transporte, navegação, cartografia, agrimensura, agronomia e um número crescente de atividades.

Baseado em satélites artificiais NAVSTAR-GPS (*Navigation System using Time and Ranging e Global Positioning System*) o sistema GPS consiste em um sistema de navegação e de posicionamento de alta precisão e rapidez, que permite aos usuários determinar posições expressas em latitude, longitude e altitude, em função das coordenadas cartesianas X, Y e Z em relação ao centro de massa da Terra. O sistema GPS aliado a um sistema de informações geográficas (SIG) e a um sistema de comunicação alcança grande velocidade e precisão na aquisição de dados conduzindo a uma revolução na arte de posicionar qualquer objeto sobre ou próximo da superfície terrestre (SEGANTINE, 1999).

Os objetivos do GPS são: auxiliar a radionavegação com elevada precisão nos cálculos de posição, mesmo com usuários sujeitos a altas dinâmicas; propiciar navegação em tempo real; propiciar alta imunidade a interferências; proporcionar cobertura global, 24 horas por dia; e obter de forma rápida as informações transmitidas pelos satélites.

O GPS foi declarado totalmente operacional em janeiro de 1994, ocasião em que sua constelação atingiu 24 satélites em órbita. Sua constelação atual é de 28 satélites dedicados a este fim específico. Estes satélites orbitam a uma altura de aproximadamente 28.000 Km acima da superfície terrestre e transmitem continuamente sinais que possibilitam a determinação da posição de um receptor na Terra ou suas imediações Figura 8 (GOMES; PESSOA; SILVA, 2001), e a constelação GLONASS desenvolvido pela antiga URSS durante a guerra fria, projetado para as mesmas finalidades, não conseguiu ser mantido pela Rússia. De uma constelação de 24 satélites em 1995, encontra-se atualmente com 17 satélites, sendo utilizada apenas em pesquisas científicas (ROCHA, 2003).

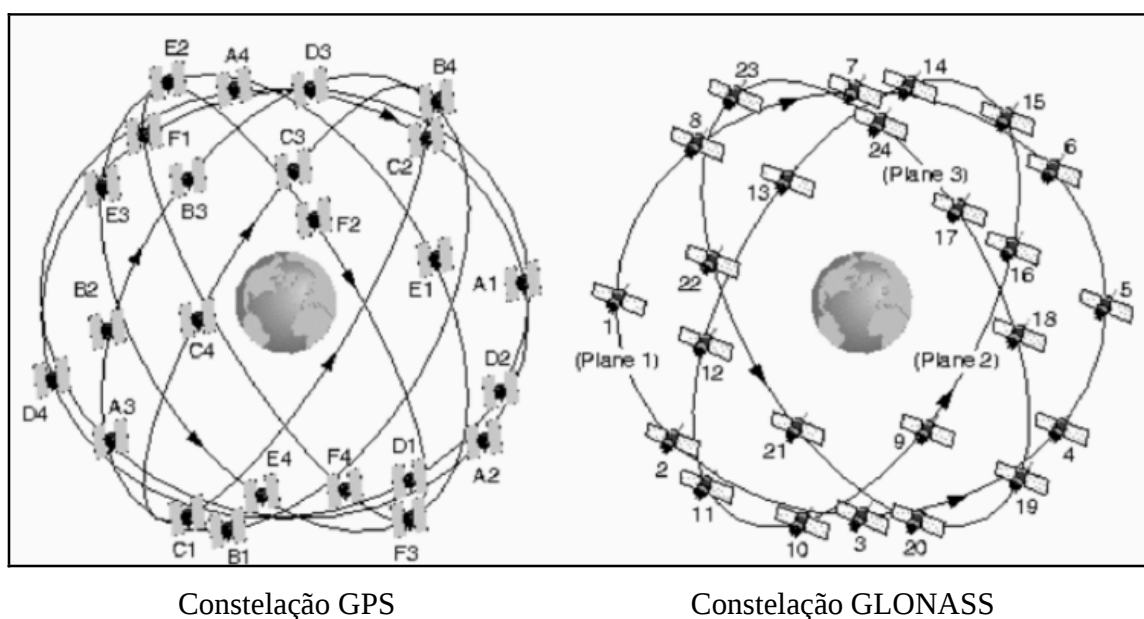


Figura 8 Configuração de satélites GPS e GLONASS. (Fonte: ROCHA, 2002)

4.2.2 Princípio Básico do GPS e GLONASS

Para Moraes, Fitzgibbon e Walter (1998) o funcionamento do sistema GPS se baseia no princípio da triangularização, segundo o qual o observador conhece a posição de um conjunto de satélites em relação a um referencial e a sua posição em relação a este conjunto de satélites, e obtém a sua própria posição no sistema de referência. O sistema de referência utilizado pelo sistema GPS é o WGS (WGS-72 até 1986 e WGS-84 a partir de 1987) e o sistema de referência utilizado pelo sistema GLONASS é o PZ-90.

A Figura 9 apresenta os parâmetros básicos utilizados pelo GPS na determinação da posição pelo usuário, definindo:

$\vec{R}_u$ = posição do usuário;

$\vec{p}^i$ = posição do i-ésimo satélite;

$\hat{p}^i$ = posição do usuário em relação ao i-ésimo satélite.

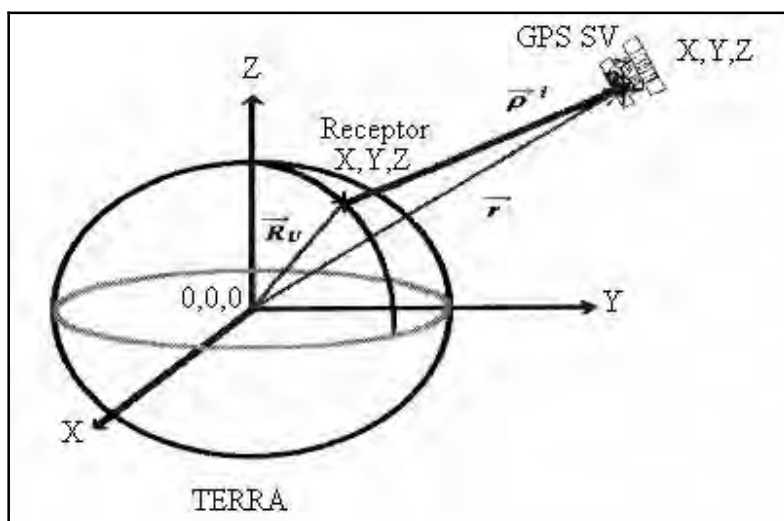


Figura 9 Princípio básico do GPS. Adaptada de Moraes, Fitzgibbon e Walter (1998).

Assim, admitindo $\vec{R}_u = (X_u, Y_u, Z_u)$, temos a relação:

$$(X_u - X^i)^2 + (Y_u - Y^i)^2 + (Z_u - Z^i)^2 = \rho^i{}^2$$

4.2.3 Aplicações do GPS

O sistema GPS vem provando, ao longo dos últimos anos, que é uma técnica efetiva de posicionamento, proporcionando a obtenção de coordenadas com precisão, principalmente às coordenadas geográficas, latitude e longitude (SEGANTINE, 1999).

O sistema GPS pode ser aplicado para gerar posicionamento em tempo-real e fornecer precisões suficientes para os mais diversos usos, utilizando-se de receptores adequados em cada uso. É um sistema economicamente competitivo na maioria dos casos. Estas características permitem vislumbrar o alto potencial desta tecnologia e as ilimitadas possibilidades de aplicações na Geodésia, na navegação e nos mais diferentes tipos de áreas, como por exemplo:

- ◆ Levantamento de controle;
- ◆ Levantamento de cadastro;
- ◆ Geodinâmica;
- ◆ Monitoramento de obras de engenharia (barragens, pontes, edifícios, etc.)

- ◆ Navegação de precisão;
- ◆ Fotogrametria;
- ◆ Sistemas de Informação Geográficas (SIG);
- ◆ Geodésia marinha e Glacial.

Outras aplicações que não eram possíveis com métodos convencionais, podem ser agora realizados com o GPS. Dentre esses tipos de aplicações, podemos citar:

- ◆ Levantamentos aéreos;
- ◆ Medidas da rotação da Terra;
- ◆ Posicionamento marinho e alta precisão;
- ◆ Medida da velocidade;
- ◆ Mapeamento gravitacional vetorial através de um veículo em movimentos;
- ◆ Aerotriangulação sem pontos de controle terrestre;
- ◆ Levantamento e locação de pontos geométricos de projetos de vias;
- ◆ Levantamentos topográficos;
- ◆ Controle de deslocamento de obras civis, etc.

4.2.4 Constelação de Satélites

Depois de serem estudados vários esquemas, definiu-se uma constelação de 21 satélites (mais 3 de reservas) alocados em órbitas elípticas (semi-eixo maior igual a 26600 km) com período de 11h 57' 58,3" (tempo sideral), a uma altitude média aproximada de 20200 km (10898 milhas náuticas), acima da superfície terrestre, com uma órbita de inclinação igual a 55° em relação ao Equador. Esta configuração garante a cobertura projetada para o sistema. Os satélites completam duas revoluções orbitais enquanto a Terra realiza apenas uma rotação (um dia sideral), resultando assim que cada satélite recobre a mesma faixa de terreno uma vez por dia, com sua posição defasada de 4 minutos.

Os satélites do sistema GPS poderiam ter sido implantados na forma de satélites geoestacionários com altitude aproximada de 36000 km. Esta opção foi levada em consideração durante a etapa de definição do sistema. A desvantagem desta configuração é

que o posicionamento de pontos próximo aos pólos estaria prejudicado, uma vez que satélites geostacionários estão sempre alocados próximos a linha do Equador.

Cada satélite está equipado com relógios atômicos, de modo a transmitir, com precisão, pulsos binários de tempo e efemérides, definindo suas órbitas. O termo relógio atômico não quer dizer que os relógios trabalham usando energia atômica, tendo sido utilizado apenas porque os relógios utilizam tipos especiais de átomos em seus osciladores.

O sistema é composto de modo a possuir quatro satélites em cada um dos seis planos orbitais (denominados de A, B, C, D, E e F), conforme se ilustra na Figura 10. Os satélites não são igualmente espaçados dentro do plano orbital, mas são distribuídos para garantir a máxima cobertura terrestre. Na Figura 10, a separação da ascensão reta, Ω , entre dois planos orbitais é de 60° . Este espaçamento foi planejado para maximizar a probabilidade dos receptores GPS captarem sinais de, no mínimo, quatro satélites com pequenos valores de PDOP, 24 horas por dia, e poderem assim determinar suas coordenadas tridimensionais: latitude, longitude e altura geométrica (SEGANTINE, 1999).

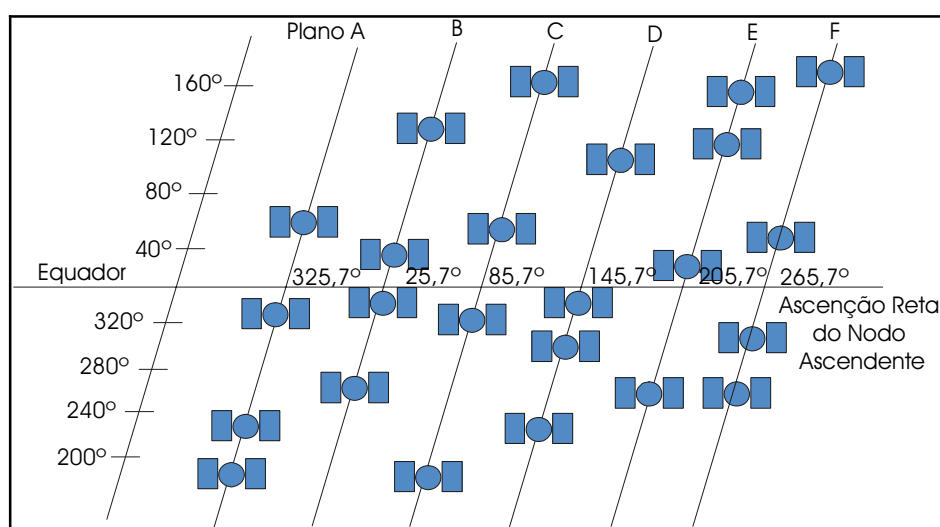


Figura 10 Distribuição dos satélites GPS nos planos orbitais (MONICO, 2000).

Os satélites do sistema GPS são divididos em blocos atendendo a certas características físicas e de projeto:

Bloco I: satélites de desenvolvimento e pesquisa, SVN1 até SVN11;

Bloco II: satélites de produção de SVN13 até SVN21;

Bloco IIA: satélites de produção, de SVN22 até SVN40

Bloco IIR: satélites de reposição, com lançamentos programados a medida que forem necessárias reposições, de SVN41 até SVN62;

Bloco IIF: satélites de reposição, com lançamentos programados para as futuras décadas.

4.2.5 Sinais dos Satélites

Os satélites GPS são sistemas unidirecionais de emissão, isto é, os sinais são transmitidos somente pelos satélites. Os sinais se propagam das antenas dos satélites até as antenas dos receptores. Durante a propagação, os sinais estão sujeitos aos seguintes efeitos: atraso de propagação na ionosfera, atraso de propagação na troposfera, efeito do multicaminhamento, efeitos marginais de sinais, devido à posição do satélite no horizonte e, feitos de degradação: AS e SA.

Operacionalmente a geodésia por satélite está baseada na transmissão de dados dos satélites para as antenas dos receptores, através de ondas eletromagnéticas. A observação fundamental é a medida do tempo de percurso do sinal, entre a antena do satélite e a antena do receptor instalada pelo usuário.

A frequência, f , pode ser definida pela derivada da fase, φ , em relação ao tempo:

$$f = \frac{d\varphi}{dt}$$

e, inversamente, a fase é obtida pela integração da frequência entre duas épocas t_0 e t

$$\varphi = \int_{t_0}^t f dt$$

Assumindo a frequência como sendo constante, a fase inicial $\varphi(t_0)=0$, e considerando o intervalo de tempo t_p , que é o tempo que o sinal necessita para propagar-se através da distância p , entre o emissor e a antena receptora, pode-se escrever a seguinte equação:

$$\varphi = f(t - t_p) = f\left(t - \frac{p}{c}\right)$$

No caso de um veículo em movimento emitir sinais, como é o caso de um satélite ou de uma antena receptora em movimento, a frequência recebida é alterada pelo efeito Doppler. Isto significa que a frequência recebida segundo Hoffman-Wellenhof, Lightenegger, Collins (1992) f_r , é diferente da frequência emitida, f_e , de um valor Δf , que desconsiderando-se os efeitos relativísticos, é proporcional à velocidade radial, definido como sendo $v_e = \partial \rho / \partial t = \rho$, onde ρ é denominada velocidade radial do emissor relativo ao receptor.

A chave da precisão do sistema GPS é o fato dos componentes dos sinais serem controlados por relógios atômicos. A frequência fundamental (banda L) de 10,23 MHz é produzida por um sistema de alta precisão. A Figura 11 apresenta a posição dos sinais GPS dentro do espectro magnético.

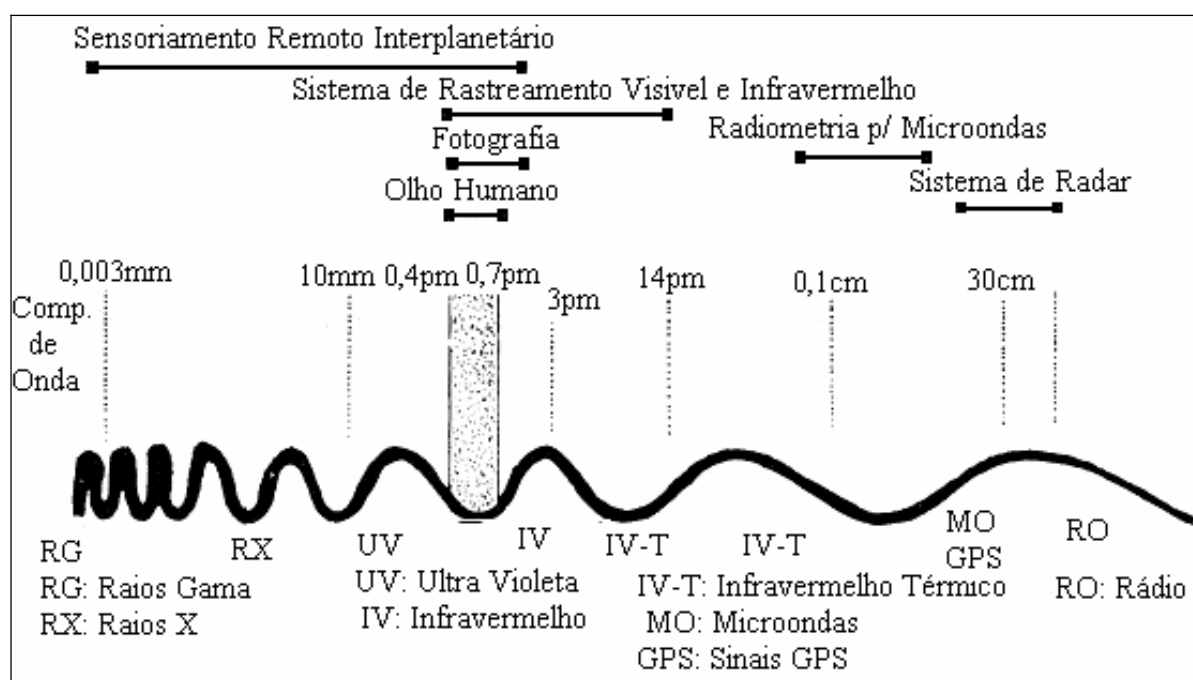


Figura 11 Espectro eletromagnético.

Todos os satélites da constelação transmitem continuamente na mesma frequência. Os componentes dos sinais dos satélites e suas frequências estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 Componentes dos sinais dos satélites GPS/GLONASS (MONICO, 2000).

		GLONASS	GPS
Nº de satélites		24 (17)*	24 (28)*
Nº de satélites/lançamento		3	1
Nº de planos orbitais		3	6
Inclinação da órbita		64,8°	55°
Altitude da órbita		19100 Km	20200 Km
Período de revolução		11h 15 min 40 s	11h 50 min 00s
Sistema de tempo		TUC (Rússia)	TUC (USNO)
Frequência das portadoras	L1	$1602 + 0,5625 * n$ (MHz)**	1575,42 MHz
	L2	$1246 + 0,4375 * n$ (MHz)**	1227,60 MHz
Frequências dos códigos	C/A	0,511 MHz	1,023 MHz
	P	5,11 MHz	10,23 MHz

* O número entre parênteses representa o número atual de satélites em funcionamento (31/07/2003).

** n é o número dos canais de cada satélite.

A portadora principal, L1, é modulada por dois tipos de códigos falsamente aleatórios (*pseudorandom noise codes*), um com 1,023 MHz chamado de código-C/A, e outro com 10,23 MHz chamado de código-P.

O código-P ou militarmente classificado como código-Y, foi intencionalmente projetado para uso militar ou para usuários autorizados, visto que, o comprimento de onda é da ordem de 30 metros, proporcionando um posicionamento preciso. Este código pode ser descrito como sinais retangulares, cujas amplitudes são aleatórias, com valores variando de 0 a 1.

A pseudodistância, que é derivada da medida do tempo de percurso do sinal entre cada satélite e a antena receptora do usuário, usa dois ruídos falsamente aleatórios (PRN), que são modulados (superimpostos) em duas fases portadoras. O código consiste numa sequência dos estados +1 ou -1, correspondendo aos valores binários 0 ou 1. A modulação

bifásica (mudança de sinal) é realizada pela inversão de 180° na fase da portadora, situação em que ocorre a alteração nos estados. Figura 12.

É importante dizer que cada satélite estabelece o seu próprio código-C/A e o código-P, o que os distingue dos demais. Os códigos têm duas importantes funções:

- (a) Identificação do satélite. Os códigos são únicos para cada satélite e podem ser comparados com os respectivos códigos gerados pelos receptores;
- (b) Medida da propagação do tempo. Isto é, do tempo necessário para que o sinal percorra a distância entre o satélite e a antena receptora.

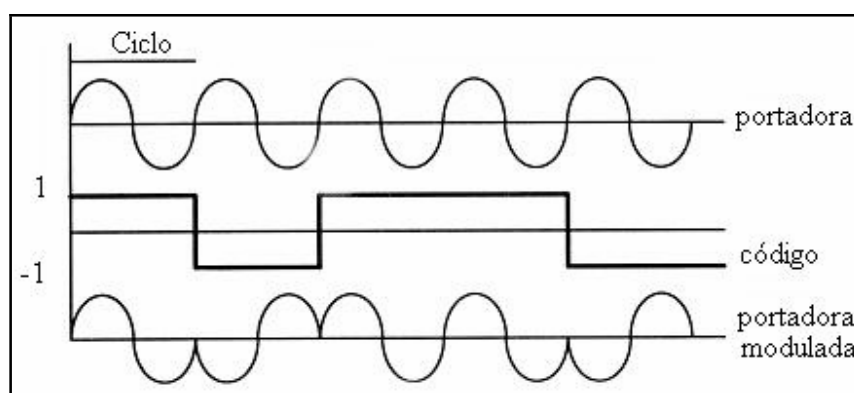


Figura 12 Modulação bifásica da onda portadora.

O primeiro código é o código-C/A (*Coarse or Clear/Acquisition-code*), também designado como *Standard Positioning Service (SPS)*, que é disponível para a comunidade civil. A frequência do código C/A repete-se a cada milissegundo, com um comprimento efetivo de onda 293,1 m e é modulada somente na portadora L1 sendo propositalmente omitida na L2, mas as estações de controle terrestre podem opcionalmente incluir a L2 na estrutura deste código. Esta omissão da portadora L2 permite ao *Joint Program Office (JPO)* controlar as informações enviadas pelos satélites e, então, melhorar a precisão para uso da comunidade civil.

A segunda portadora de sinal, L2, contém somente o código-P (ou código-Y). O código-P (*Precision or Protect-code*), também é designado como *Precise Positioning Service (PPS)*, e tem sido reservado apenas para uso das forças armadas americanas e para usuários autorizados.

O código-P é mais preciso que o código-C/A, visto que o código-P não é afetado pelo efeito AS e o acesso a este código pela portadora L2 permite correções de efeitos atmosféricos.

A frequência do código-P é extremamente grande e se repete a cada 266,4 dias (± 37 semanas), com um comprimento efetivo de onda de 29,31 metros, modulando ambas as portadoras, L1 e L2. O comprimento total do código é dividido em 37 segmentos semanais e cada segmento é transmitido por um satélite, definido por seu número PRN. Esta técnica é denominada como *Code Division Multiple Access* (CDMA).

Estes códigos são reiniciados no começo de cada semana GPS, ou seja, a meia-noite (0h UT) de Sábado para Domingo. Devido ao fato de existir um número de satélites em órbita, inferior a 37, alguns segmentos do código-P não usados. No entanto estão disponíveis e são transmitidos pelas estações de controle terrestre.

Ambas as portadoras L1 e L2 são moduladas pelo código-P. O código-C/A é posicionado na portadora L1, em quadratura de fase em relação ao código-P (fase atrasada de 90°). Denominando a portadora não modulada de fase por $L_i(t) = a_i \cos(f_i t)$ e o código-P, o código-C/A e a mensagem de navegação por $P(t)$, $C(t)$ e $D(t)$, respectivamente, a fase da portadora pode ser representada pelas seguintes equações:

$$L1(t) = a_1 P(t) \cos(f_1 t) + a_1 C(t) D(t) \sin(f_1 t)$$

$$L2(t) = a_2 P(t) D(t) \cos(f_2 t)$$

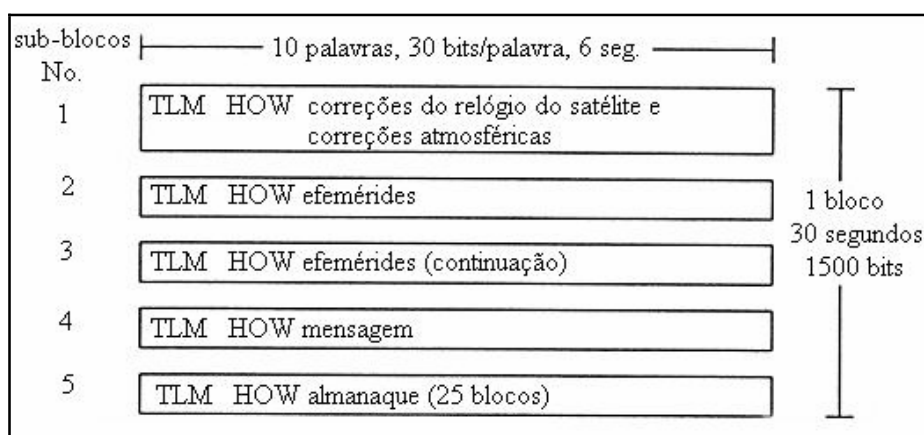
onde, a_1, a_2 : amplitude das portadoras L1 e L2 do código-P e código-C/A; $P(t)$: sequência do código-P com valores ± 1 ; $C(t)$: código-C/A com valores ± 1 ; e $D(t)$: fluxo de dados com valores ± 1 .

O acesso direto ao código-P só é possível para receptores precisamente sincronizados com o sistema de tempo GPS. Esta é a razão porque, em geral, o código-P é conseguido com a ajuda do código-C/A através do *Hand Over Word* (HOW). O código HOW contém um parâmetro chamado de contador-Z, que está localizado no sub-bloco dos dados. O contador-Z é definido como sendo um número inteiro de intervalos de 1,5 segundo desde o início da semana GPS, e que identifica a época no qual o dado foi gravado. (LANGLEY, 1990) apresenta uma excelente introdução a respeito deste assunto. As principais características e diferenças entre os códigos podem e são resumidas na Tabela 2.

Tabela 2 Principais características e diferenças entre os códigos GPS.

	Código	Portadora
Comprimento de onda	Código-P = 29,3 m	L1 = 19,05 cm
	Código-C/A = 293 m	L2 = 24,45 cm
Ruídos observados receptores	Código-P 0,6 – 1 m	
clássicos novos receptores	Código-C/A 10m	1 – 3 mm
	Código-P 2 – 5 cm	< 0,2 mm
Efeitos de propagação	Atraso da ionosfera	Avanço da ionosfera
	$-\Delta T_{ION}$	ΔT_{ION}
Ambigüidade	Não-ambíguo	ambíguo

A mensagem da navegação transmitida na razão de 50 bits por segundo (bps) é superposta nas duas frequências, contendo informações tais como: efemérides, correções do relógio do satélite, órbitas dos satélites, saúde dos satélites e outras correções de dados. Estas informações são utilizadas para o posicionamento e a navegação. Este sinal é formatado em 5 blocos com 6 segundos de duração, conforme apresentado na Figura 13. Cada bloco é formado por 10 palavras com 30 bits cada. A primeira palavra em cada bloco é uma palavra telemétrica (telemetry word: TLM). A segunda palavra em cada bloco é uma palavra do código HOW, que contém, entre outras informações, o número do contador-Z. Maiores informações a respeito das mensagens de navegação podem ser encontradas, por exemplo, em (Seeber; Leick, 1993, 1995).

**Figura 13** Formato dos sinais de dados.

Os receptores recebem os sinais ao mesmo tempo que, independentemente, geram internamente os códigos-PRN, semelhantes aos recebidos, estando os relógios sincronizados (satélite e receptor), vide Figura 14. O código-PRN, transmitido pelo satélite, chega com um atraso de tempo ou de fase (t ou $\Delta\varphi$), devido ao tempo de propagação dos sinais dos satélites até a estação do receptor (SILVA e ERWES, 1996).

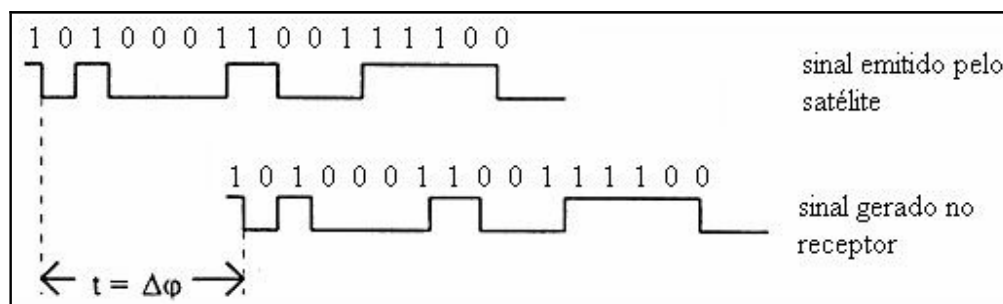


Figura 14 Representação esquemática de um segmento do código PRN, gerado no satélite e no receptor.

4.2.6 Segmentos do Sistema GPS

O sistema de posicionamento global consiste em três segmentos (SEGANTINE, 1999):

- ◆ O segmento espacial, que envolve os satélites que emitem sinais;
- ◆ O segmento de controle terrestre, composto pelas estações de rastreamento;
- ◆ O segmento do usuário, envolvendo todos os tipos de receptores.

Apenas o segmento do usuário será descrito neste trabalho pelo fato do maior interesse na discriminação dos receptores utilizados para os diversos levantamentos. E este segmento consiste dos receptores GPS e a comunidade civil e militar.

Os receptores GPS localizados na superfície terrestre, converte os sinais dos satélites em posição, velocidade e tempo. Quatro satélites, no mínimo, são requeridos para calcular as posições X, Y, Z e o tempo t .

A navegação é a função primária do GPS, sendo usada por usuários de aeronaves, navios, veículos, e por quaisquer indivíduos que portem um receptor portátil. Segundo Cunha, Santos e Andrade (1998), atualmente os receptores GPS são utilizados nas mais variadas áreas profissionais, como por exemplo: em todos os tipos de levantamento de

áreas: pontos de controle cadastral; controles geodésicos no estabelecimento de apoio para a fotogrametria, no monitoramento do voo e posição de tomada de foto; controles ecológicos e outros.

Segundo Ribas e Saraiva (1998), existem três tipos de receptores GPS, o de navegação com uma precisão na horizontal da ordem 100 metros e na vertical de 150 metros; o topográfico que atinge uma precisão de 1 a 5 metros e o geodésico com precisão de 1 cm $\pm 0,3$ a 2 ppm (parte por milhão).

4.3 Fundamentos de GPS

4.3.1 Observáveis GPS

Segundo Marini (2002), o princípio fundamental de posicionamento por GPS está relacionado com o intervalo de tempo de viagem do sinal entre o satélite e antena do receptor. As observáveis básicas do GPS são a pseudodistância, a partir do código, e a fase de batimento da onda portadora.

4.3.2 Pseudodistância

A pseudodistância é a medida da distância obtida a partir da correlação entre o código gerado no satélite, no instante de transmissão, e sua réplica gerada no receptor, no instante de recepção do sinal (MONICO, 2000). Pode-se escrever a equação da pseudodistância como:

$$PD_r^s = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + I_r^s + T_r^s + dm_r^s + \varepsilon_{\phi r}^s \quad (01)$$

onde: PD_r - é a pseudodistância entre os centros de fase do satélite s e do receptor r ;

P_r - é a distância geométrica entre a antena do satélite e a do receptor;

c - é a velocidade da luz;

dt_r e dt^s são o erro do relógio do receptor, no instante de recepção, e o erro do relógio do satélite, no instante de transmissão, com relação ao tempo GPS;

I_r^s é o erro causado pela ionosfera;

T_r^s é o erro causado pela troposfera;

dm_r^s é o erro causado pelo multicaminho do sinal;

$\varepsilon_{\phi_r}^s$ são erros residuais não modelados.

4.3.3 Fase de Batimento da Onda Portadora

A fase da onda portadora é a observável mais precisa, utilizada nos levantamentos geodésicos. A fase de batimento da onda portadora é a diferença entre a fase do sinal do satélite, recebido no receptor (ϕ^s), e a fase do sinal gerado no receptor (ϕ_r), no instante t do tempo GPS (MONICO, 2000). Considerando os elementos já descritos na equação (01), a fase da portadora, observada em ciclos, pode ser escrita como:

$$\phi_r^s(t) = \frac{f}{c}(\rho_r^s - I_r^s + T_r^s + dm) + f(dt_r - dt^s) + [\phi_t^s(t_o) - \phi_r(t_o)] + N_r^s + \varepsilon_{\phi_r}^s \quad (02)$$

onde: ϕ é a observação da fase;

f é a frequência de batimento da onda portadora;

$\phi_t^s(t_o) - \phi_r(t_o)$ é a diferença entre as frequências iniciais do satélite e do receptor na época de referência (t_o);

N é o número de ciclos inteiros entre a antena e o receptor, ou *ambigüidade*;

ε representa os erros não modelados da fase da onda portadora.

4.4 Fontes de Erros do GPS e Procedimentos para sua Minimização

As medidas das observáveis, como em qualquer processo de medida, contêm erros, de natureza aleatória, sistemática ou grosseira. Erros aleatórios são inerentes às observações. Já os erros grosseiros e sistemáticos devem ser eliminados ou minimizados. Para tanto, é de fundamental importância a adoção de alguns procedimentos durante a coleta dos dados. Igualmente importante é a formulação de modelos matemáticos funcional e estocástico que descrevam corretamente a realidade física, contemplando todas as variáveis envolvidas,

modelando todos os erros sistemáticos. A detecção da existência de eventuais erros grosseiros pode ser feita através da aplicação de testes estatísticos apropriados.

A Tabela 3 apresenta uma classificação dos erros envolvidos nas observáveis GPS, de acordo com a sua fonte (MONICO, 2000).

Tabela 3- Fontes e efeitos dos erros envolvidos no GPS

FONTES	ERROS
Satélite	Erro da órbita
	Erro do relógio
	Relatividade
	Atraso entre as duas portadoras no hardware do satélite
Propagação do sinal	Refração Troposférica
	Refração ionosférica
	Perdas de ciclos
	Multicaminho ou sinais refletidos
	Rotação da Terra
Receptor/Antena	Erro do relógio
	Erro entre os canais
	Centro de fase da antena
Estação	Erro nas coordenadas
	Multicaminho
	Marés terrestres*
	Movimento do Pólo*
	Cargas dos oceanos*
	Pressão atmosférica*

(*) Não são especificamente erros, mas efeitos que afetam o posicionamento.

4.4.1 Erros relativos aos satélites

a) Erros orbitais

No processamento das observações GPS, a posição de cada satélite, através de suas coordenadas cartesianas, é injuncionada como fixa para determinar a posição da estação terrestre. Em posicionamento absoluto, um erro cometido na posição do satélite é diretamente propagado para a estação terrestre. No posicionamento relativo esses erros são praticamente eliminados, porém ainda persistem erros residuais.

O cálculo das efemérides é baseado nas leis Kepler, que trata do movimento dos planetas ao redor do Sol, e nas leis do movimento e da gravitação universal de Newton,

adaptadas para a órbita dos satélites (BEUTLER, 1998). Trata-se basicamente da atração gravitacional da Terra, do Sol e da Lua sobre os satélites, bem como da pressão de radiação solar. Existem, porém, forças perturbadoras desse modelo ideal, que são as de natureza gravitacional, como as acelerações devidas à não esfericidade e distribuição de massa homogênea da Terra, as acelerações de outros corpos celestes, como do Sol e da Lua, acelerações devidas às marés terrestres e oceânicas, e as perturbações de natureza não gravitacional, como as cargas atmosféricas e a pressão de radiação solar direta e refletida da Terra (SEEBER, 1993). Em função de incertezas no modelamento das forças perturbadoras do movimento dos satélites, as efemérides têm sempre uma imprecisão.

As efemérides transmitidas provém de uma predição da órbita dos satélites, a partir de 5 estações monitoras distribuídas pelo globo. A predição é feita sobre quatro semanas de dados, disponíveis entre 12 e 36 horas antes da transmissão. Os elementos necessários para a determinação da posição dos satélites, bem como a estimativa do erro do relógio dos satélites, são referentes a uma época origem para cada 2 horas. Por serem preditas, e devido às forças perturbadoras, a acurácia das efemérides transmitidas, pode variar de 0 a 20 m (l_e) (MONICO, 2000). Com a modernização do GPS, espera-se que a acurácia das referidas efemérides chegue ao nível submétrico (RIZOS, 1999).

O uso de efemérides produzidas pelo IGS, minimiza as imprecisões da posição dos satélites, e portanto os seus efeitos sobre a posição dos pontos incógnitos.

WELLS *et al* (1986) apresenta uma regra para expressar o erro na base, em função do erro na posição do satélite:

$$\Delta b = b \frac{\Delta r}{r} \quad (03)$$

onde:

Δb é o erro resultante na linha de base;

b é o comprimento da linha de base (km);

Δr é o erro na posição do satélite e;

r é a distância do satélite ao receptor (aproximadamente 20000 km).

Aplicando a equação(03), pode-se comparar o erro cometido numa linha de base, em função dos erros nas efemérides transmitidas e precisas. Para uma linha de

base de 100 km, por exemplo, com um erro esperado de 20 m nas efemérides transmitidas e 10 cm nas efemérides precisas, comete-se um erro de 5 cm contra 0,05 cm na linha de base, respectivamente.

b) Erro do relógio

O tempo GPS é definido como a escala de tempo utilizada pelo sistema GPS. Cada satélite leva a bordo um relógio que, embora altamente estável, não acompanha 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, na forma de um polinômio de segunda ordem dado por:

$$dt^s(t) = a_o + a_1(t-t_{oc}) + a_2(t-t_{oc})^2 \quad (04)$$

onde: $dt^s(t)$ é o erro do relógio na instante t da escala de tempo GPS;

t_{oc} é o instante de referência do relógio (*clock*);

a_o é o estado do relógio no instante de referência;

a_1 é a marcha linear do relógio e

a_2 é a variação da marcha do relógio.

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, 2000).

c) Relatividade

A correção dos efeitos da relatividade é necessária devido ao relógio do satélite e o relógio pelo qual o Tempo GPS é definido operarem em locais com potencial gravitacional diferente e moverem-se a velocidades diferentes. Os efeitos relativísticos causam uma aparente mudança de frequência no oscilador 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).

d) Atraso entre as duas portadoras do hardware do satélite

Este atraso é um erro decorrente da diferença entre os caminhos percorridos pelas portadoras L1 e L2 dentro do *hardware* do satélite. 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.

4.4.2 Erros Relativos à Propagação do Sinal

Se as ondas eletromagnéticas se propagassem no vácuo, a propagação se daria na velocidade da luz. Os sinais transmitidos pelo GPS passam através da atmosfera até chegar à superfície da Terra e interagem com as partículas que a compõem, provocando o que se chama de refração, que é a mudança na velocidade e na direção de propagação dos sinais. Ao passar pela atmosfera, os sinais GPS sofrem diferentes tipos de refração, em função das características diferentes das camadas da atmosfera.

Além dos erros causados pelo meio de propagação do sinal os erros causados pelo movimento de rotação da Terra e pelos sinais refletidos nas proximidades da antena também devem ser tratados.

a) Refração Troposférica

A troposfera é a camada da atmosfera que vai da superfície até aproximadamente 50 km. É formada por gases neutros, que se dividem em dois componentes, uma composta pelos gases seco, chamado de componente hidrostática, e outra formada pelo vapor d'água, que é componente úmida. Na troposfera, a temperatura decresce com o aumento da altitude. Para os sinais GPS ela é um meio não dispersivo.

O erro causado pela influência da troposfera na propagação dos sinais GPS pode chegar até 30 m, dependendo da densidade da atmosfera e do ângulo de elevação dos

sinais (MONICO, 2000). Entre os efeitos que a troposfera pode causar nos sinais GPS, pode-se citar:

- a atenuação atmosférica, que é a diminuição da potência da onda eletromagnética. Esses efeitos são mais drásticos abaixo de 5° de elevação;
- a cintilação troposférica, a qual é uma oscilação na amplitude da onda, causada por irregularidades e turbulências no índice de refração atmosférica, que depende da frequência, do tempo, das condições atmosféricas e do ângulo de elevação dos satélites. São efeitos relativamente pequenos para ângulos acima de 10° de elevação;
- o atraso troposférico, causado pelas componentes seca e úmida. A componente seca é responsável por 90% do atraso total, chegando a aproximadamente 2,3 m no zênite. Pode ser predito com boa precisão, uma vez que sua variação com relação ao tempo é pequena. O atraso causado pela componente úmida é menor, variando de 1 a 30 cm no zênite. Não pode ser predito com boa precisão, devido às fortes variações do vapor d'água na atmosfera.

Os efeitos da troposfera sobre os sinais GPS podem ser minimizados através do uso de máscaras de elevação superiores a 10° e de modelos matemáticos, que através de funções de mapeamento, relacionam o atraso zenital com o atraso para outros ângulos de elevação.

Citam-se alguns modelos matemáticos e funções de mapeamento utilizados (SILVA, SANTOS e OLIVEIRA, 1999):

- Hopfield

O modelo de Hopfield para o atraso troposférico considera uma atmosfera com taxa constante de declínio da temperatura em relação ao aumento da altitude. As componentes seca e úmida da refração são descritas como uma função de quarto grau com relação à altitude referenciada ao geóide. A partir do valor da superfície, cada componente tem seu perfil vertical em decréscimo até atingir a altitude em que seu valor é zero.

- Saastamoinen

Saastamoinen desenvolveu um modelo baseado na suposição do decréscimo linear da temperatura até a tropopausa. Acima da tropopausa a temperatura assumiria um valor constante, caracterizando a estratosfera como um meio isotérmico. Outra suposição é que a atmosfera assume forma esférica e que todo vapor d'água encontra-se concentrado na troposfera e comporta-se como um gás ideal.

- Lanyi

Lanyi apresenta uma função de mapeamento baseada do equilíbrio isostático do ar seco e no modelo de Saastamoinen para as componentes seca e úmida da refratividade. O atraso troposférico (seco e úmido) é dado como uma função de diversos parâmetros que podem ser ajustados a condições meteorológicas locais.

- Herring

O modelo de Herring É uma função de mapeamento em forma de fração contínua, utilizando dados de radiosandagem para as medidas dos perfis verticais da temperatura e do vapor d'água, e determinando a pressão assumindo uma atmosfera em equilíbrio hidrostático.

- Ifadis

Para as formulações do atraso troposférico de Ifadis, foram utilizados dados de radiossonda coletados em vários locais do globo, cobrindo assim, diferentes tipos de clima. A função de mapeamento de Ifadis supõe que a temperatura e a umidade relativa são relacionadas linearmente com a altitude. A pressão tem relação exponencial com a altitude, supondo a atmosfera em equilíbrio hidrostático. Uma parte das fórmulas abrange uma solução global, e outra afeta os tipos de clima ártico, temperado, tropical,

estepes, desértico e montanhoso. Para a refratividade na componente úmida, foram desenvolvidas fórmulas relacionadas às estações do ano.

No processamento de redes de alta precisão, pode-se adotar a introdução de um fator de escala como uma incógnita extra no processamento, representando uma correção no modelo, baseada nas observações GPS. O fator de escala pode ser estimado por estação, para um intervalo de tempo, ou como um parâmetro global, para toda a rede (MONICO, 2000).

b) Refração Ionosférica

A ionosfera, que é a camada da atmosfera que abrange a região entre 50 km a 1.000 km da superfície, é um meio dispersivo, composto por partículas ionizadas. A refratividade (n) da ionosfera depende da frequência (f) e da densidade de elétrons e pode ser escrita como (MONICO, 1995):

$$n = 1 \pm A_1 \frac{N_e}{f^2} + \text{termos de ordem maiores} \quad (05)$$

onde: A_1 é uma combinação de constantes físicas ($= 40,3 \text{ Hz}$);

N_e é a densidade de elétrons livres da ionosfera (aproximadamente 10^{16} elétrons / m^3) e $\pm$ depende se o índice de refração está sendo determinado para a o código (+) ou para a fase (-).

A partir da expressão acima pode-se perceber que a fase sofre um avanço na ionosfera, enquanto o código sofre um atraso, ambos de igual valor, se comparados com a distância geométrica entre o satélite e o receptor.

A densidade de elétrons livres pode ser medida pelo TEC (Total Electron Content), que é o número de elétrons numa coluna através da ionosfera com uma seção transversal de 1 m^2 . O TEC depende da atividade solar. Tempestades magnéticas impõem um padrão irregular à mancha solar, tornando a predição da densidade de elétrons bastante difícil.

Têm-se desenvolvido modelos matemáticos para estimar a densidade de elétrons. O modelo de Klobuchar tem sido usado, mas para levantamentos geodésicos de

precisão é difícil encontrar um modelo que estime o TEC ao nível desejado. Há também os modelos globais divulgados pelo IGS.

Com o desligamento da AS, os efeitos da ionosfera sobre os sinais do satélite na posição de um ponto são, hoje, a maior fonte de erro. Em posicionamento absoluto, modelos regionais para a ionosfera, como o modelo desenvolvido por Camargo (1999), permitem reduzir os efeitos da ionosfera ao nível centimétrica.

Em posicionamento relativo, há duas situações a serem consideradas. Em linhas de base curtas (até 15 km), os efeitos da ionosfera sobre os sinais GPS 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 L1 e L2 remove praticamente todo o erro ionosférico, é a chamada Lo (ou L3, em algumas bibliografias).

Em bases curtas, a utilização da Lo não oferece vantagem devido à predominância do ruído da observável.

c) Perdas de ciclos

Pode-se caracterizar como perdas de ciclo (*cycle slips*), a interrupção acidental da recepção do sinal. As perdas de ciclo podem ser causadas por obstruções ao recebimento do sinal, como árvores, edificações, inclinação e aceleração da antena, por interferência de outras fontes de rádio, e problemas no receptor ou no software. Ao iniciar o rastreamento, a diferença entre a fase da onda recebida e sua réplica gerada no receptor é gravada na sua parte fracionária; inicia-se a contagem do número inteiro de ciclos (ambigüidade). Quando ocorre uma perda de ciclo, ocorre um salto na contagem do número inteiro de ciclos, sem afetar a parte fracionária.

Para a correção das perdas de ciclos é necessário localizar onde ela ocorreu e determinar sua magnitude. A correção é feita adicionando-se o número de ciclos inteiros que causou o salto em todas as outras observações subsequentes à perda. Quando não é possível determinar esse número, pode-se desconsiderar os dados ou introduzir novas

ambigüidades como incógnitas no modelo. Quando há muitas perdas de ciclo, essa solução torna-se inviável (MONICO, 2000).

Para detecção das perdas de ciclo, a combinação linear das observáveis, chamada banda larga $\{wide\ lane - L_{\Delta}\}$, em conjunto com a L_0 , são bastante úteis na etapa de detecção de perdas de ciclo e erros grosseiros.

d) Multicaminho

O multicaminho é o efeito causado quando um sinal chega à antena do receptor por dois ou mais caminhos diferentes, ou sofre deflexões na sua trajetória. A ocorrência desse efeito depende do meio onde a antena está instalada (LANGLEY, 1997). Durante os rastreios, o multicaminho ocorre quando a antena está próxima a obstáculos como construções, árvores, cercas, carros, massa d'água, etc, e às vezes o próprio chão.

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 gira em torno de 0,5 m; já em ambiente muito reflexivos, o erro pode chegar a 4 ou 5 m (LANGLEY, 1997).

Têm-se desenvolvido modelos para detectar multicaminhos através de combinações lineares das frequências L_1 e L_2 e vários modelos de antenas que evitem os sinais refletidos (MONICO, 2000), porém a forma mais eficiente de minimizar o multicaminho dos sinais é selecionar com critério o local de instalação da antena, e utilizar antenas com polarização do sinal GPS e círculos concêntricos que impeçam a recepção de sinais refletivos, como as antenas *chocke ring*. Muito embora, no cotidiano, na maioria das vezes seja inevitável o rastreamento em ambientes reflexivos, e o uso das antenas *choke ring* seja inviável devido ao alto custo e peso excessivo.

e) Rotação da Terra

Como a Terra está em movimento de rotação e as coordenadas do satélite, estão no sistema fixo à Terra, são calculadas para o instante de transmissão do sinal, é necessário fazer uma

correção do movimento de rotação nas coordenadas do satélite, já que durante a propagação do sinal o sistema de coordenadas terrestre rotacionou em relação ao satélite. As coordenadas originais do satélite devem rotacionar em torno do eixo Z num ângulo α (em radianos) que é definido como o produto do tempo de propagação τ pela velocidade de rotação da Terra ω_e (MONICO, 2000; SEEGER, 1993):

$$\alpha = \omega_e \tau \quad (06)$$

A relação entre as coordenadas originais do satélite (X',Y',ZT) e as corrigidas (X, Y, Z) da rotação da Terra é obtida por:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \alpha & 0 \\ -\alpha & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} \quad (07)$$

4.4.3 Erros relativos ao receptor ou à antena

a) Erro do Relógio do receptor

Os receptores GPS são providos de relógios de quartzo, inferiores aos dos satélites, mas de boa qualidade. 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, 2000).

b) Erro entre os canais

Os receptores geodésicos geralmente possuem canais múltiplos, destinados a receber, simultaneamente, sinais de vários satélites. O caminho percorrido por cada sinal, dentro do

receptor, é diferente para cada canal. Para corrigir o erro resultante deste fato, os fabricantes incluem no receptor um dispositivo que realiza uma calibração no início de cada levantamento, fazendo com que cada canal, ao rastrear um satélite particular, determine o erro com relação a um canal padrão. As medidas subsequentes serão corrigidas desse efeito (MONICO, 2000).

c) Centro de fase da antena

Normalmente, o centro geométrico da antena não coincide com centro eletrônico, chamado centro de fase, onde chegam os sinais GPS. Nem tampouco o centro de fase é um lugar único e bem definido, ao contrário, ele depende da direção em que a antena recebe o sinal. A discrepância, que varia de acordo com a intensidade e a direção dos sinais, é diferente para L1 e L2.

A influência do deslocamento do centro de fase da antena reflete diretamente sobre as coordenadas da estação, principalmente sobre a componente altimétrica, que pode chegar a 10 cm (MADER, 2001). A correção desse erro é um importante ponto a considerar em trabalhos de alta precisão. Para tanto, existem parâmetros de calibração para quase todos os tipos de antenas geodésicas. A calibração é feita tomando-se como referência a antena Dorne Margolin, e tem sido realizada pelo NGS (National Geodetic Survey) e os valores da calibração podem ser obtidos pela *internet* (<http://www.gdrl.noaa.gov/GDR/Proiects/ANTCAL>).

Como ponto de referência na calibração, utiliza-se o ARP (Antenna Reference Point), que é o ponto da antena com referência ao qual são realizadas as medidas de altura da antena. São determinadas as variações do centro de fase da antena para cada frequência, inclusive para o centro de fase "virtual" da L₀, com relação ao ângulo de elevação, e o deslocamento do centro médio de fase com relação ao ARP, dado em Δe , Δn , e Δu {up}.

As correções em função do ângulo de elevação são aplicadas em cada época do processamento. Os deslocamentos com relação ao ARP são aplicados tanto nas coordenadas iniciais das estações conhecidas, passando as coordenadas fiduciais para o

centro de fase da antena, quanto nas coordenadas finais estimadas, levando-as do centro de fase para o ponto materializado da estação (MONICO, 2000).

4.4.4 Erros relativos à estação

Além dos erros nas coordenadas da estação, outras variações resultantes de fenômenos geofísicos podem afetar as coordenadas das estações durante o período de coleta das observações. Dessa forma, marés terrestres, cargas dos oceanos e cargas atmosféricas não são exatamente erros, mas fenômenos a serem considerados durante o processamento.

a) Coordenadas da estação

Em posicionamento relativo, a determinação das coordenadas das estações incógnitas é dada em termos de diferenças de coordenadas cartesianas (ΔX , ΔY , ΔZ), somada às coordenadas da base, conhecidas *a priori*, geralmente ϕ , λ e H . Um erro nas coordenadas de partida será propagado para as estações incógnitas, que sofrerão uma rotação, uma translação e um fator de escala diferente para cada ponto. Um erro de 5 m na estação base pode provocar erros da ordem de 1,0, 0,9 e 0,8 ppm sobre as diferenças das coordenadas geodésicas $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$, e ΔH (BREACH, 1990).

No Brasil, os parâmetros de transformação entre o WGS 84 e o SAD 69 foram estimados apenas para o vértice Chuá, e são aplicados para todo o Brasil. Como a precisão horizontal do SGB é da ordem de 10 ppm, quanto mais longe de Chuá, maior a deterioração da acurácia dos vértices. Para reduzir esse problema, deve-se utilizar vértices de redes implantadas com GPS (MONICO, 2000).

b) Marés terrestres

Marés terrestres é a denominação dada à deformação da Terra em razão da força de atração gravitacional exercida pelo Sol e pela Lua. Próximo ao Equador, o

deslocamento pode chegar a 40 cm em 6 horas. É provável que o efeito das marés terrestres seja o mesmo para estações próximas, cancelando-se. Para linhas de base longas, esse efeito deve ser tratado (MONICO, 2000). As efemérides do Sol e da Lua são introduzidas no processamento, permitindo o modelamento desse fenômeno.

c) Movimento do Pólo

A variação das coordenadas das estações causada pelo movimento do Pólo pode atingir até 25 mm na componente radial e não se cancela com o aumento da duração da sessão. No posicionamento relativo essa variação é praticamente cancelada (MONICO, 2000).

d) Carga dos Oceanos

Esse efeito é decorrente da deformação da crosta terrestre, causada pela mudança periódica na distribuição da massa d'água devida à atração gravitacional do Sol, da Lua e, em menor escala, dos planetas. Os efeitos de cargas oceânicas são restritos a regiões costeiras, onde existem marés em larga escala (STEWART, 2002).

A aplicação desses efeitos para o Brasil depende do desenvolvimento de modelos regionais.

e) Carga atmosférica

A variação da distribuição de pressão atmosférica causa deformações cruciais que incidem principalmente sobre a componente vertical. A influencia desse fenômeno varia de acordo com a localização da estação e o estado da atmosfera, podendo alcançar 10 mm. Os efeitos das cargas atmosféricas sobre a posição da estação são significantes apenas em levantamentos de alta precisão, sobre linhas de base com centenas de quilômetros.

4.5 Modelos Matemáticos

4.5.1 Combinações Lineares entre Freqüências

No item 4.4 deste capítulo pôde-se perceber que alguns erros no posicionamento por GPS podem ser minimizados, eliminados ou detectados através de combinações lineares das observáveis entre as duas freqüências disponíveis, L1 e L2. Tais combinações podem ser tratadas como uma nova observável. Existem várias combinações possíveis, tanto entre freqüências, quanto entre observáveis (pseudodistância e fase da portadora) (MONICO, 2000; SEEBER, 1993), entretanto, serão citadas aqui apenas as combinações de interesse para o desenvolvimento do trabalho.

4.5.1.1 Observável Livre dos Efeitos da Ionosfera (Iono Free)

Conforme já mencionado no item 4.4.2.b, a combinação linear Lo, também chamada de *Iono Free*, permite a eliminação dos efeitos da ionosfera sobre o sinal GPS. A Lo pode ser expressa por (LEICK, 1990):

$$\phi(L_o) = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \phi(L_1) - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \phi(L_2) \quad (08)$$

Re-escrevendo a equação acima de forma aproximada, pode-se expressar a Lo:

$$Lo \cong 2,5 L_1 - 1,5 L_2$$

A Lo tem comprimento de onda de aproximadamente 19 cm, e desvio-padrão da ordem de 9 mm, uma vez que a L_1 tem desvio-padrão de 3 mm e a L_2 , 3,9 cm, aproximadamente.

4.5.1.2 Observável de Banda Larga (*Wide Lane*)

A combinação linear *Wide Lane*, ou L_{Δ} , que, em conjunto com a L_0 , permite a detecção de perdas de ciclos e erros grosseiros (*outliers*). A L_{Δ} também é importante na resolução da ambigüidade, devido ao seu comprimento de onda maior. A L_{Δ} pode ser expressa por:

$$\phi(L_{\Delta}) = \phi(L_1) - \phi(L_2) \quad (09)$$

A L_{Δ} tem comprimento de onda de 86,2 cm e desvio-padrão da ordem de 19,4 mm.

4.5.2 Diferenciação das observáveis entre diferentes estações

Além das combinações entre frequências e entre observáveis numa mesma estação, as combinações entre diferentes estações, satélites e épocas, permitem a eliminação de vários parâmetros incógnitos e erros das observáveis. No posicionamento relativo ou diferencial, onde dois ou mais receptores estão envolvidos, pode-se aplicar a simples, dupla ou tripla diferença das observáveis. Neste tópico será apresentada a diferenciação das observáveis para a fase da onda portadora, embora o mesmo princípio possa ser aplicado para a pseudodistância.

4.5.2.1 Simples Diferença

Assumindo-se que duas estações rastreiam o mesmo satélite simultaneamente, aplica-se a simples diferença das observações de uma mesma época à equação (02). A Figura 15 ilustra a situação descrita para aplicação da simples diferença.

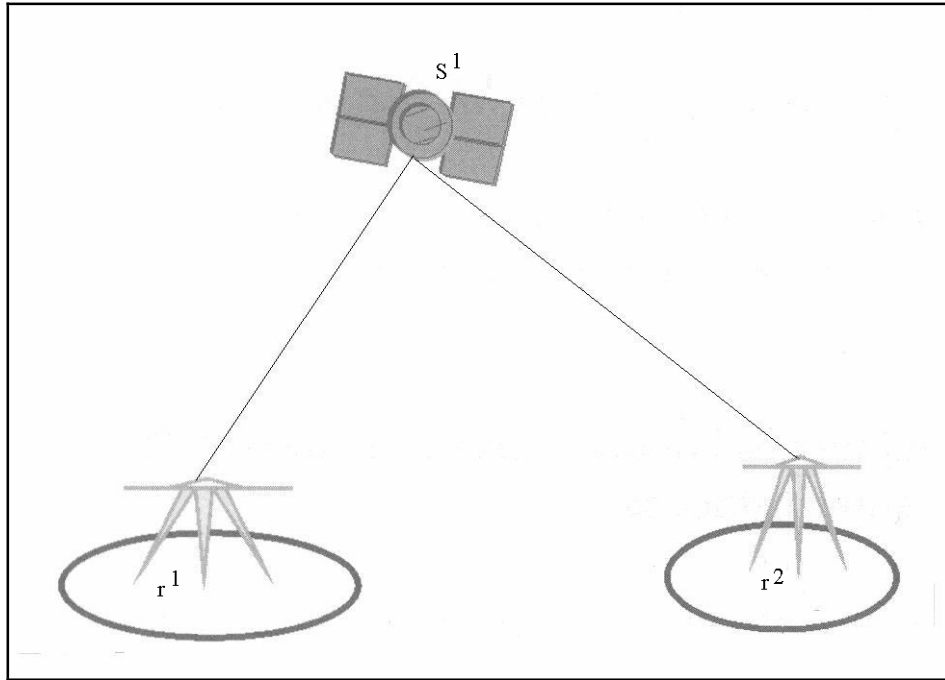


Figura 15 Esquema ilustrativo das simples diferença das observáveis GPS.

Considerando tratar-se de uma linha de base curta (até 20 km), os efeitos da refração troposférica e da refração ionosférica sobre os sinais são considerados iguais, anulando-se; em linhas de base mais longas, os efeitos troposféricos são modelados e os efeitos ionosféricos são reduzidos com a L_o , conforme já citado. Anula-se também o erro do relógio do satélite, que independe da extensão da linha de base, e a frequência inicial da fase no satélite ($\varphi_t^s(t_o)$). A simples diferença pode, então ser expressa como (MONICO, 2000):

$$\varphi_{1,2}^1 = \varphi_1^1 - \varphi_2^1 \quad (10)$$

$$\varphi_{1,2}^1(t) + \varepsilon_{SD} = \frac{f}{c}(\Delta\rho_{1,2}^1) + f(dt_1 - dt_2) + \varphi_{1,2}(t_o) + N_{1,2}^1 \quad (11)$$

onde:

$$\Delta\rho_{1,2}^1 = \rho_1^1 - \rho_2^1 \quad (12)$$

$$\varphi_{1,2}(t_o) = \varphi_1(t_o) - \varphi_2(t_o) \quad (13)$$

$$N_{1,2}^1 = N_1^1 + N_2^1 \quad (14)$$

Os erros não modelados ou não totalmente eliminados estão contidos no resíduo ε_{SD}

4.5.2.2 Dupla Diferença

Quando duas estações observam simultaneamente mais de um satélite, pode-se aplicar a dupla diferença, que é a diferença de duas simples diferenças. Essa situação pode ser verificada na Figura 16. Se r receptores observam s satélites por t épocas, há no máximo, $r \times s \times t$ observações de fase da portadora possíveis, e $(r - 1)(s - 1)(t)$ duplas diferenças independentes podem ser calculadas para a rede.

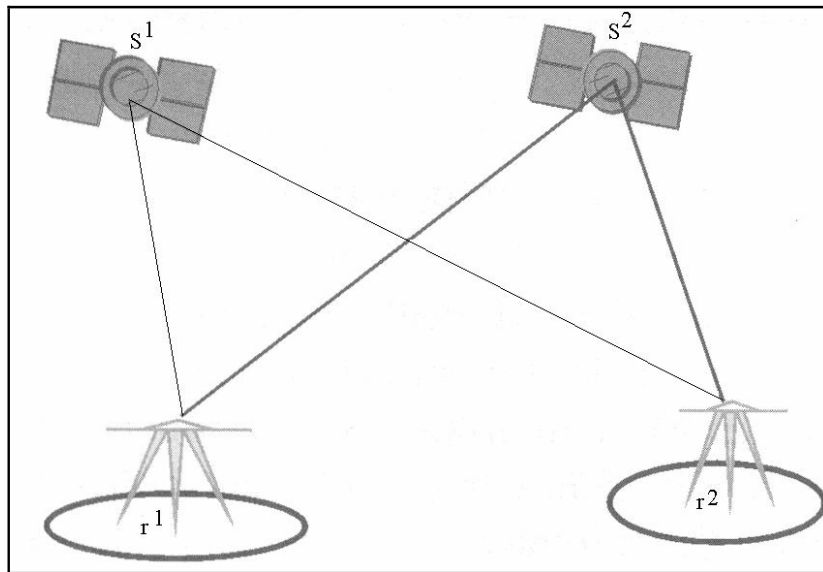


Figura 16 Esquema ilustrativo da dupla diferença das observáveis GPS

Nas equações de duplas diferenças, além dos parâmetros já eliminados nas simples diferenças, elimina-se também o erro do relógio dos receptores e a frequência inicial da fase nos receptores, restando como incógnitas as coordenadas das estações (X, Y, Z para cada estações), e as $(s - 1)(r - 1)$ ambigüidade. Assim, a dupla diferença pode ser expressa por:

$$\varphi_{1,2}^{1,2}(t) = \varphi_1^1(t) - \varphi_2^1(t) - (\varphi_1^2(t) - \varphi_2^2(t)) \quad (15)$$

$$\varphi_{1,2}^{1,2}(t) + \varepsilon_{DD} = \frac{f}{c}(\Delta\rho_{1,2}^{1,2}) + N_{1,2}^{1,2} \quad (16)$$

onde: $N_{1,2}^{1,2}$ é a ambigüidade da dupla diferença:

$$N_{1,2}^{1,2} = N_1^1 - N_1^2 - N_2^1 + N_2^2 \quad (17)$$

$$\Delta\rho_{1,2}^{1,2} = \Delta\rho_{1,2}^1 - \Delta\rho_{1,2}^2 \quad (18)$$

4.5.2.3 Tripla Diferença

Os receptores e satélites, para os quais se efetuou uma dupla diferença na época t_1 , quando diferenciados novamente na época t_2 , dão origem à tripla diferença, conforme ilustrado na Figura 17. Neste processo, a ambigüidade da dupla diferença se anula, visto que é a mesma nas duas épocas, restando como incógnitas apenas as coordenadas das estações. A equação para a tripla diferença é expressa por:

$$\varphi_{1,2}^{1,2}(t_1, t_2) + \varepsilon_{TD} = \varphi_{1,2}^{1,2}(t_1) - \varphi_{1,2}^{1,2}(t_2) \quad (19)$$

A dimensão da matriz dos coeficientes para a tripla diferença é $(r-1)(s-1) \times (rst)$.

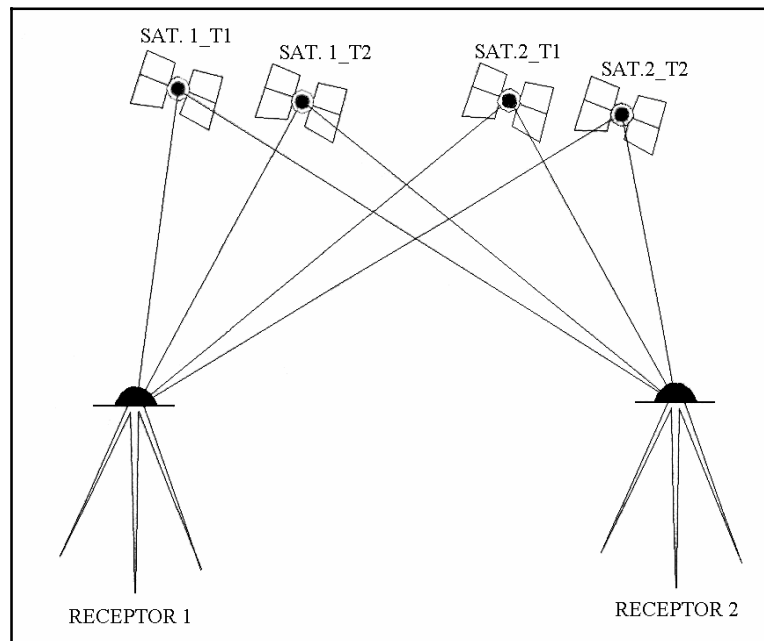


Figura 17 Esquema ilustrativo das triplas diferenças das observáveis GPS

A observável resultante da tripla diferença, apesar de reduzir o número de incógnitas no processamento, quase não é utilizada nesta fase, por aumentar o ruído, devido à correlação temporal entre as combinações de épocas distintas. Entretanto, como é sensível à perda de ciclos, é bastante utilizada no pré-processamento, na detecção das perdas de ciclo.

4.5.3 Modelo Estocástico

As observáveis originais GPS são consideradas não correlacionadas no tempo e no espaço. Entretanto, ao efetuar a diferenciação, as observáveis passam a ter correlação, que deve ser considerada no ajustamento.

As n observações da fase (não diferenciadas), coletadas a partir de n satélites, na época t_i , em duas estações, podem ser expressas por (MONICO, 2000):

$$\varphi_i^t = [\phi_1^1 \phi_1^2 \dots \phi_1^n \phi_2^1 \phi_2^2 \dots \phi_2^n] \quad (20)$$

e tem sua MVC dada por:

$$\sum \varphi_i = \sigma^2 I \quad (21)$$

onde: I é a matriz identidade de ordem $2n$ e σ^2 é a variância da observável pura (não diferenciada).

Para as simples diferenças, a MVC associada pode ser escrita como:

$$\sum_{SD} = 2\sigma^2 I \quad (22)$$

As duplas diferenças podem ser realizadas no modo seqüencial ou elegendo um satélite base. Aplicando a lei de propagação das covariâncias, obtém-se a MVC para duplas diferenças:

$$\sum_{DD} = C \sum_{SD} \quad (23)$$

Onde: C , para o método de diferenciação seqüencial pode ser expressa como:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & & & & & \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

e para o método de diferenciação por satélite de referência, a matriz C é dada por:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & & & & & \\ 1 & \dots & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

A MVC para duplas diferenças no modo seqüencial é expressa como (MONICO, 2000):

$$\Sigma_{DD_i} = 2\sigma^2 \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & & & & & & \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & -1 & 2 \end{bmatrix}$$

No caso de duplas diferenças, usando um satélite base, e supondo que esse seja o satélite 1, a MVC é dada por:

$$\Sigma_{DD_i} = 2\sigma^2 \begin{bmatrix} 2 & 1 & \dots & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & & & & \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (27)$$

As duplas diferenças são não correlacionadas entre épocas, de forma que a MVC das duplas diferenças para k épocas é composta por blocos diagonais como os da equação (27).

A MVC para tripla diferença, obtida das duplas diferenças para as k épocas, pode ser escrita como (MONICO, 1995):

$$\Sigma_{TD} = \begin{bmatrix} 2\Sigma_{DD_1} & -\Sigma_{DD_{1,2}} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -\Sigma_{DD_{2,1}} & 2\Sigma_{DD_2} & -\Sigma_{DD_{3,2}} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & & & & & \\ 0 & 0 & \dots & -\Sigma_{DD_{k-1,k-2}} & 2\Sigma_{DD_{k-1}} & -\Sigma_{DD_{k-1,k}} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -\Sigma_{DD_{k,k-1}} & 2\Sigma_{DD_k} \end{bmatrix} \quad (28)$$

As matrizes de dispersão apresentadas acima referem-se ao processamento de dados em que apenas dois receptores estão envolvidos. Contudo, quando se trata de redes geodésicas, onde m receptores observam simultaneamente n satélites, a correlação entre as observáveis diferenciadas nem sempre é considerada em *softwares* comerciais. Isso faz com que os resultados obtidos de levantamentos GPS apresentem dispersão formal bem menor que a sua dispersão real. Embora os *softwares* científicos requeiram conhecimentos específicos do sistema GPS bastante aprofundados, tendem a apresentar uma solução mais realística.

No caso de redes geodésicas com m estações rastreando simultaneamente, o número total de linhas de base possíveis é $(m-1)*m/2$, das quais apenas $(m-1)$ são independentes. Se n satélites estão rastreados em cada estação, um total de $(n-1)*(m-1)$ duplas diferenças podem ser formadas. Para considerar a correlação entre todas as linhas de base, define-se a matriz $\Lambda_{(m-1)m}$. Para uma rede, definida pelas linhas de base 1-2; 2-3; 3-4; ...; $(m-1)-m$, a matriz Λ é expressa como (MONICO, 1995):

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & \dots & 0 \\ \dots & & & & & \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (29)$$

Para uma rede GPS, a MVC das duplas diferenças na época i é dada por:

$$\sum_{DD} = \sigma^2 [\Lambda \Lambda^T] \otimes [CC^T] \quad (30)$$

onde: $\otimes$ representa o produto de Kronecker.

Da equação (30), pode-se escrever o produto $\Lambda \Lambda^T$ como segue:

$$\Lambda\Lambda^T = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 2 & -1 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & 2 & \dots & 0 \\ \dots & & & & \\ 0 & \dots & 0 & -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (31)$$

4.6 Otimização, Ajustamento e Integração de Redes Geodésicas

4.6.1 Redes Geodésicas GPS

As redes geodésicas consistem na realização do referencial geodésico de uma região, cujos pontos materializados guardam entre si alguma relação de precisão e apresentam alta confiabilidade.

No processamento das observações GPS são fornecidas coordenadas de cada vértice, ou diferenças de coordenadas, se nenhum vértice for fixado, e respectivas precisões. Internamente, no programa de processamento, as observações, que são redundantes, sofrem um ajustamento. Na determinação de um vértice por transporte simples de coordenadas com GPS, o procedimento termina neste ponto.

O resultado desse processamento pode estar referenciado ao WGS 84, se forem utilizadas efemérides transmitidas, ou ao ITRF, no caso de efemérides precisas, ou a qualquer outro referencial, se for fixado um vértice durante o processamento.

Quando se trata de uma rede, cada vértice tem suas coordenadas, ou diferenças de coordenadas, determinadas em pelo menos duas sessões independentes. Assim, com a redundância de resultados para um mesmo vértice, as coordenadas, ou diferenças de coordenadas, fornecidas por cada sessão de rastreo passam a ser consideradas observações, e a MVC dessas observações é formada por submatrizes de covariância de cada sessão de observação.

O ajustamento dessas novas observações é realizado, normalmente pelos mínimos quadrados. Nesse ajustamento é determinado o referencial da rede, através da fixação (ou não) de injunções.

Todas as observações feitas simultaneamente durante uma cobertura de satélites no curso de um projeto GPS são chamadas *sessão*. Uma rede geodésica é o conjunto de estações que foram ocupadas em diferentes sessões, que tem entre si pelo menos uma estação comum.

Num ajustamento de rede faz-se uma combinação de soluções de várias sessões numa solução rigorosa de toda a rede.

Num ajustamento multi-estação, todos os dados que foram observados simultaneamente, com três ou mais receptores, são processados juntos. Portanto, trata-se de ajustamento rigoroso das observações, usando todas as relações estocásticas mútuas. Para propósitos geodésicos é preferível o ajustamento multi-estação, pois a acurada potencial do GPS é completamente explorada e a confiabilidade dos resultados é maior (SEEBER, 1993).

Se as observações provém de uma única sessão, diz-se de uma *solução de sessão*. Várias soluções de sessão podem ser combinadas num ajustamento multi-sessão, ou, mais precisamente, numa solução multi-sessão-muti-estação (SEEBER, 1993). Este é o procedimento usual, quando redes maiores têm de ser quebradas em partes devido ao número limitado de receptores GPS disponíveis. A condição básica é que cada sessão seja conectada a pelo menos uma outra sessão da rede através de uma ou mais estações idênticas, onde as observações foram realizadas em ambas as sessões. Um número maior de estações idênticas aumenta a estabilidade e a confiabilidade da rede.

Um resultado ótimo para a campanha da rede, em termos de acurácia, confiabilidade e economia é alcançado através de um planejamento criterioso. O próximo item aborda alguns aspectos da teoria de otimização de redes geodésicas aplicada a redes GPS.

4.6.2 Otimização de Redes Geodésicas GPS

Segundo Marini (2002) o assunto "otimização de redes geodésicas" para métodos clássicos de levantamento (poligonação eletrônica, triangulação, trilateração e redes de nivelamento geométrico) tem sido largamente estudado e vários métodos de procedimentos têm sido propostos (GRAFAREND, 1974; VANÍCEK e KRAKIWSKY,

1982; MÜLLER, 1984; SCHMITT 1985). No entanto, a bibliografia a respeito de otimização de redes GPS não é tão vasta quanto para os métodos clássicos. A aplicação dos conceitos de otimização de redes geodésicas, como vistos acima, em trabalhos realizados com GPS, tem sido discutida nos seus vários aspectos por Snay (1986), Dominici et al (1995), Kuang (1991, 1996) e Even-Tzur e Papo (1996).

O termo otimização (ou pré-análise) de redes geodésicas envolve estudos de procedimentos adotados na etapa de planejamento com a finalidade de alcançar a precisão requerida para o projeto com a maior confiabilidade possível, com o mínimo esforço e o menor custo. Schaffrin (1985) representa essa idéia com a seguinte expressão:

$$(Precisão) + (Confiabilidade) + (Custos)^{-1} = \text{máximo}$$

O termo "precisão" poderia ser substituído por "acurácia", uma vez que se busca determinar a exata posição do vértice.

Isto significa dizer que uma rede deve ser planejada de modo que a acurácia estipulada para os elementos da rede possa ser alcançada que, seja tão sensível aos testes estatísticos de modo a permitir a detecção de erros grosseiros nas medidas tão pequenos quanto possível e, finalmente, que a materialização dos pontos e as medidas observadas satisfaçam ao critério de custo mínimo (KUANG, 1996).

Para realizar um procedimento de otimização de redes GPS, deve-se considerar na matriz *design* não só a distribuição dos pontos terrestres, mas também a configuração dos satélites a serem rastreados.

Lembrando a classificação dos problemas da otimização (GRAFAREND, 1974), pode-se considerar, sob esse aspecto:

1. No problema de Ordem Zero (definição do referencial) em redes GPS, o sistema de referência é solucionado pelas efemérides dos satélites, que definem um referencial geocêntrico, ou pelos vértices fiduciais da rede;
2. No problema de Primeira Ordem (busca a melhor geometria para a rede), a determinação da geometria da rede deve considerar que a geometria das estações terrestres e a geometria dos satélites observados resultem numa geometria ótima, que compreenda a rede toda. Deve também garantir o princípio básico do ajustamento, ou

seja, que o número de observações seja maior que número de incógnitas, e quanto maior a redundância das observações maior a confiabilidade. Aspectos logísticos também devem ser considerados;

3. Problema de Segunda Ordem, procura-se a melhor distribuição dos pesos das observações. No caso de redes GPS o problema vai mais além. No que se refere às observações, a precisão das distâncias observadas é crucial para alcançar a precisão final dos vértices. Como a redundância das observações é grande, os erros aleatórios têm um efeito pequeno sobre as observações GPS, entretanto, o controle e detecção de erros sistemáticos como resolução da ambiguidade, erros do relógio, ionosfera, troposfera, é imprescindível para atingir a precisão desejada na rede. Assim, o Problema de Segunda Ordem para redes GPS trata, principalmente, do modelamento dos erros (*bias*) nas observações, a saber, o modelamento dos efeitos dos erros orbitais, do comportamento dos relógios, das influências atmosféricas sobre a propagação do sinal GPS, etc. Conforme visto no item 4.4, isso pode ser feito através de medidas como:

- Seleção da observável (pseudodistância, fase da portadora ou combinações lineares);
- período de tempo de rastreo (quanto maior o tempo de rastreo, mais acurados os vetores resultantes);
- seleção da máscara de elevação, para reduzir o efeito da troposfera;
- seleção do horário do início do rastreo, de forma a aproveitar as melhores janelas onde a atividade ionosférica é menor;
- e orientação das antenas para o Norte, para possibilitar a correção do centro de fase da antena e parâmetros de calibração.

Em resumo, planejar uma campanha para realização de uma rede GPS sob o ponto de vista do SOD significa desenhar a melhor geometria que considere as estações em terra e os satélites, além dos equipamentos e modelamento dos erros de forma a obter uma precisão ótima, maximizando as chances de detecção de erros (alta contabilidade interna) e minimizando os efeitos desses erros sobre as coordenadas (alta confiabilidade externa), tudo isso com custo mínimo.

Na bibliografia consultada não se encontram pesquisas desenvolvidas no sentido de selecionar a melhor geometria dos satélites conjuntamente com as estações terrestres. A utilização do fator DOP convencional na especificação da geometria não

parece ser o melhor parâmetro, visto que esse fator foi desenvolvido para propósitos de navegação, usando a pseudodistância.

Devido a questões de logística, como número e tipo de equipamentos disponíveis, distância entre as estações, restrição de horário de rastreo ao expediente normal de trabalho, etc, muitas vezes tem-se que adequar o *design* ideal ao *design* possível para atingir a acurada e confiabilidade desejadas. Diante dessa situação, resta ao planejador decidir com uma certa liberdade sobre o número das linhas de base quase-independentes¹ e a ordem de rastreo das mesmas. Uma configuração de linhas de base escolhidas de forma adequada pode resultar em ganho de precisão e confiabilidade e grande economia no campo. Sobre esse aspecto, Snay (1986) fez um estudo de estratégias de rastreo para redes com 3 e 4 receptores e propôs uma metodologia que garanta a redundância de ocupação a baixo custo.

A respeito do comprometimento da posição relativa das estações terrestres na precisão final da rede, Even-Tzur e Papo (1996) publicaram um estudo, que compara a matriz *design* de uma rede GPS à matriz *design* gerada por uma rede de nivelamento. Segundo seus estudos, assim como numa rede de nivelamento, a posição relativa dos vértices da rede GPS, ou seja, a geometria do polígono por eles formado, não interfere na sua precisão final, mas sim o comprimento das linhas de base, que deve ser o menor e mais homogêneo possível.

Cabe ressaltar a contribuição das redes ativas na otimização de redes GPS. As redes ativas devem ser contadas no planejamento da rede como receptores adicionais, que aumentam a confiabilidade, por aumentarem a redundância das observações, e minimizam custos, se forem considerados como receptores adicionais na campanha. Como exemplos de redes ativas tem-se a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) (FORTES, 1997), que integra o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e as estações ativas de empresas particulares, que em geral possuem frequência única. Como exemplo de estações ativas particulares pode-se citar as CBS (Continuous Base Station) da Santiago&Cintra e SightGPS. O Instituto Nacional de Reforma Agrária (INCRA) também conta com uma rede ativa de frequência única para o desenvolvimento dos seus trabalhos.

¹ Entende-se como linhas de base quase-independentes aquelas que ligam duas ou mais sessões.

4.6.3 Ajustamento de Observações GPS

Conforme visto no item 4.4, as observações GPS, como toda observação, contêm erros. Quando há superabundância de observações, o que é uma característica marcante do GPS, é necessário ajustá-las para se obter uma estimativa confiável dos parâmetros incógnitos. Tal estimativa é geralmente baseada no Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Para o ajustamento das observações aqui apresentado, considera-se que a posição dos satélites é conhecida por meio das efemérides transmitidas ou precisas, restringindo, assim, o número de parâmetros incógnitos.

O MMQ permite o ajustamento das observações através das equações de observação (método paramétrico), das equações de condição (método dos correlatos), ou através do método combinado (GEMAEL, 1994).

No método paramétrico, as observações são função dos parâmetros:

$$L_a = F(X_a) \quad (32)$$

Onde: L_a é o vetor das observações ajustadas e

X_a é o vetor dos parâmetros ajustados.

Um modelo matemático inconsistente, torna-se consistente pela introdução do vetor dos resíduos:

$$V = AX - L_b \quad \text{com } m > n \quad (33)$$

Onde: m é o número de equações;

n é o número de incógnitas, igual ao posto (rank) de A ;

L_b é o vetor ($m \times 1$) dos valores das observações;

X é o vetor ($n \times 1$) dos parâmetros incógnitos;

A é uma matriz ($m \times n$) de escalares conhecidos, ou matriz design;

V é o vetor ($m \times 1$) dos resíduos.

O MMQ tem como princípio minimizar os resíduos:

$$\Phi = V^T P V = \text{mínimo}$$

Das equações normais, obtidas através do multiplicador de Lagrange (Φ) que minimiza os resíduos (GEMAEL, 1994), tem-se:

$$X = N^{-1}U \quad (34)$$

onde:

$$N = A^T P A \quad (35)$$

$$U = A^T P L_b \quad (36)$$

$$P = \sigma_0^2 (\sum L_b)^{-1} \quad (37)$$

sendo: P a matriz peso;

σ_0^2 é o fator de variância a priori e

$\sum L_b$ a matriz das incertezas das observações.

O vetor das observações ajustadas e dos resíduos pode ser escrito como:

$$L_a = AX \quad (38)$$

$$V = AX - L_b \quad (39)$$

Aplicando a lei de propagação das covariâncias às equações (34), (38) e (39), obtêm-se as seguintes expressões:

$$\sum x = \bar{\sigma}_0^{-2} (A^T P A) \quad (40)$$

$$\sum L_a = A \sum x A^T \quad (41)$$

$$\sum v = \sum L_b + \sum L_a \quad (42)$$

onde: $\sum x$ é a MVC dos parâmetros ajustados, de ordem (nxn);

$\sum L_a$ é a MVC das observações ajustadas, de ordem (mxm);

$\sum v$ é a MVC dos resíduos ajustados, de ordem (mxm);

$\bar{\sigma}_0^{-2}$ é o fator de variância a posteriori, que permite efetuar uma análise da qualidade global do ajustamento.

As equações apresentadas acima tratam da forma simultânea de estimativa, ou em lote. Outra forma de solucionar o ajustamento pelo método das equações de observação é através da estimativa recursiva (MONICO, 2000).

Para modelos não lineares, a linearização é feita por meio da série de Taylor, sendo que a matriz A passa a ser obtida das derivadas parciais das funções não lineares. Valores aproximados (L_0) têm que ser impostos as observações para o cálculo de parâmetros também aproximados (X_0) que serão estimados (X_a) através de iterações:

$$L_0 = F(X_0) \quad (43)$$

$$A \frac{\partial F}{\partial X_0}$$

$$L = L_0 - L_b \quad (44)$$

$$X_a = X_0 + X \quad (45)$$

onde: L é o vetor das diferenças entre os valores aproximados das observações e os valores observados de fato, tomando o lugar de L_b na equação (36) e

X passa a ser o vetor de correção aos parâmetros aproximados.

A primeira solução do modelo linearizado melhora os valores iniciais dos parâmetros, de forma que na próxima iteração $X_0^i = X_a^{i-1}$. O processo iterativo para quando as diferenças entre os valores encontrados entre soluções sucessivas estiverem dentro de um limite de tolerância aceitável.

4.6.4 Validação do ajustamento e detecção de erros grosseiros

O resultado do ajustamento deve validar a suposição inicial, de que os erros sistemáticos e grosseiros das observações foram devidamente eliminados ou modelados. Para tanto, aplica-se um teste estatístico, a um nível de significância α , onde a hipótese nula supõe as observações com distribuição normal, média AX e variância $\sum L$. A hipótese alternativa supõe a presença de erros, expressos através de um desvio da média. Expressando essa idéia matematicamente (MONICO, 2000; TEUNISSEN, 1998):

$$H_0 : L \sim N(AX, \sum_L) \quad (46)$$

$$H_a : L \sim N(AX + CV, \sum_L) \quad (47)$$

onde: C é uma matriz ($m \times q$) conhecida e

∇ é um vetor ($q \times 1$) incógnito, e q pode variar de 1 até $m-n$.

Para validação do ajustamento, o processo DIA (Detecção, Identificação e Adaptação) deve ser iniciado em três passos (TEUNISSEN, 1998):

- a) Detecção: realiza-se um teste global no modelo para diagnosticar a ocorrência de algum erro não especificado;
- b) Identificação: após detectar a presença de um erro, é necessário identificar a sua fonte;
- c) Adaptação: identificada a fonte do erro, a adaptação da hipótese nula elimina a presença de erros na solução.

a) Detecção

O teste global do ajustamento é o primeiro teste para verificar a validade dos resultados obtidos no ajustamento, com a vantagem de não ser necessário especificar a matriz C . O teste global, também conhecido por teste χ^2 (Qui-Quadrado), analisa o valor do fator de variância *a posteriori*, σ_0^{-2} , que é dada por:

$$\sigma_0^{-2} = \frac{V^T P V}{m - n} \quad (48)$$

O ajustamento é rejeitado se $\sigma_0^{-2} > \chi_{q,a}^2 / q$, onde $q=m-n$, e a é o nível de significância do teste estatístico, que devido à forma quadrática de σ_0^{-2} assume a distribuição χ^2 . O nível de significância a do teste indica a probabilidade de cometer um erro do Tipo I, ou seja, rejeitar a hipótese nula, sendo que ela é verdadeira.

No caso de H_0 ser rejeitada, o modelo matemático não está especificado adequadamente, ou as observações contêm erros sistemáticos, ou não estão devidamente ponderadas, ou contêm erros grosseiros. Considerando que o modelo matemático foi minuciosamente analisado e considerado adequado, e que as observações estão isentas de

erros sistemáticos, o que se tem a fazer é a verificação da presença de erros grosseiros nas observações, bem como analisar a ponderação das precisões a elas atribuídas.

b) Identificação

O teste global χ^2 aplicado acima pode indicar problemas no ajustamento, sem contudo localiza-los. A identificação dos erros é feita através especificação, na matriz C , do tipo de erro provável. No caso em que $q=1$, a matriz a ser um vetor ($n \times 1$) que é dado por:

$$C_i = (0, \dots, 1, 0, \dots, 0)^T \quad (49)$$

A hipótese nula H_0 é testada contra a hipótese alternativa H_a através da seguinte expressão:

$$w_i = \frac{C_i^T P V}{\sqrt{C_i^T P \sum_v P C_i}} \quad (50)$$

Este teste estatístico tem distribuição normal $N(0,1)$ em H_0 . O nível de significância α usado no teste global, ideal para $q=m-n$ graus de liberdade, deve ser readequado ao número de erros ($1 \leq q < m - n$) que se pretende localizar (α_s); nesse caso, com $q=1$, o nível de significância do teste unidimensional passa a ser:

$$\alpha_0 = 1 - (1 - \alpha)^{1/n} \quad (51)$$

onde: n é o número de observações.

A hipótese nula é aceita se:

$$n_{\alpha_0/2}(0,1) \leq w_i \leq n_{1-\alpha_0/2}(0,1) \quad (52)$$

caso contrário, conclui-se sobre a existência de um erro grosseiro na i -ésima observação. Várias observações podem apresentar resíduo acima do intervalo estabelecido como tolerável. Neste caso, exclui-se a observação que apresenta maior resíduo e refaz-se o teste. Quando o número de observações redundante é muito grande, o teste perde a eficiência; nesse caso, aconselha-se usar um valor padrão para α_0 ($\alpha_0 = 0,001$), que fornece $n=3,29$ (KUANG, 1996).

Esse importante uni-dimensional para detecção de erros grosseiros em aplicações geodésicas é o chamado *data snooping* (TEUNISSEN, 1998).

Sob a suposição de que as observações não são correlacionadas, portanto a matriz peso é diagonal, o modelo do teste *data snooping* reduz a equação (50) a:

$$w_i = \frac{v_i}{\sigma_{v_i}} \quad (53)$$

onde: v_i representa o i -ésimo resíduo e σ_{v_i} representa o desvio-padrão desse resíduo. Apesar de muito explorado na detecção de erros em levantamentos clássicos, nos levantamentos GPS essa simplificação não é adequada, em função da correlação entre as observáveis da dupla e tripla diferenças, conforme mostrado no item 4.5.3, que tornam a matriz peso não diagonal.

c) Adaptação

Ao identificar o erro que, provavelmente, causou a rejeição do ajustamento, é necessário agir para tornar a hipótese nula aceitável. Pode-se eliminar a observação que contém erro, ou substituí-la, ou reformular as hipóteses. Ao eliminar a observação, o número de redundância diminui, e um novo teste global é aplicado, agora com o número reduzido de graus de liberdade. Ao substituí-la, a nova observação também deve ser testada. Já reformular as hipóteses significa substituir a hipótese nula original por uma nova hipótese, que leva em conta o erro identificado. Nesse caso, a hipótese alternativa torna-se a hipótese nula, e o teste global é aplicado novamente (TEUNISSEN, 1998).

Se após a verificação e eliminação de erros grosseiros nas observações, o fator de variância *a posteriori* continua incompatível com o fator de variância *a priori*, e a magnitude dos resíduos é razoavelmente pequena, quando comparada com a precisão atribuída às observações, pode-se supor que a precisão *a priori* dada para as observações não está correta, e que a matriz $\sum_{Lb}$ deve ser reconstruída. Na prática, isso significa escalar $\sum_{Lb}$ pelo fator de variância *a posteriori*, isto é (KUANG, 1996):

$$\sum_{Lb} \tilde{} = \sigma_0^{-2} \sum_{Lb} \quad (54)$$

e repete-se todo o procedimento.

4.6.5 Confiabilidade

A confiabilidade em redes geodésicas refere-se à capacidade da rede de detectar erros nas observações tão pequenos quanto possível, que é chamada confiabilidade interna, e minimizar os efeitos dos erros não detectados nas coordenadas finais da rede, gerando a confiabilidade externa da rede.

A confiabilidade da rede não é função das observações propriamente ditas, mas da precisão com que elas são tomadas, da geometria da rede e da redundância das observações. Logo, uma rede confiável deve ser concebida como tal ainda na fase de planejamento. Alguns pontos devem ser considerados no planejamento da rede para que se tenha confiabilidade interna e externa ao nível desejado (KUANG, 1996):

Os erros grosseiros devem ser detectados e eliminados tão eficientemente quanto possível. Um erro grosseiro não detectado numa observação deve ser pequeno em comparação com o desvio-padrão da observação;

O efeito de um erro não detectado sobre os parâmetros deve ser tão pequeno quanto possível.

Associando ao vetor das observações da rede um vetor r , onde r_i represente o número de redundância da i -ésima observação, tem-se:

$$r = (r_1, r_2, \dots, r_n)^T \quad (55)$$

Quanto maior o número de redundância (r_i), menor é o tamanho do erro grosseiro não-detectável, bem como a influência sobre as coordenadas estimadas. Assim, um critério geral para garantir a confiabilidade interna e externa de uma rede geodésica é que, dentro do panorama geral de custo mínimo, a redundância das observações seja máxima:

$$\|r\| = \text{máximo} \quad (56)$$

onde: $\|\cdot\|$ é a norma do vetor.

Para garantir que a habilidade de detecção de erros seja igual em qualquer parte da rede, é desejável que r_i ($i=1,\dots,n$) tenha um valor aproximadamente constante. Sob esse aspecto, um critério especial de confiabilidade pode ser do tipo:

$$\min (r_i) = \text{máximo} \quad (57)$$

4.6.2.1 Confiabilidade Interna

A confiabilidade é medida por testes estatísticos, feitos com um nível de confiança $(1-\alpha)$ para o teste geral do ajustamento e $(1-\alpha_0)$ para o teste das observações individuais, e poder $(\gamma=1-\beta)$ para o teste geral e $(\gamma_0=1-\beta_0)$ para observações individuais. Enquanto o parâmetro α (ou α_0), chamado de nível de significância, testa a possibilidade de uma observação que não contém erro ser rejeitada (erro tipo I), o parâmetro β testa a possibilidade de uma observação errada ser aceita (erro tipo II), e o poder do teste (γ ou γ_0) é a probabilidade de tomar a decisão correta. Para que o teste conduza a resultados confiáveis, as probabilidades de cometer o erro tipo I ou tipo II devem ser pequenas. Mas ao diminuir β , ocorre um aumento em α , e vice-versa. A Tabela 4 resume as possibilidades para tomada de decisão diante dos testes estatísticos (KUANG, 1996).

Tabela 4 Testes estatísticos da hipótese nula contra a hipótese verdadeira

SITUAÇÃO	DECISÃO	
	ACEITAR H_0	REJEITAR H_0
	PROBABILIDADE	
H_0 é verdadeira	Decisão correta Nível de confiança = $1-\alpha$	Erro tipo I Nível de significância = α
H_0 é falsa (isto é, H_a é verdadeira)	Erro tipo II Probabilidade β	Decisão correta Poder do teste = $1-\beta$

No processamento de dados GPS há três etapas onde se aplicam testes estatísticos para controle de qualidade dos dados (KÖSTERS, 1992):

- Processamento dos dados: Neste estágio são processadas as linhas de base com a finalidade de detectar *outliers*² e perdas de ciclo;
- Ajustamento da rede livre: Neste estágio as observações são informações geométricas (coordenadas ou diferenças de coordenadas e respectiva MVC). Pode-se efetuar testes para a detecção de possíveis erros em uma das observáveis. A hipótese alternativa pode supor um erro na altura da antena, por exemplo;
- Finalmente integra-se a rede livre a uma rede de referência de ordem superior. Os pontos de ligação entre a nova rede e a rede de referência devem ser checados.

Na etapa do processamento, é importante estar seguro de que todas as perdas de ciclo ou *outliers* tenham sido removidas. Vale lembrar que devido à alta redundância das observações GPS, é preferível que algumas observações sem erro sejam eliminadas, a deixar de eliminar perdas de ciclo ou observações com erros nessa fase, pois elas causarão distorções nas coordenadas ou diferenças de coordenadas. Passado este estágio de detecção, torna-se muito difícil aplicar testes para detecção de perdas de ciclo no ajustamento geral da sessão. Isso explica a necessidade de um alto poder do teste estatístico (KÖSTERS, 1992).

Através da Figura 18 ilustra-se a situação descrita para as hipóteses formuladas em 4.6.4 e a relação estatística entre α e β . Por ela pode-se perceber que quando α aumenta, β diminui. O parâmetro de não-centralidade λ relaciona o poder do teste ao seu nível de significância, permitindo um equilíbrio entre α e β .

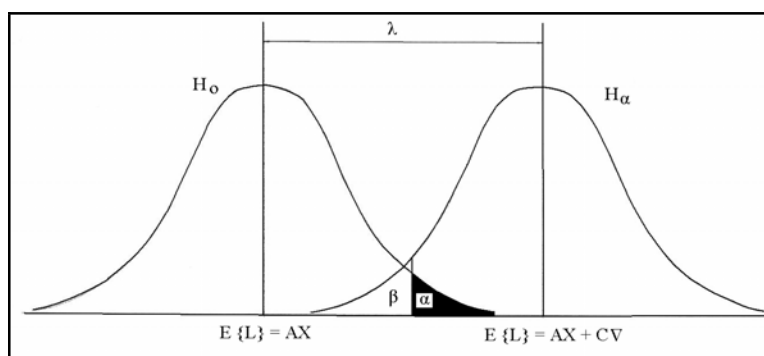


Figura 18 Probabilidades do erro tipo I (α) e do erro tipo II (β)

² *Outliers* é definido como um resíduo que contradiz uma propriedade estatística. Espera-se que *outliers* detectados sejam causados por erros grosseiros nas observações (MONICO, J. F. G. - Notas de aula da disciplina de Ajustamento de Observações, no curso de Engenharia Cartográfica da FCT-UNESP, 1995) Marini (2002).

O parâmetro de não-centralidade é dado por Teunissen (1998):

$$\lambda = \nabla^T C^T \sum_{L_b}^{-1} \sum_v \sum_{L_b}^{-1} C \nabla \quad (58)$$

onde: C e ∇ são os mesmos que foram definidos na equação (47).

A equação (58) mostra que λ depende da precisão das observações (matriz peso), da geometria da rede (matriz design A) e do erro $C \nabla$. Através da alteração da geometria da rede e da escolha dos equipamentos para a coleta dos dados, pode-se melhorar o poder do teste. Entretanto, o desconhecimento do valor de $C \nabla$ impossibilita o cálculo de λ na prática.

Quando se está interessado em saber a dimensão do erro que pode ocorrer a uma determinada probabilidade, pode-se assumir valores de referência, por exemplo, $\gamma = 70\%$, 80% , ou, o valor mais usual, $\gamma = 80\%$, depende do risco que se corre para a probabilidade do erro tipo II. Então, o parâmetro de não-centralidade pode ser expresso como função de três valores: do nível de significância, do poder do teste e do número q de erros (graus de liberdade) que está sendo testado.

$$\lambda = \lambda(a, q, \gamma) \quad (59)$$

Pode-se selecionar diferentes valores para a e y nos testes estatísticos. No entanto, convém garantir que ∇ permaneça constante, bem como λ . Deve haver um modo de evitar que um erro de certo tamanho nas observações sejam considerado inaceitável num determinado estágio do processamento e aceitável no outro estágio. Significa que o mínimo erro detectável (mdb - minimal detectable bias) deve ser igual em todos os testes aplicados a um projeto (KUANG, 1996). Isso é possível porque o mdb (δ_0) é proporcional ao parâmetro de não-centralidade (λ_0), quando este significa o desvio mínimo detectável entre H_0 e H_a . Pode-se relacionar estes dois valores pela seguinte expressão:

$$\delta_0 = \sqrt{\lambda_0} \quad (60)$$

Considerando que um aumento de α provoca uma diminuição de β , recomenda-se que se mantenha o poder do teste constante tanto no teste global quanto no teste

univariado ($\beta = \beta_0$) e se necessário, variar apenas os níveis de significância α e α_0 (KUANG, 1996). Alguns valores típicos para α , γ e λ são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 Potência do teste para diferentes valores de α , q e λ

$\alpha = 0,01$	$q = 1$	$q = 7$	$\alpha = 0,1$	$q = 1$	$q = 7$	$\alpha = 0,05$	$q = 1$	$q = 7$
$\lambda = 1$	0,1227	0,0415	$\lambda = 1$	0,4099	0,2272	$\lambda = 1$	0,2950	0,1378
$\lambda = 4$	0,5997	0,2710	$\lambda = 4$	0,8817	0,6288	$\lambda = 4$	0,8074	0,5017
$\lambda = 9$	0,9522	0,7363	$\lambda = 9$	0,9953	0,9355	$\lambda = 9$	0,9888	0,8874

No caso em que $q=1$, o vetor ∇ se reduz a um escalar (δ). Então, a equação 60 pode ser escrita como:

$$\nabla = \delta = \left[\frac{\lambda_0}{C^T \sum_{L_b}^{-1} \sum_v \sum_{L_b}^{-1} C} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (61)$$

Quando a MVC das observações é diagonal, a equação (61) reduz-se a:

$$\nabla = \delta = \left[\frac{\lambda_0}{1 - \frac{\sigma_{l_i}^2}{\sigma_{l_i}^2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (62)$$

4.6.5.2 Confiabilidade Externa

A confiabilidade interna não é suficiente para garantir confiabilidade externa. Em análise de deformações, por exemplo, as mudanças nos parâmetros entre diferentes épocas indicam deformações existentes, e é particularmente importante que o impacto de um provável erro não detectado sobre os parâmetros seja mínimo (LEICK, 1990). Os parâmetros estimados, na presença de um erro, podem ser apresentados pelo seguinte modelo:

$$X = -N^{-1} A^T P (L - e_i \nabla_i) \quad (63)$$

A confiabilidade externa para uma observação/ calculada é expressa por:

$$\nabla_i \leq \sigma_i \lambda_{0i} \quad (64)$$

$$\lambda_{0i}^2 = \frac{1-r_i}{r_i} \delta_0^2 \quad (65)$$

Os valores de λ_{0i} , são a medida da confiabilidade externa global. Se a redundância (r_i) da i -ésima observação é pequena, o fator da confiabilidade externa torna-se grande e a "falsificação global" causada por um erro não detectado pode ser grande. Assim, conforme já citado em 4.6.5, quanto maior a redundância, maior confiabilidade tem o projeto (LEICK, 1990). Vale lembrar que δ_0 foi calculado para a análise da confiabilidade interna.

Se os λ_i são de mesma ordem de magnitude, a rede é homogênea com respeito à confiabilidade externa.

4.7 Integração de Redes Geodésicas

No contexto deste trabalho, integração de redes geodésicas assume a conotação de densificação de uma rede preexistente. Desta forma, vértices com coordenadas conhecidas no referencial a ser densificado fazem parte da rede a ser integrada, são as injunções do ajustamento.

4.7.1 Injunções no ajustamento

No ajustamento de observações, a estimação dos parâmetros só é possível pela álgebra de Cayley se a matriz A for positiva definida, permitindo a inversão da matriz N (cf. equações (34) e (35)). Para que N seja inversível, a deficiência de característica da matriz A é eliminada através da inclusão de injunções, ou pontos fiduciais, que são vértices cujas coordenadas são conhecidas, preferencialmente com ordem de precisão superior ao

levantamento em questão. Nas injunções, as coordenadas das estações podem ser mantidas fixas (invariantes) no ajustamento, são as chamadas *injunções absolutas*, ou *estações fixas*, ou pode-se associar a elas a informação da precisão, são as *relativas*, ou *estações fiduciais*.

A introdução da informação referente às injunções é feita na forma de *pseudo-observações*, acrescentando à matriz A , as linhas correspondentes aos coeficientes das injunções (0 ou 1), e as injunções fixas ou fiduciais são definidas como sub-matriz na matriz peso. Os resíduos das injunções são a própria correção aos parâmetros aproximados:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial X_1} \\ \frac{\partial F}{\partial X_2} \end{bmatrix}; P = \begin{bmatrix} \sigma_0^2 \Sigma_{L_b}^{-1} & 0 \\ 0 & \Sigma_{X_2}^{-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 & 0 \\ 0 & P_2 \end{bmatrix}; V = \begin{bmatrix} V_1 \\ X \end{bmatrix} \quad (66)$$

onde: o índice 1 refere-se aos novos pontos sendo determinados e o índice 2 refere-se aos pontos de injunção. No caso de se introduzir injunções fixas, adota-se pesos exageradamente grandes para as respectivas coordenadas ($P_2 \rightarrow \infty$). Assim, a solução do ajustamento é dada como na forma apresentada no item 4.6.3.

Quando as injunções são inseridas dessa forma no ajustamento, cuidado especial deve ser tomado na etapa de validação do ajustamento. Conforme visto na seção 4.6.3, quando o ajustamento não passa no teste global, porém na etapa de detecção de erros nenhum erro é encontrado, significa que os pesos das observações foram subestimados, sendo necessário recalculá-los. Na prática, isso é feito através da multiplicação da $\sum_{L_b}$ pelo fator de variância *a posteriori* (equação 54). Como a matriz peso é formada, em parte pela MVC das observações "reais", que, no caso em questão, são os vetores GPS, e em parte pelas MVC das pseudo-observações (estações fiduciais), a equação (54) deve ser aplicada somente à sub-matriz referente às observações propriamente ditas, caso contrário, toda a MVC dos parâmetros será afetada de forma inadequada.

No processo de ajustamento das observações, quando as injunções são fixas, não são transferidas para os parâmetros incógnitos as incertezas dos parâmetros aos quais eles estão ligados. Em consequência, a solução obtida, apesar de ser mais atraente, por apresentar

valores numéricos de dispersão menores, não representa a realidade, pois contrariam a lei de propagação das covariâncias. Já as injunções fiduciais transferem suas incertezas aos parâmetros incógnitos, e por isso, apresentam valores de dispersão maiores, porém, mais realísticos.

Considerando ainda as injunções fiduciais, ao final do ajustamento de uma densificação de rede geodésica, corre-se o risco de ter os valores ajustados das coordenadas dos pontos conhecidos ligeiramente diferentes dos valores introduzidos inicialmente, via de regra, obtidos por métodos mais precisos. A solução ideal seria um algoritmo que levasse para o ajustamento apenas a parte estocástica dos pontos de injunção, sem alterar as suas coordenadas já determinadas, isto é, propagando apenas sua precisão. Schaffrin (2001) apresenta um algoritmo que representa essa idéia, efetuando o ajustamento de forma rigorosa, mantendo para as injunções o que ele chama de "propriedade da reprodução" dos seus valores após o ajustamento.

4.8 Métodos de Levantamento com GPS

4.8.1 Método Estático

O método de posicionamento estático consiste em posicionar um receptor em um marco geodésico, no qual são conhecidas as suas coordenadas, e um segundo receptor no ponto onde se quer determina-las. Rastreando simultaneamente as estações por um intervalo de tempo recomendado, são calculadas as coordenadas tridimensionais (latitude, longitude e altitude geométrica) para o ponto desconhecido. Esse processo é o mais empregado e o que atinge maiores precisões e é usado em levantamento de pontos de apoio á restituição (RIBAS e SARAIVA, 1998).

4.8.2 Método Cinemático

Segundo Segantine (1999), o levantamento cinemático puro é aquele em que, inicialmente, um dos receptores é colocado sobre um ponto de coordenadas conhecidas e um segundo receptor é colocado sobre um ponto qualquer. A partir daí, as duas antenas receptoras

passam a coletar dados simultaneamente por alguns minutos com o objetivo de resolver as ambigüidades. Depois, a antena que estava sobre o ponto desconhecido move-se por um percurso selecionado, sendo possível determinar com bastante precisão a trajetória feita por esta antena móvel. A grande limitação deste método está na obrigatoriedade de se manter constante a recepção dos sinais emitidos pelos satélites nas duas antenas receptoras.

4.8.3 Método Cinemático “Stop-and-Go” (Semi-cinemático)

Este método é uma derivação do cinemático puro, visto que, o usuário tem a opção de registrar pontos específicos do levantamento ao longo do deslocamento da antena remota. A grande vantagem deste método em relação ao cinemático puro é o aumento de precisão no posicionamento devido ao um certo número de épocas no ponto desejado (SEGANTINE, 1999).

4.9 Principais Fontes de Erros no Campo

Segundo Beraldo e Soares (1995), o efeito da posição relativa dos satélites, em relação ao receptor é conhecido como número DOP ou diluição da precisão. Voltando ao caso plano de acordo com o que foi apresentado no posicionamento absoluto (Figura 19).

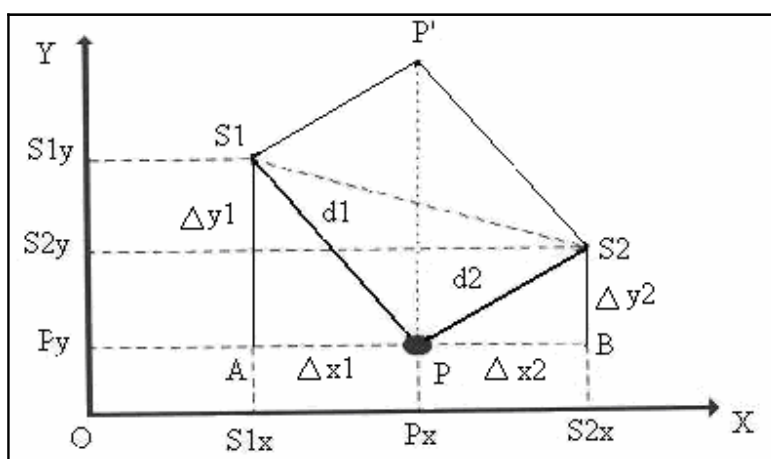


Figura 19. Lateralização Plana.

As coordenadas do ponto P só poderão ser calculadas pelas equações de lateração se, e somente se, os pontos S_1 , P e S_2 não forem colineares.

Extrapolando, agora, para um caso tridimensional (Figura 20):

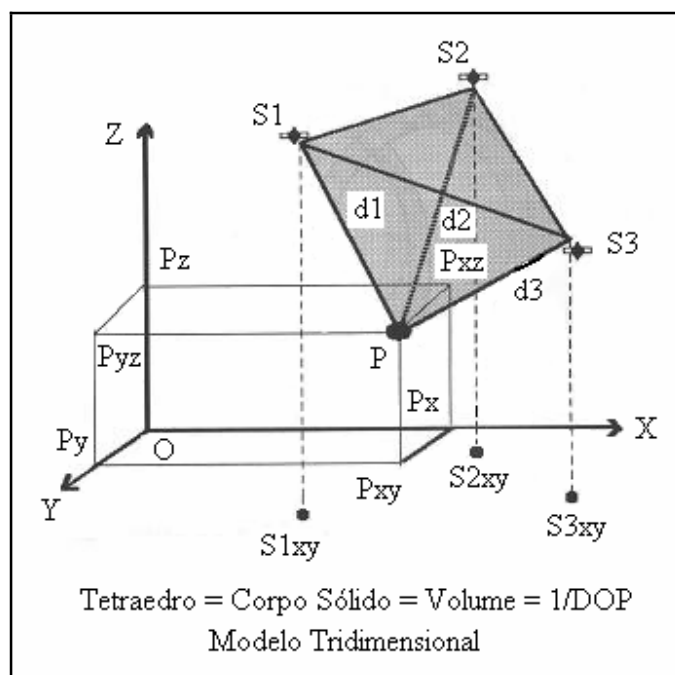


Figura 20. Corpo Sólido Gerado Pelos Satélites e o Receptor.

A Figura 21 gerada pelos pontos S_1 , S_2 e S_3 (representando os satélites) e o ponto P (representando o rastreador) é um tetraedro, cuja base é o triângulo S_1 , S_2 e S_3 e o vértice é o ponto P.

Analogamente ao caso plano, se estes pontos forem coplanares as equações de trileração em relação ao ponto P não resolverão suas coordenadas X, Y e Z.

Suponha agora, que as distâncias PS_1 , PS_2 e PS_3 tenham um grau de incerteza representada pela espessura de uma casca esférica simbolizando o espalhamento tridimensional da frente de onda gerada por cada satélite e aqui representada pelo seu corte transversal, formando um círculo, cuja espessura representa o grau de incerteza nos cálculos das pseudo-distâncias d. A intersecção destes círculos fornecem a posição P, cujas coordenadas deseja-se conhecer.

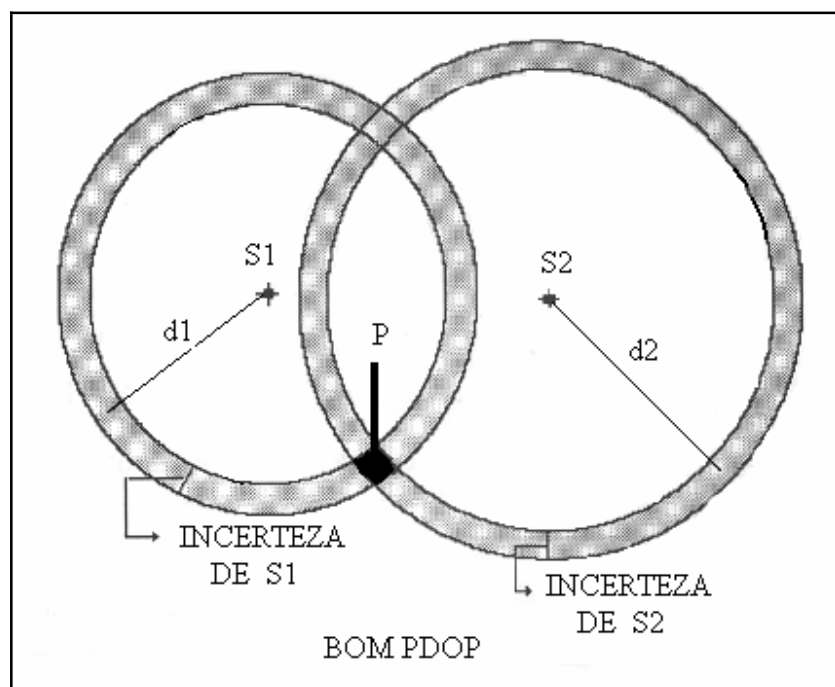


Figura 21. Receptor (P) representado pela intersecção das frentes de onda geradas pelos satélites GPS.

Pela Figura 22, a posição do ponto P é representada pela parte hachurada.

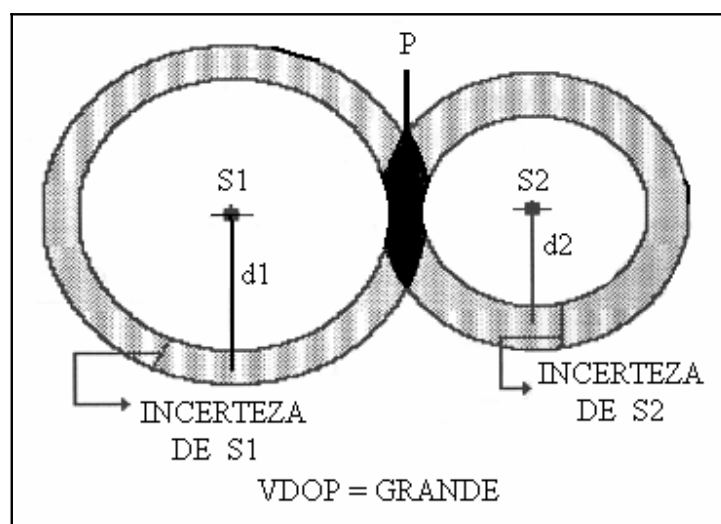


Figura 22 Representação do VDOP com Grande Deformação Vertical

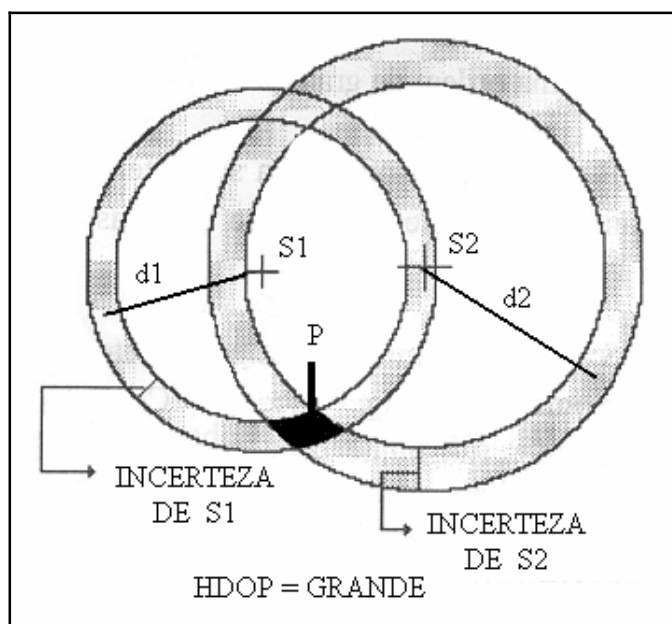


Figura 23 Representação do HDOP com Deformação Horizontal.

Nas Figuras 21, 22 e 23 pode-se perceber que o afastamento ou proximidade excessiva dos pontos S_1 e S_2 podem aumentar da parte hachurada, o que denota um aumento da incerteza do ponto P .

Para o caso plano, esta incerteza será mínima se os raios para os pontos S_1 e S_2 , partindo da área P , fizerem um ângulo de 45° com a linha horizontal em P , conforme a Figura 24.

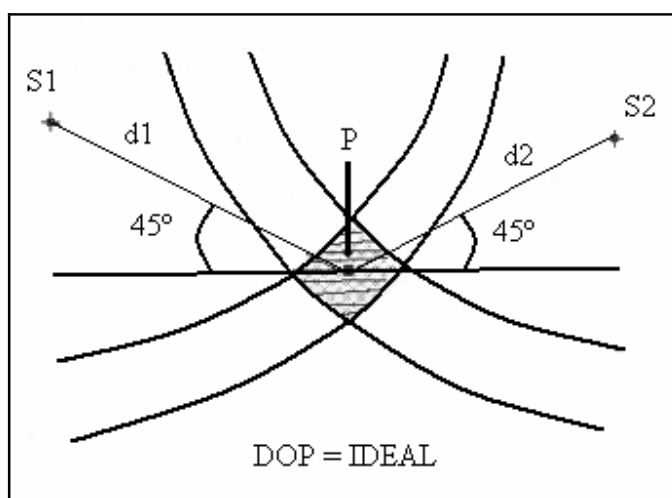


Figura 24 PDOP Caso Ideal.

No caso tridimensional esta incerteza será mínima se o volume gerado pelos pontos S_1 , S_2 e S_3 e P for máximo, considerando que as distâncias d_1 , d_2 e d_3 possuem a mesma ordem de grandeza.

Como o ponto P representa a posição a ser determinada, os pontos S_1 , S_2 e S_3 simbolizando os satélites movem-se em suas órbitas no horizonte celeste visível em P.

Se S_1 , S_2 e S_3 estiverem muito próximos, o tetraedro será alongado e sua altura será próxima a $d_1 = d_2 = d_3 = h$. Contudo se S_1 , S_2 e S_3 estiverem muito afastados (no limite do horizonte visível, por exemplo) a altura do tetraedro será bem menor que as distâncias d_1 , d_2 e d_3 ou $d = d_2 = d_3 \ll h$. Como o volume do tetraedro é dado por $V = A_b(S_1, S_2, S_3) \times \frac{h}{3}$ (h = altura do tetraedro), haverá um afastamento entre os satélites que garanta um volume máximo em relação a P.

Em certas ocasiões estarão visíveis mais de quatro satélites ao mesmo tempo para um determinado ponto. Cabe ao receptor, por combinação três a três em relação à sua localização, escolher quais os três satélites que serão usados para o cálculo da posição. Isto é feito escolhendo-se quais satélites produzem maior volume naquele instante.

Estes números DOP são, pois, inversamente proporcionais ao volume do corpo sólido gerado pelos satélites e o ponto a determinar. Desta forma, quanto maior o volume, menor o número DOP, conseqüentemente, melhor a precisão, conforme a Figura 25 e 26.

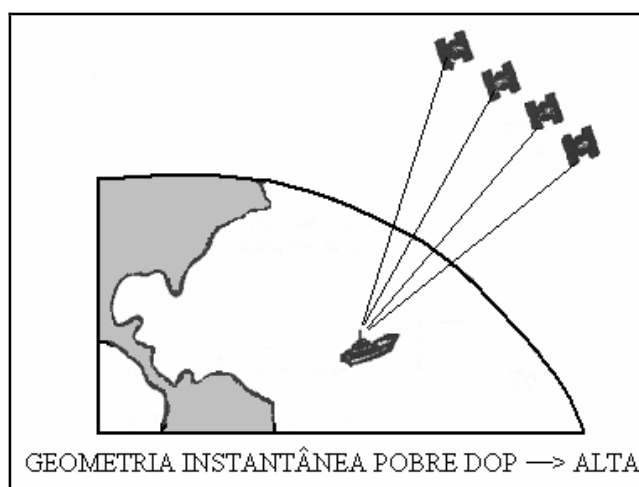


Figura 25 Situação Desfavorável Quanto à Geometria dos Satélites.

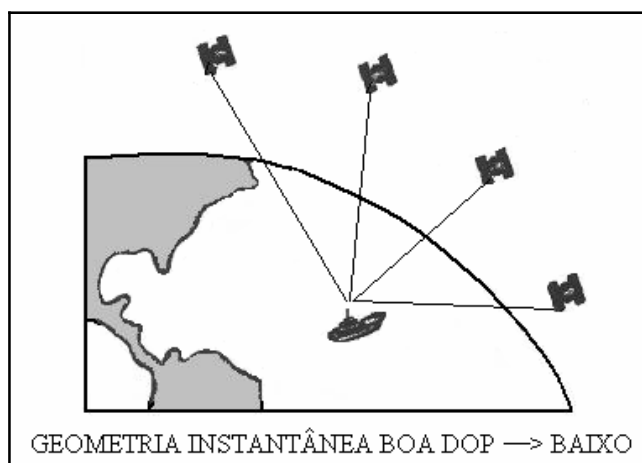


Figura 26 Situação Favorável Quanto à Geometria dos Satélites.

5 MATERIAL E MÉTODO

A Rede GPS UNESP foi idealizada com o intuito de atender as necessidades do ensino, pesquisa, extensão e em atendimento a Lei do INCRA nº 10.267 (28/08/2001), com relação às estações bases para seus levantamentos, e ainda, de atender à comunidade usuária com vértices de precisão.

5.1 Planejamento

O planejamento da Rede UNESP envolveu vários aspectos, considerados importantes para que fosse obtido o melhor resultado possível com o menor custo. Com essa preocupação procurou-se estabelecer linhas de base menores possíveis, considerando, além da simultaneidade, o horário de rastreamento, a máscara de elevação e a orientação da antena.

5.2 Seleção dos locais para os marcos da Rede

O primeiro passo para implantação da Rede GPS UNESP foi entrar em contato com os diretores dos vários campus que compõem a universidade para comunicar a implantação da Rede GPS UNESP, levando em consideração a existência de marcos da Rede USP e ITESP. Desta análise concluiu-se sobre a necessidade de implantar 9 estações

distribuídas em todo o Estado de São Paulo. A Figura 27 mostra a disposição dos vértices da Rede USP, ITESP e os marcos a serem implantados pela Rede GPS UNESP.

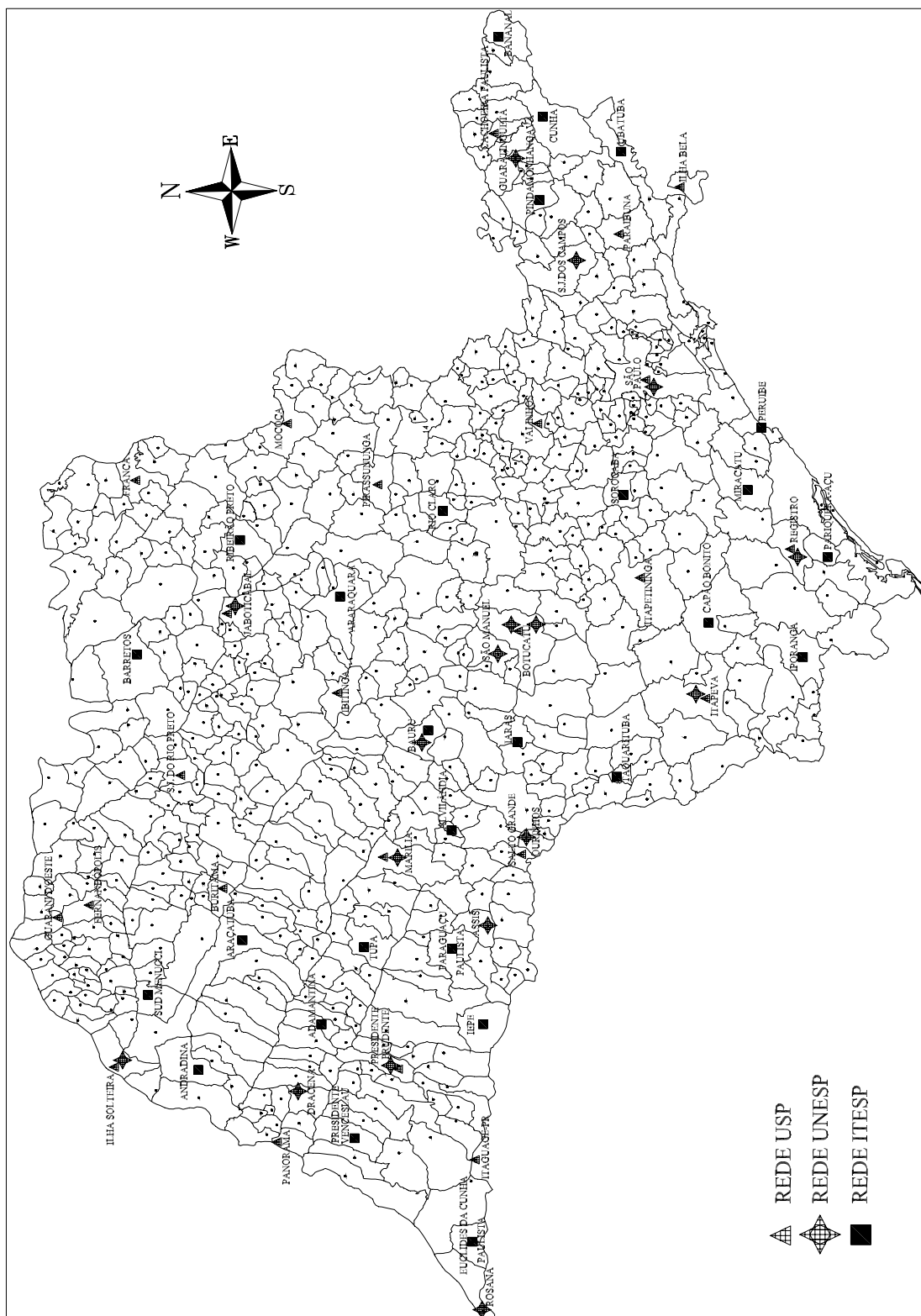


Figura 27 Rede Geodésica do Estado de São Paulo USP, ITESP e UNESP

As unidades foram visitadas com o intuito de selecionar o local mais apropriado para a implantação das estações. Tal escolha, que pode parecer fácil, num primeiro momento, porque o GPS não tem a restrição da intervisibilidade própria das redes convencionais, tornou-se tarefa árdua, devido à necessidade de escolher um local seguro, onde a integridade física do marco fosse preservada, de fácil acesso, com a visibilidade do céu desobstruída acima dos 15° de elevação, solo estável e vizinhança desfavorável ao multicaminho dos sinais.

5.3 Planejamento do rastreo

O planejamento das observações em campo, dentro do contexto de otimização de redes geodésicas já citadas, envolve inúmeras variáveis, como seleção dos equipamentos, distância entre as linhas de base, ordem de ocupação das estações, horário simultâneo de rastreo, disponibilidade de satélites, tempo de rastreo, entre outras.

Utilizando a rede RBMC do IBGE, para a coleta de dados sobre os marcos de base, sendo: UEPP (Presidente Prudente - SP) inscrição SAT 91559, PARA (Curitiba-PR) inscrição SAT 91105, NEIA (Cananeia - SP) inscrição SAT 91716 e UBAT (Ubatuba - SP) inscrição SAT 91902, RIOD (Rio de Janeiro - RJ) inscrição SAT 91720, VARG (Varginha – MG) inscrição SAT 91930, UBER (Uberaba – MG) inscrição SAT 91909, foram suficientes para determinar as estações.

O tempo mínimo de rastreo estabelecido foi baseado nas especificações dadas pelo IBGE para levantamentos com GPS (IBGE, 1998), ou seja, de no mínimo 6 horas para linhas de base maiores que 100 km. Como deve haver simultaneidade entre as observações, e para garantir que todas as linhas de base atendam ao tempo mínimo estabelecido, até mesmo as linhas de base com menor distância foram rastreadas 4 (quatro) sessão com duração de 07 horas de ocupação, e o intervalo entre as sessões foi no mínimo de 1 hora e no máximo 12 horas.

5.4 Monumentação dos marcos

Paralelamente à escolha dos locais, pensava-se a escolha do modelo para o monumento dos vértices. Escolheu o pilar de centragem forçada. A imponência desse modelo inibe a ação de eventuais vândalos e torna mais difícil a sua depredação, além de eliminar o erro de centragem do instrumento..

Para o pilar de centragem forçada, adotou-se a fabricação no local, recomendado pela USP, e a construção de calçada de um metro ao redor e cerca de proteção, conforme croqui apresentado no Anexo A.

Cada pilar da rede UNESP tem sua monografia descrita no Apêndice A, com a descrição da estação, sua localização, croqui de acesso e foto do referido pilar.

5.5 Coleta de dados

A etapa de coleta de dados exigiu o máximo de atenção e cuidado. Para minimizar alguns dos erros do GPS, alguns cuidados na fase de coleta de dados foram tomados:

- como a orientação da antena para o norte, possibilitando eventual correção posterior do centro de fase da antena;
- reocupação das estações, em quatro sessões consecutivos, permitindo a detecção de erros na altura da antena no ajustamento das sessões;
- rastreamento simultâneo de, no mínimo sete horas, de modo que a superabundância de observações permita a exclusão de observações com ruídos, sem prejuízo da precisão;
- seleção da máscara de elevação de 15°, reduzindo os efeitos da troposfera sobre os sinais GPS, com fator de escala calculado para cada estação no processamento.

A Tabela 6 resume as especificações técnicas das campanhas de observação da Rede UNESP.

Tabela 6 Especificações técnicas para a coleta de dados

Especificação	Marcos principais, RBMC e Rede UNESP	
Tempo mínimo de rastreo	4 sessões de 07 horas	
Taxa de coleta das obs.	15 segundos	
Máscara de elevação	15°	
Orientação da antena	Norte	
Observáveis mínimas	LleL2	
Localidade	Receptor	Antena
UEPP	TRIMBLE Net RS	DORNE GEODETIC
PARA	TRIMBLE 4000SSI	DORNE MARGOLIN T
NEIA	TRIMBLE 4000SSI	DORNE MARGOLIN T
UBAT	TRIMBLE 4000SSI	DORNE MARGOLIN T
RIOD	TRIMBLE 4000SSI	DORNE MARGOLIN T
VARG	ASHTECH Z-FX	THALES/MARINE III L1/L2 (700700.B)
UBER	ASHTECH Z-FX	THALES/MARINE III L1/L2 (700700.B)
Captação da rede UNESP	GPS/GLONASS TPSHIPER GGD	TPSHIPER GGD

A Tabela 7 mostra as estações da Rede UNESP, identificadas pela abreviação do nome da cidade à qual pertence cada estação, com quatro letras, para facilitar no manuseio do software.

Tabela 7 Estações da Rede GPS UNESP.

ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO
UEPP*	Presidente Prudente	DRAC	Dracena
PARA*	Curitiba	GUAR	Guaratingueta
NEIA*	Cananéia	JABO	Jaboticabal
UBAT*	Ubatuba	MARI	Marília
RIOD*	Rio de Janeiro	PPRI	Porto Primavera-Rosana
VARG*	Varginha	RUJU	Rubião Junior-Botucatu
UBER*	Uberlândia	SAPA	São Paulo
ASSI	Assis	SJCA	São Jose dos Campos

* Vértices da RBMC.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No processamento dos dados da Rede GPS UNESP, utilizou-se *software* Topcon Tools versão 6.04, sendo as coordenadas dos satélites obtidas a partir de efemérides precisas do Serviço Internacional para Geodinâmica (IGS). As órbitas finais apresentadas pelo IGS têm acurácia melhor que 5 centímetros e 1 nanossegundo, tendo assim as seguintes etapas: pré-processamento dos dados, processamento de cada ocupação e ajustamento final, realizado pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).

6.1 Processamento dos dados

Após a coleta dos dados em campo, efetuou-se o pré-processamento dos dados, que consiste em detectar perdas de ciclos e erros grosseiros nas observações. As coordenadas ajustadas foram determinadas através de *software* Topcon Tools versão 6.04 ajustada utilizando a rede RBMC, e posteriormente foi executado o processamento dos dados.

Cada sessão de observação foi processada com 7 linhas de base da rede RBMC. A Tabela 8 mostra as linhas de base para cada sessão com operação de limpeza na detecção de perdas de ciclo e erros grosseiros previamente realizados.

Tabela 8 Linha de base dos pilares com a rede RBMC.

Linha de Base Pilar	Linha de Base RBMC
ASSI	
DRAC	NEIA
GUAR	PARA
JABO	PPTE
MARI	RIOD
PPRI	UBAT
RUJU	UBER
SAPA	VARG
SJCA	

A Tabela 9 mostra o ajustamento final realizado em duas etapas. Em uma primeira etapa o ajustamento foi realizado com as coordenadas dos vértices referenciadas ao WGS 84, e, em um segundo momento, ao SAD 69. As coordenadas finais dos vértices da Rede GPS UNESP, monografia dos pilares (Apêndice A), mostram as coordenadas geográficas e plano-retangulares de cada estação no WGS 84 e SAD 69, bem como a descrição e localização das mesmas. O *software* Topcon Tools versão 6.04 permite níveis de confiança de 68, 95 e 99%. No pré-processamento das linhas de base um nível de confiança 68% foi empregado para obtenção dos dados.

Tabelas 9 Coordenadas finais ajustadas da Rede GPS UNESP – *Datum* WGS 84.

Vértice	Latitude(° ‘ “) ± DP(m)	Longitude(° ‘ “) ± DP(m)	Atitude(m) ± DP(m)
ASSI	- 22 39 02,48948 ± 0,006	- 50 26 20,73553 ± 0,009	567,724 ± 0,014
DRAC	- 21 27 35,79119 ± 0,007	- 51 33 11,99179 ± 0,009	376,531 ± 0,095
GUAR	- 22 48 10,81398 ± 0,005	- 45 11 21,87413 ± 0,006	560,393 ± 0,021
JABO	- 21 14 27,79905 ± 0,008	- 48 17 11,91631 ± 0,013	568,504 ± 0,020
MARI	- 22 14 01,20069 ± 0,007	- 49 58 05,98876 ± 0,010	673,990 ± 0,022
ROSA	- 22 31 19,49356 ± 0,011	- 52 57 03,21505 ± 0,015	298,341 ± 0,023
RUJU	- 22 53 14,93284 ± 0,006	- 48 29 32,52718 ± 0,007	869,327 ± 0,023
SAPA	- 23 32 52,94205 ± 0,005	- 46 38 27,17195 ± 0,007	799,282 ± 0,018
SJCA	- 23 11 56,07159 ± 0,006	- 45 53 16,12866 ± 0,006	605,831 ± 0,014

* Cada sessão de observação foi processada com 7 linhas de base da rede RBMC.

6.2 Análise da Acurácia

Um dos objetivos da realização da rede UNESP é a integração dessa rede ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Segundo o IBGE (1998), para integração ao SGB é necessário valor de acurácia igual ou inferior a 1 ppm por linha de base dos vértices que compõem o SGB. Visando atender as normas IBGE (1998), a propagação de covariâncias de cada estação foi efetuada para um conjunto de linhas de base mais próximas e mais longínquas relativas à rede RBMC.

As Figuras 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, e 36 representam os valores de acurácia requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento da Rede UNESP com a rede RBMC.

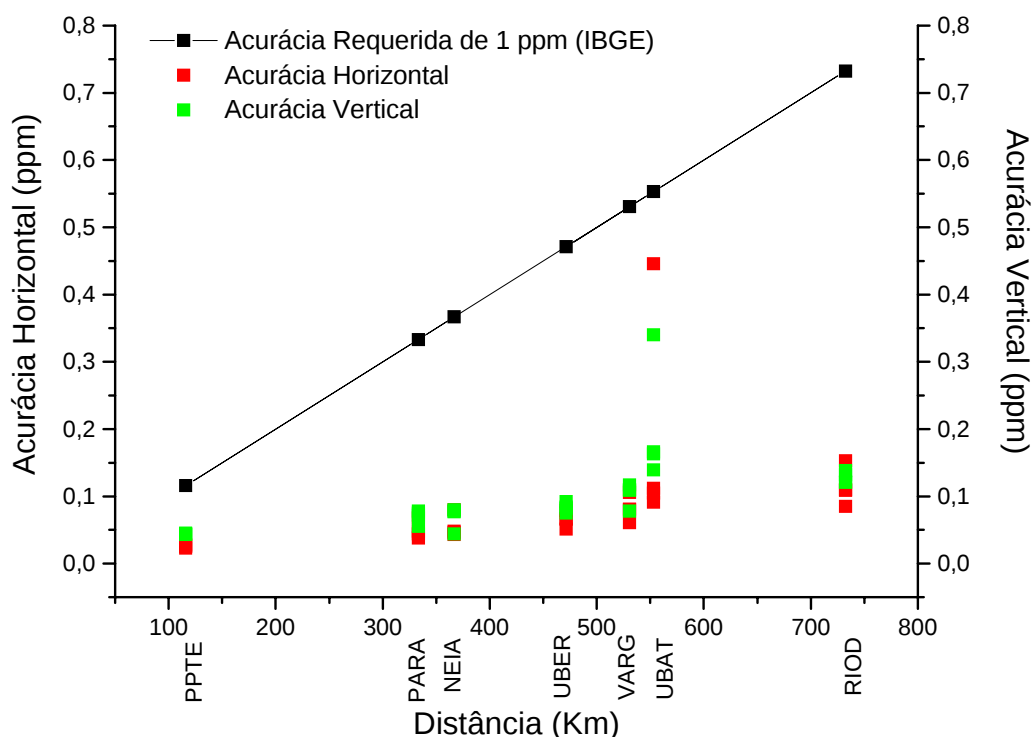


Figura 28 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP ASSI (Assis) com a rede RBMC.

Tomando como referência os critérios de aceitação definidos pelo IBGE (1998), ou seja, valores de acurácia igual ou inferior a 1 ppm, os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) da linha de base ASSI da rede RBMC encontram-se inferiores aos valores limites requeridos. Os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) relativos ao vértice ASSI para a cidade de Ubatuba apresentaram-se menos precisos - tal fato pode ser atribuído ao empobrecimento do número de satélites entre os vértices. Menor precisão para os valores de acurácia poderá ocorrer quando a captação de dados se faz para um pequeno grupo de satélites.

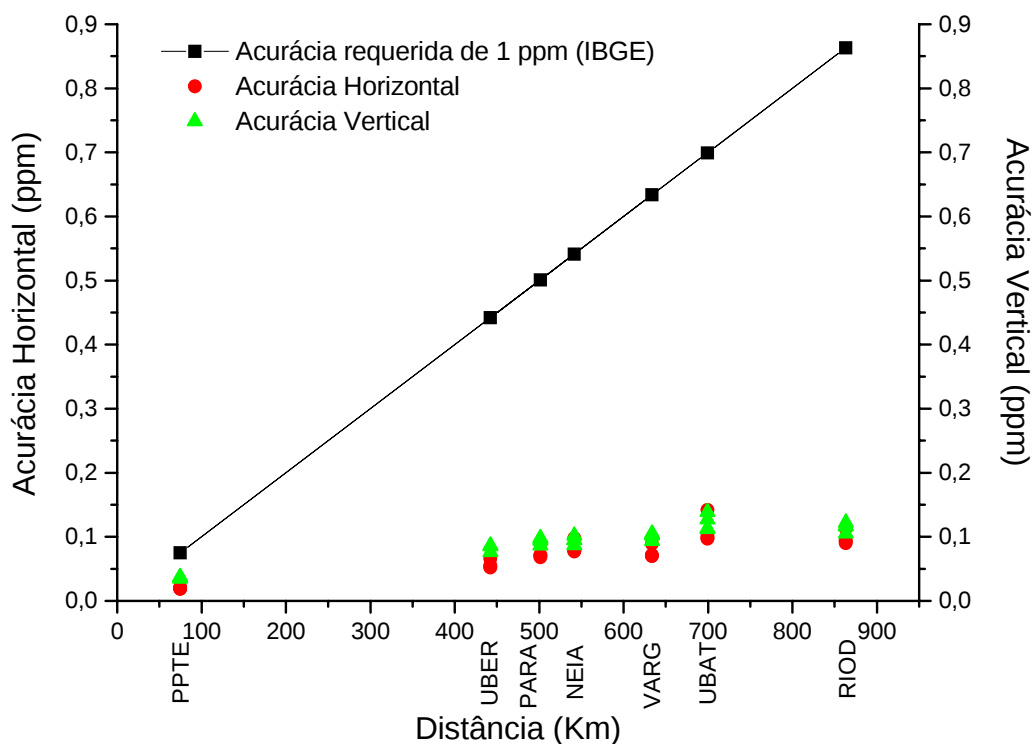


Figura 29 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP DRAC (Dracena) com a rede RBMC.

Tomando como referência os critérios de aceitação definidos pelo IBGE (1998), ou seja, valores de acurácia igual ou inferior a 1 ppm, os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) da linha de base DRAC da rede RBMC encontram-se inferiores aos valores limites requeridos. As diferenças de distância entre o vértice DRAC para os vértices da rede RBMC não se mostraram relevantes na precisão da acurácia – tal fato pode ser atribuído ao elevado número coincidente de satélites durante a captação dos dados.

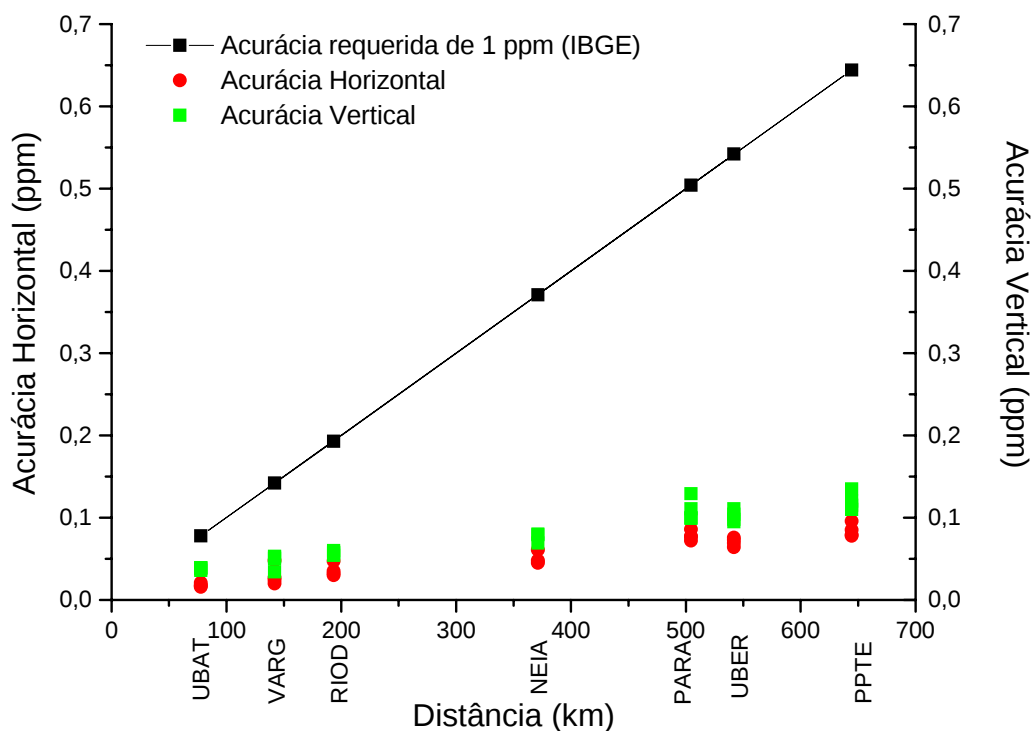


Figura 30 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP GUAR (Guaratinguetá) com a rede RBMC.

Tomando como referência os critérios de aceitação definidos pelo IBGE (1998), ou seja, valores de acurácia igual ou inferior a 1 ppm, os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) da linha de base GUAR da rede RBMC encontram-se inferiores aos valores limites requeridos. As diferenças de distância entre o vértice GUAR para os vértices da rede RBMC não se mostraram relevantes na precisão da acurácia.

A análise da Figura 30 permite observar maior erro de precisão na vertical. Linhas de bases mais longínquas entre os vértices e relevo acidentado proporcionaram elevação dos erros.

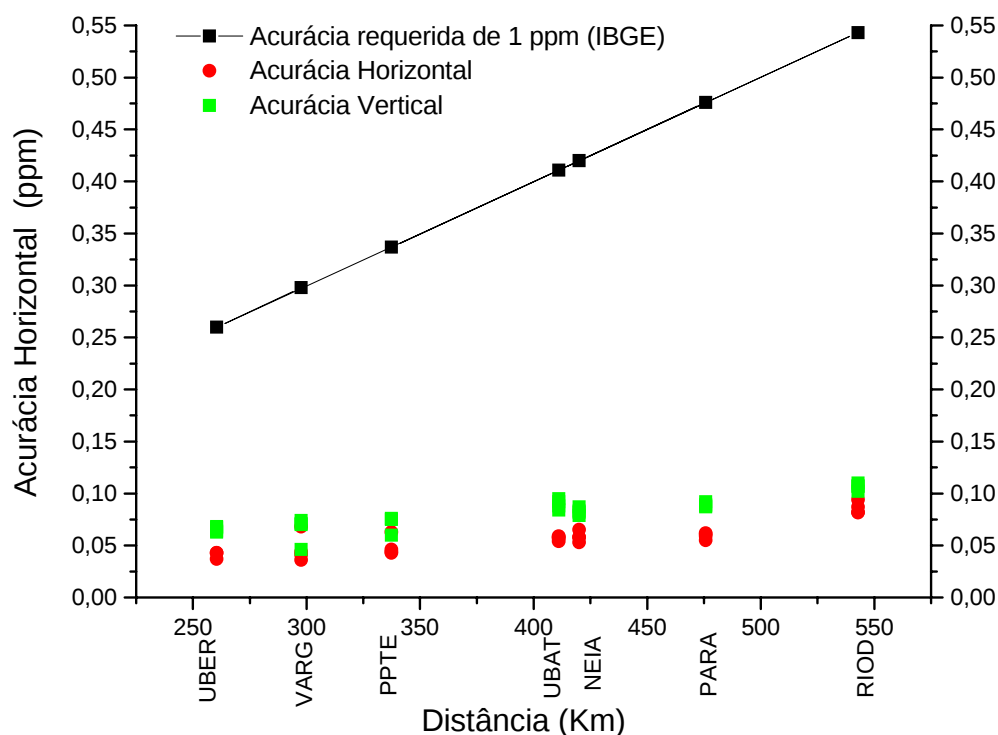


Figura 31 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP JABO (Jaboticabal) com a rede RBMC.

Tomando como referência os critérios de aceitação definidos pelo IBGE (1998), ou seja, valores de acurácia igual ou inferior a 1 ppm, os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) da linha de base JABO da rede RBMC encontram-se inferiores aos valores limites requeridos. As diferenças de distância entre o vértice JABO para os vértices da rede RBMC não se mostraram relevantes na precisão da acurácia.

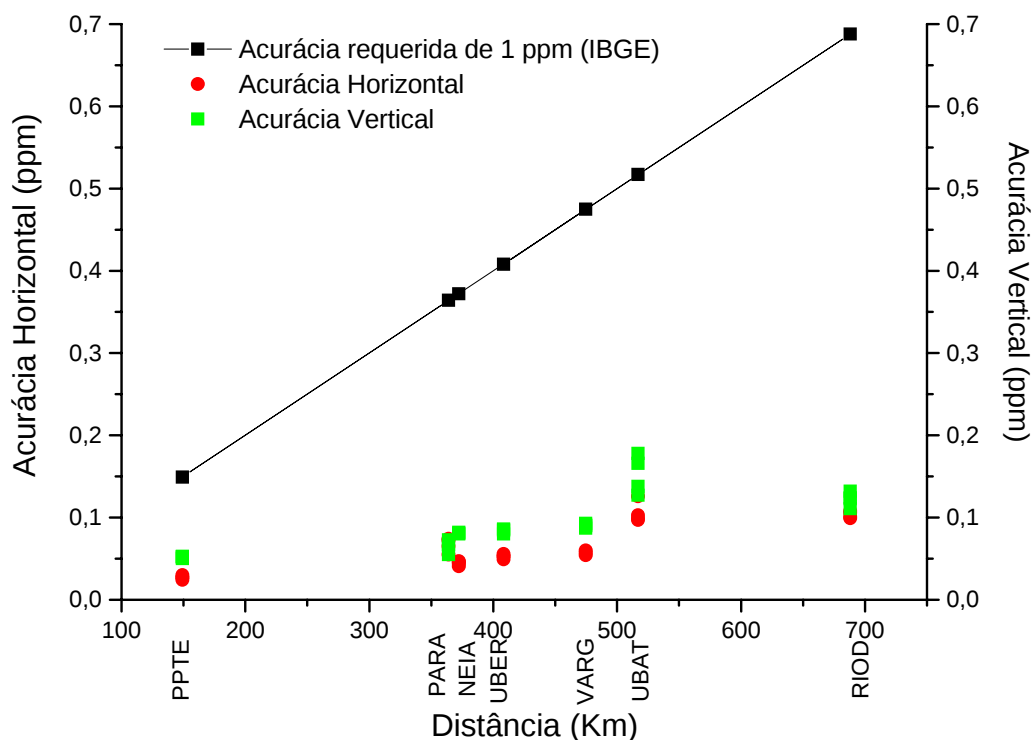


Figura 32 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP MARI (Marília) com a rede RBMC.

Tomando como referência os critérios de aceitação definidos pelo IBGE (1998), ou seja, valores de acurácia igual ou inferior a 1 ppm, os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) da linha de base MARI da rede RBMC encontram-se inferiores aos valores limites requeridos. Os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) relativos ao vértice MARI para a cidade de Ubatuba apresentaram-se menos precisos - tal fato pode ser atribuído ao empobrecimento do número de satélites entre os vértices.

Maior erro de precisão na vertical pode ser atribuído ao relevo acidentado e elevada distância entre o vértice MARI e alguns vértices da rede RBMC.

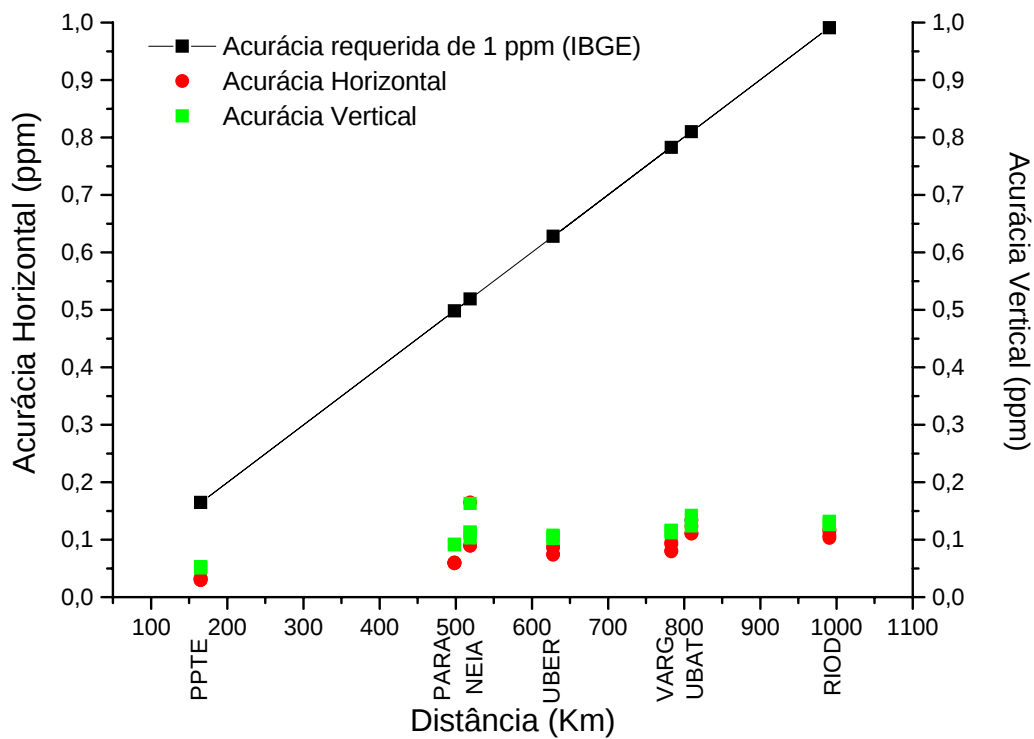


Figura 33 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP PPRI (Rosana) com a rede RBMC.

Tomando como referência os critérios de aceitação definidos pelo IBGE (1998), ou seja, valores de acurácia igual ou inferior a 1 ppm, os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) da linha de base PPRI da rede RBMC encontram-se inferiores aos valores limites requeridos. Os valores de acurácia entre o vértice PPRI e o vértice PPTE apresenta-se próximo de zero mostrando que a pequena distância da linha de base conduz ao menor erro.

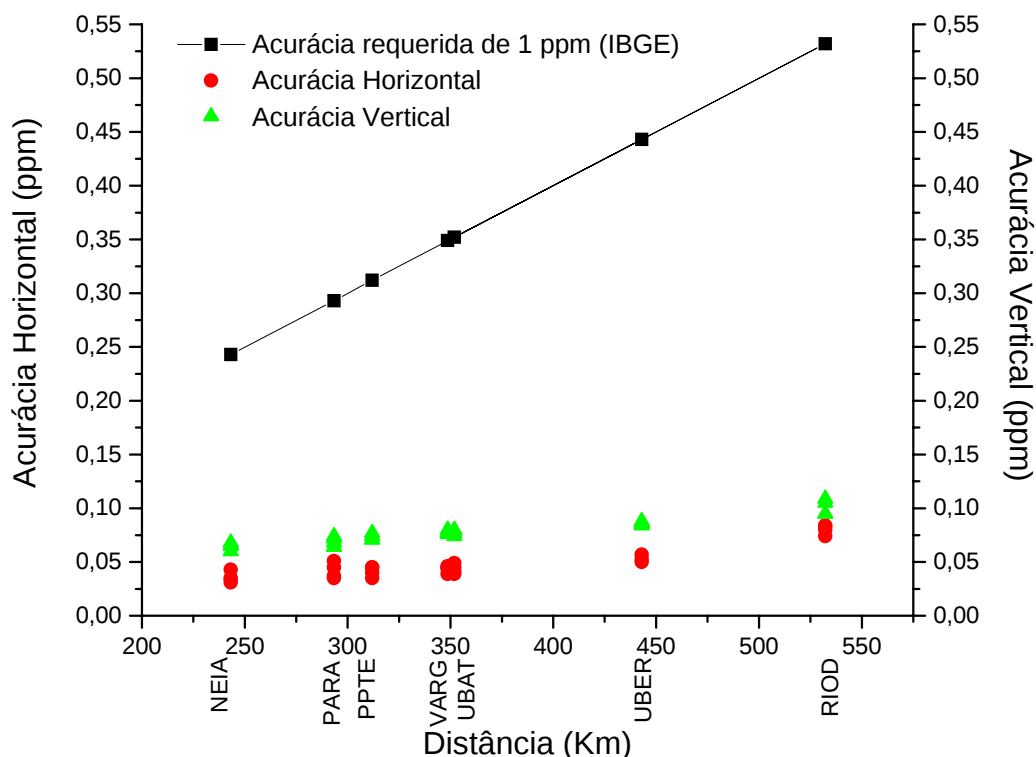


Figura 34 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP RUJU (Botucatu) com a rede RBMC.

Tomando como referência os critérios de aceitação definidos pelo IBGE (1998), ou seja, valores de acurácia igual ou inferior a 1 ppm, os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) da linha de base RUJU da rede RBMC encontram-se inferiores aos valores limites requeridos. As diferenças de distância entre o vértice RUJU para os vértices da rede RBMC não se mostraram relevantes na precisão da acurácia.

Maior erro de precisão na vertical pode ser atribuído ao relevo acidentado.

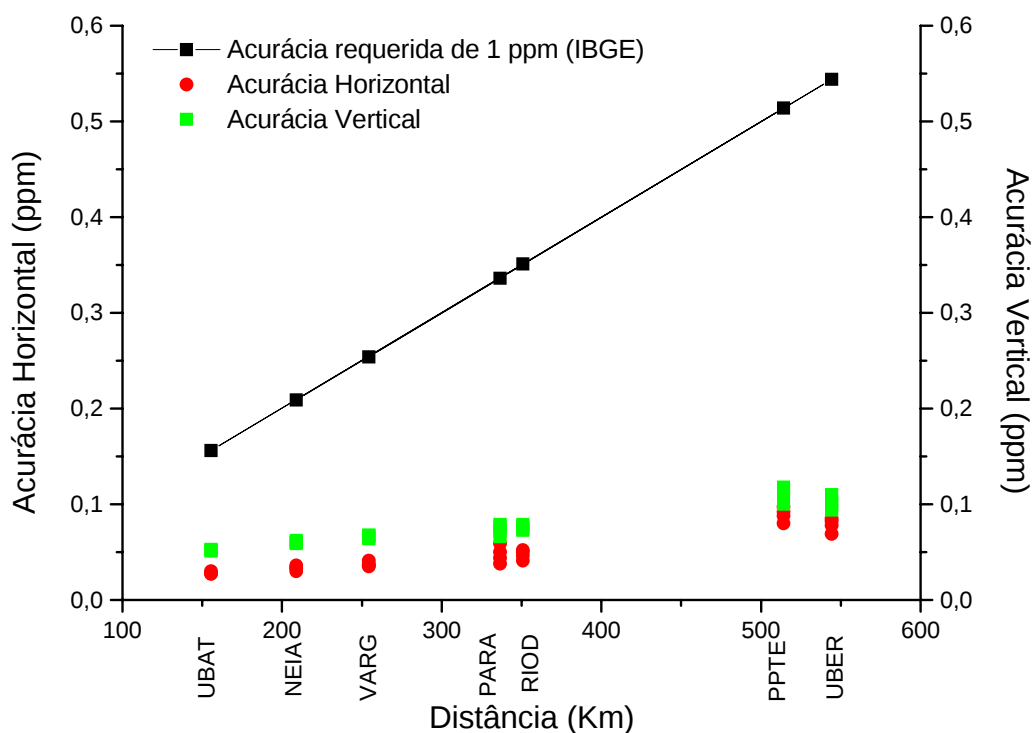


Figura 35 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP SAPA (São Paulo) com a rede RBMC.

Tomando como referência os critérios de aceitação definidos pelo IBGE (1998), ou seja, valores de acurácia igual ou inferior a 1 ppm, os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) da linha de base SAPA da rede RBMC encontram-se inferiores aos valores limites requeridos.

Maior erro de precisão na vertical pode ser atribuído ao empobrecimento de satélites na captação dos dados devido à obstrução causada pela verticalização das edificações.

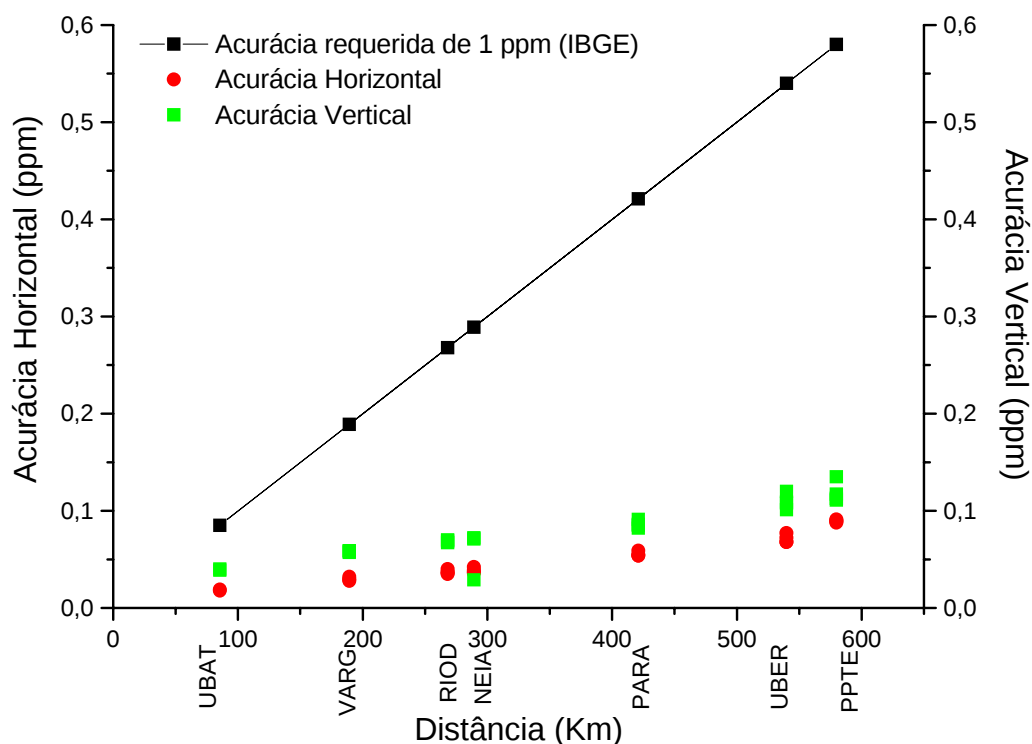


Figura 36 Valores de acurácia em ppm requeridos pelo IBGE (1998) e os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) obtidos no ajustamento das linhas de base da Rede GPS UNESP SJCA (São José dos Campos) com a rede RBMC.

Tomando como referência os critérios de aceitação definidos pelo IBGE (1998), ou seja, valores de acurácia igual ou inferior a 1 ppm, os valores de acurácia horizontal (Hz) e vertical (Ver) da linha de base SJCA da rede RBMC encontram-se inferiores aos valores limites requeridos. As diferenças de distância entre o vértice SJCA para os vértices da rede RBMC não se mostraram relevantes na precisão da acurácia.

Maior erro de precisão na vertical pode ser atribuído ao empobrecimento de satélites na captação dos dados devido à obstrução causada pela verticalização das edificações e relevo acidentado.

7 CONCLUSÕES

As análises dos resultados obtidos na Rede GPS UNESP permitiram concluir:

1. No que se refere à solução da ambigüidade, nos *softwares* comerciais a forma de evitar a inconsistência é especificar que o *ratio* seja igual ou maior a 3 (três) pelo menos, sendo assim o *software* Topcon Tools versão 6.04 apresenta um bom indicador na qualidade da solução da ambigüidade.
2. Tomando-se como referência os valores de acurácia definidos pelo IBGE (1998), os dados obtidos para a Rede GPS UNESP atendem aos limites requeridos, estando apto ao encaminhamento ao IBGE e integração ao SGB. A integração da Rede GPS UNESP ao SGB apresenta elevada relevância no campo científico, tecnológico e legal, já que irá permitir a realização de trabalhos topográficos com georreferenciamento, além de atender as normas da Lei 10.267 (28/08/2001), a qual exige o georreferenciamento de imóveis imobiliários para fins de registro.
3. Na construção da monumentação dos pilares da rede geodésica é aconselhável a construção dos pilares com altura aproximada de 1,20 metros tornando-os adequados para a

ocupação do vértice com Estação Total/GPS. A proteção dos pilares com calçada ($\cong 1,00$ metro) e cerca de proteção permite garantir a integridade dos mesmos.

4. Segundo as normas do IBGE (1998) a captação de dados deverá ser realizada em 04 períodos de 06 horas com intervalos de no mínimo 1 hora e no máximo 48 horas. O acréscimo de 1 hora em cada sessão permitiu maior tempo de captação de satélites o que conduziu a melhores valores de acurácia.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERALDO, P.; SOARES, S. M. **GPS: Introdução e Aplicações Práticas**. Criciúma: Luana , 1995. 150 p.

BEUTLER, G. et al. GPS Satellite Orbits. In: KLEUSBERG, A.; TEUNISSEN, P. J. G. **GPS For Geodesy**. Berlin: Verlag, 1998.

BLITZKOW, D. **Posicionamento por satélite: NAVSTAR/GPS**. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1995. 36p.

BLITZKOW, D.; NETO, D. N. P.; BUENO, R.F. **Elementos de posicionamento por satélite GPS**. Faculdade de Engenharia de Agrimensura de Pirassununga. Pirassununga, SP.1996. 84 p.

BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento Agrário**. Lei nº 10.267, de 28 de agosto de 2001. Decreto nº 4.449, de 30 de outubro de 2002. Estabelece o roteiro para o intercâmbio entre o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA e os Cartórios de Registros de Imóveis e Notas e a precisão posicionais. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10267.htm>. Acesso em: 02 abr. 2006.

BREACH, M. C. **RE 238: Survey Review. The Importance of Accurate Coordinates of a Know Station in Precise relative Positioning**. Oct.1990.

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.

CINTRA, J. P. **Automação da topografia: do campo ao projeto**. 1993. 120p. Tese (Livre Docência em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CUNHA, M. J. P., SANTOS, M. C. S., ANDRADE, J. B. Aplicação do Sistema de Posicionamento Global para Unificação de Bases Cadastrais. In: GISBRASIL, São Paulo. 1998.

DOMINICI, D.; STOPINNI, A.; UNGUENDOLI, M.; RADICIONI, F. Precision and Reliability *versus* Surplus Measurements in GPS Networks. **Bollettino di Geodesia e Scienze Affini**. n. 4, 1995.

EVEN-TZUR, G.; PAPO, H. Optimization of GPS Networks by Linear Programming. **Survey Review**, v. 33, n. 262, 1996.

FONSECA E. S. **Estudo e Avaliação Metodológica da Rede GPS do Estado de São Paulo**. 1996. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FORTES, L.P.S. **Operacionalização da rede brasileira de monitoramento contínuo do sistema GPS (RBMC)**. 1997. 96p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – IME, Rio de Janeiro.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. , 1994. 121p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GRAFAREND, E. W. Optimization of Geodetic Networks. **Bollettino di Geodesia e Scienze Affini**. v. 33, n. 4, p 351-406. 1974.

GOMES, E.; PESSOA, L. M. C.; SILVA JR., L. B. S. **Medindo Imóveis Rurais com GPS**. Brasília: Editora e Comunicação, 2001. 136p.

HOFFMAN-WELLENHOF, B.; LIGHTENEGGER H.; COLLINS, J. **GPS Theory and Practice**. Wien: Spring-Verlag, Berlin. 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (Rio de Janeiro, RJ). **Normas para Levantamentos GPS - versão Preliminar**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. (Rio de Janeiro, RJ). **Proposta Preliminar para a Adoção de um Referencial Geocêntrico no Brasil**. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sisref.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2006.

_____. (Rio de Janeiro, RJ). **Projeto SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul)**. Rio de Janeiro, 2002a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sirgas/realizacao.htm>. Acesso em: 14 jun 2006.

_____. (Rio de Janeiro, RJ). **Estações da RBMC**. 2002b. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/rbmc.shtm> Acesso em: 14 jun. 2006.

KÖSTERS, A. J. M. **Some Aspects of a 3: Dimensional Reference System for Surveying in the Netherlands**. Delft University of Technology. 1992

KUANG, S. **Optimization and Design of Deformation Schemes**. Technical Report, n. 157. University of New Brunswick. 1991.

KUANG, S. **Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications**. Chelsea, Michigan: Ann Arbor Press. 1996.

LANGLEY, R.B. Why is GPS signal so complex. **GPS World**. v. 90, n. 3, p. 56-59, 1990.

LANGLEY, R.B.. The GPS Error Budget. **GPS World**, v. 81, n. 3, p. 51-56, 1997.

LEICK A. **GPS Satellite Surveying**. 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1990.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 2nd ed. New York: Wiley, 1995. p. 56-59.

MADER, G. L.. GPS antenna calibration at the National Geodetic Survey. **.Net**, 2001.
Disponível em: <<http://www.gdrl.noaa.gov/GDR/Proiects/ANTCAL>> Acesso em: acesso em 10 abr. 2002.

MARINI, M. C.. **Integração da Rede GPS Itesp ao Sistema Geodésico Brasileiro**. 2002. 146p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MONICO, J. F. **Posicionamento pelo NAVSTAR/GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: UNESP, 2000.

MONICO, J. F. G. **High Precision Inter-Continental GPS Network**. 1995. PhD Thesis, University of Nottingham, Nottingham.

MORAES, R. V.; FITZGIBBON, K.T.; WALTER, F. **O Sistema GPS. Divisão de Engenharia Aeronáutica e Eletrônica**. GPS Brasil. São José dos Campos: ITA, 1998.

MÜLLER, H. A. Numerically Efficient Solution of the Second-order Design Problem. **Bulletin Géodésique**, v. 58, n. 1, p. 85-99, 1984.

RAMOS, D. **Geodésia na prática**. Araraquara: MDATA Informática, 1999. 231p.

RIBAS, E.B.; SARAIVA, C.C.S. Parâmetros para utilização do GPS na reambulação de mapas municipais: Viabilidade e Restrições. In: GISBRASIL. São Paulo, 1998.

RIZOS, C. Cap 10: GPS and Quality Control In: Principles and Practice of GPS **Surveying**, 1999. Disponível em: <http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/chap12/1231.htm>. Acesso em: 15 abr. 2006.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento Tecnologia Transdisciplinar**. 2 ed., Juiz de Fora: Revista. Atualizada e Ampliada. 2002. 220p.

SAPUCCI, L. A. **Estimativa do vapor d'água atmosférica e avaliação da modelagem do atraso zenital troposférico utilizando GPS**. 2001. 128p. Dissertação (Mestrado em

Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

SCHAFFRIN, B. **Aspects of Network Design. Optimization and Design of Geodetic Networks**. Wein: Springer-Verlag, Berlin . 1985.

SCHAFFRIN, B. Reproducing Estimators via Least-Squares: An Optimal Alternative to the Helmert Transformation - dedicated to Erik Grafarend at his 60th birthday. In: "**Quo Vadis, Geodesia**". Wein: Springer-Verlag, Berlin. 2001.

SCHMITT, G. Second Order Design. In: **Optimization and Design of Geodetic Networks**, edited by Grafarend and Sanso. Wien: Springer, Berlin. 1985. p.74-121.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. New York: Walter de Gruyter, 1993.

SEGANTINE, P.C.L. **GPS: Sistema de Posicionamento Global**. São Carlos: EESC/USP, 1999. 181p.

SILVA, I.; ERWES, H. **Curso de atualização em topografia e GPS**. São Carlos: EESC/USP, 1996.

SILVA, N. C. C; SANTOS, M. C; OLIVEIRA, L. C. Efeito da refração Troposférica no Posicionamento Geodésico com GPS. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 17, n. 2-3. 1999.

SNAY, R. Network Design Strategies Applicable to GPS Surveys Using Three or Four Receivers. **Bulletin Géodésique**. n. 60, 1986.

STEWART, M. P. How accurate is the Australian National GPS Network as a framework for GPS heighthing? Perth, West Austrália. **Curtin University of Technology**. (1999). Disponível em: <<http://www.cage.curtin.edu.au/~mike/geodesy/statefix/ozsurvey.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2006.

TEUNISSEN, P. J. G. Quality Control and GPS. In: KLEUSBERG, A., TEUNISSEN, P. J. G. **GPS For Geodesy**. Berlin: Verlag, 1998.

VANÍCEK, P.; KRAKIWSKY, E. F. **Geodesy: The Concepts**. North Holland Publishing Company, 1982.

WELLS, D. E. et al. **Guide to GPS Positioning**. Canadian GPS Associates, New Brunswick, Canada, 1986.

ANEXO A**TABELA DE ACURÁCIA DAS LINHAS DE BASE DA REDE GPS UNESP
MODELO DO PILAR DA REDE GPS UNESP**

Tabela 10 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP ASSI (Assis). *

Linha de Base	Distância (Km)	Acurácia Hz (m)	Acurácia Ver (m)
ASSI-NEIA	366,7	0,080	0,044
ASSI-NEIA	366,7	0,046	0,078
ASSI-NEIA	366,7	0,048	0,077
ASSI-NEIA	366,7	0,043	0,080
ASSI-PARA	333,3	0,038	0,078
ASSI-PARA	333,3	0,044	0,075
ASSI-PARA	333,3	0,048	0,072
ASSI-PARA	333,3	0,068	0,055
ASSI-PPTE	115,9	0,023	0,045
ASSI-PPTE	115,9	0,026	0,044
ASSI-PPTE	115,9	0,028	0,043
ASSI-PPTE	115,9	0,026	0,044
ASSI-RIOD	732,5	0,085	0,138
ASSI-RIOD	732,5	0,110	0,121
ASSI-RIOD	732,5	0,153	0,132
ASSI-RIOD	732,5	0,109	0,121
ASSI-UBAT	553,0	0,091	0,163
ASSI-UBAT	553,0	0,112	0,166
ASSI-UBAT	553,0	0,446	0,340
ASSI-UBAT	553,0	0,105	0,139
ASSI-UBER	471,3	0,051	0,092
ASSI-UBER	471,3	0,066	0,082
ASSI-UBER	471,3	0,079	0,075
ASSI-UBER	471,3	0,067	0,084
ASSI-VARG	530,6	0,061	0,078
ASSI-VARG	530,6	0,081	0,110
ASSI-VARG	530,6	0,106	0,109
ASSI-VARG	530,6	0,080	0,117

* Valores médios obtidos para levantamento de dados realizados em quadruplicata.

Tabela 11 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP DRAC (Dracena).*

Linha de Base	Distância (Km)	Acurácia Hz (m)	Acurácia Ver (m)
DRAC-NEIA	541,4	0,079	0,095
DRAC-NEIA	541,4	0,098	0,087
DRAC-NEIA	541,4	0,078	0,095
DRAC-NEIA	541,4	0,077	0,102
DRAC-PARA	501,3	0,071	0,094
DRAC-PARA	501,3	0,090	0,086
DRAC-PARA	501,3	0,068	0,096
DRAC-PARA	501,3	0,071	0,098
DRAC-PPTE	74,6	0,019	0,037
DRAC-PPTE	74,6	0,021	0,035
DRAC-PPTE	74,6	0,019	0,037
DRAC-PPTE	74,6	0,021	0,035
DRAC-RIOD	863,2	0,094	0,116
DRAC-RIOD	863,2	0,113	0,105
DRAC-RIOD	863,2	0,093	0,116
DRAC-RIOD	863,2	0,090	0,122
DRAC-UBAT	699,2	0,098	0,112
DRAC-UBAT	699,2	0,142	0,139
DRAC-UBAT	699,2	0,097	0,113
DRAC-UBAT	699,2	0,101	0,127
DRAC-UBER	442,0	0,052	0,086
DRAC-UBER	442,0	0,066	0,076
DRAC-UBER	442,0	0,053	0,085
DRAC-UBER	442,0	0,055	0,085
DRAC-VARG	633,8	0,070	0,102
DRAC-VARG	633,8	0,089	0,093
DRAC-VARG	633,8	0,070	0,103
DRAC-VARG	633,8	0,072	0,105

* Valores médios obtidos para levantamento de dados realizados em quadruplicata.

Tabela 12 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP GUAR (Guaratingueta). *

Linha de Base	Distância (Km)	Acurácia Hz (m)	Acurácia Ver (m)
GUAR-NEIA	371,3	0,061	0,069
GUAR-NEIA	371,3	0,045	0,080
GUAR-NEIA	371,3	0,045	0,080
GUAR-NEIA	371,3	0,048	0,079
GUAR-PARA	504,5	0,072	0,129
GUAR-PARA	504,5	0,077	0,100
GUAR-PARA	504,5	0,086	0,111
GUAR-PARA	504,5	0,077	0,099
GUAR-PPTE	644,3	0,079	0,135
GUAR-PPTE	644,3	0,078	0,115
GUAR-PPTE	644,3	0,096	0,120
GUAR-PPTE	644,3	0,085	0,110
GUAR-RIOD	193,3	0,047	0,054
GUAR-RIOD	193,3	0,032	0,058
GUAR-RIOD	193,3	0,03	0,060
GUAR-RIOD	193,3	0,035	0,057
GUAR-UBAT	77,6	0,017	0,039
GUAR-UBAT	77,6	0,018	0,038
GUAR-UBAT	77,6	0,021	0,036
GUAR-UBAT	77,6	0,016	0,039
GUAR-UBER	541,8	0,064	0,111
GUAR-UBER	541,8	0,069	0,098
GUAR-UBER	541,8	0,076	0,104
GUAR-UBER	541,8	0,073	0,095
GUAR-VARG	141,9	0,048	0,034
GUAR-VARG	141,9	0,020	0,053
GUAR-VARG	141,9	0,024	0,052
GUAR-VARG	141,9	0,027	0,050

* Valores médios obtidos para levantamento de dados realizados em quadruplicata.

Tabela 13 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP JABOT (Jaboticabal).*

Linha de Base	Distância (Km)	Acurácia Hz (m)	Acurácia Ver (m)
JABO-NEIA	420,1	0,053	0,087
JABO-NEIA	420,1	0,058	0,083
JABO-NEIA	420,1	0,065	0,079
JABO-NEIA	420,1	0,058	0,082
JABO-PARA	475,8	0,055	0,092
JABO-PARA	475,8	0,059	0,089
JABO-PARA	475,8	0,062	0,088
JABO-PARA	475,8	0,061	0,087
JABO-PPTE	337,4	0,043	0,076
JABO-PPTE	337,4	0,063	0,060
JABO-PPTE	337,4	0,044	0,075
JABO-PPTE	337,4	0,046	0,075
JABO-RIOD	542,8	0,087	0,110
JABO-RIOD	542,8	0,082	0,107
JABO-RIOD	542,8	0,094	0,102
JABO-RIOD	542,8	0,082	0,107
JABO-UBAT	411,0	0,057	0,092
JABO-UBAT	411,0	0,054	0,088
JABO-UBAT	411,0	0,059	0,095
JABO-UBAT	411,0	0,058	0,084
JABO-UBER	260,4	0,043	0,063
JABO-UBER	260,4	0,037	0,067
JABO-UBER	260,4	0,037	0,068
JABO-UBER	260,4	0,043	0,064
JABO-VARG	297,6	0,044	0,07
JABO-VARG	297,6	0,068	0,046
JABO-VARG	297,6	0,036	0,074
JABO-VARG	297,6	0,041	0,071

* Valores médios obtidos para levantamento de dados realizados em quadruplicata.

Tabela 14 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP MARI (Marília). *

Linha de Base	Distância (Km)	Acurácia Hz (m)	Acurácia Ver (m)
MARI-NEIA	372,4	0,046	0,08
MARI-NEIA	372,4	0,047	0,080
MARI-NEIA	372,4	0,044	0,081
MARI-NEIA	372,4	0,041	0,082
MARI-PARA	363,9	0,072	0,067
MARI-PARA	363,9	0,055	0,073
MARI-PARA	363,9	0,074	0,055
MARI-PARA	363,9	0,065	0,067
MARI-PPTE	149,1	0,027	0,052
MARI-PPTE	149,1	0,030	0,050
MARI-PPTE	149,1	0,027	0,052
MARI-PPTE	149,1	0,024	0,053
MARI-RIOD	688,1	0,099	0,132
MARI-RIOD	688,1	0,101	0,111
MARI-RIOD	688,1	0,108	0,123
MARI-RIOD	688,1	0,106	0,124
MARI-UBAT	516,9	0,097	0,138
MARI-UBAT	516,9	0,099	0,127
MARI-UBAT	516,9	0,126	0,166
MARI-UBAT	516,9	0,103	0,178
MARI-UBER	408,3	0,053	0,086
MARI-UBER	408,3	0,056	0,080
MARI-UBER	408,3	0,053	0,084
MARI-UBER	408,3	0,049	0,086
MARI-VARG	474,6	0,057	0,090
MARI-VARG	474,6	0,060	0,087
MARI-VARG	474,6	0,054	0,093
MARI-VARG	474,6	0,054	0,091

* Valores médios obtidos para levantamento de dados realizados em quadruplicata.

Tabela 15 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP PPRI (Rosana). *

Linha de Base	Distância (Km)	Acurácia Hz (m)	Acurácia Ver (m)
ROSA-NEIA	519,0	0,090	0,113
ROSA-NEIA	519,0	0,089	0,103
ROSA-NEIA	519,0	0,089	0,113
ROSA-NEIA	519,0	0,165	0,163
ROSA-PARA	498,2	0,059	0,091
ROSA-PARA	498,2	0,060	0,091
ROSA-PARA	498,2	0,059	0,092
ROSA-PARA	498,2	0,060	0,092
ROSA-PPTE	165,0	0,030	0,053
ROSA-PPTE	165,0	0,033	0,051
ROSA-PPTE	165,0	0,030	0,053
ROSA-PPTE	165,0	0,033	0,051
ROSA-RIOD	990,6	0,107	0,126
ROSA-RIOD	990,6	0,115	0,127
ROSA-RIOD	990,6	0,103	0,131
ROSA-RIOD	990,6	0,118	0,132
ROSA-UBAT	809,5	0,111	0,125
ROSA-UBAT	809,5	0,123	0,135
ROSA-UBAT	809,5	0,111	0,124
ROSA-UBAT	809,5	0,134	0,142
ROSA-UBER	628,0	0,074	0,108
ROSA-UBER	628,0	0,086	0,102
ROSA-UBER	628,0	0,075	0,106
ROSA-UBER	628,0	0,088	0,105
ROSA-VARG	783,0	0,080	0,116
ROSA-VARG	783,0	0,092	0,112
ROSA-VARG	783,0	0,081	0,116
ROSA-VARG	783,0	0,095	0,113

* Valores médios obtidos para levantamento de dados realizados em quadruplicata.

Tabela 16 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP RUJU (Botucatu). *

Linha de Base	Distância (Km)	Acurácia Hz (m)	Acurácia Ver (m)
RUJU-NEIA	243,2	0,035	0,065
RUJU-NEIA	243,2	0,031	0,068
RUJU-NEIA	243,2	0,034	0,066
RUJU-NEIA	243,2	0,043	0,060
RUJU-PARA	293,4	0,045	0,068
RUJU-PARA	293,4	0,035	0,074
RUJU-PARA	293,4	0,037	0,072
RUJU-PARA	293,4	0,051	0,064
RUJU-PPTE	311,9	0,045	0,071
RUJU-PPTE	311,9	0,035	0,077
RUJU-PPTE	311,9	0,045	0,071
RUJU-PPTE	311,9	0,040	0,074
RUJU-RIOD	532,2	0,083	0,095
RUJU-RIOD	532,2	0,074	0,105
RUJU-RIOD	532,2	0,080	0,095
RUJU-RIOD	532,2	0,084	0,109
RUJU-UBAT	351,9	0,049	0,074
RUJU-UBAT	351,9	0,039	0,08
RUJU-UBAT	351,9	0,041	0,079
RUJU-UBAT	351,9	0,045	0,077
RUJU-UBER	443,0	0,057	0,084
RUJU-UBER	443,0	0,050	0,088
RUJU-UBER	443,0	0,053	0,086
RUJU-UBER	443,0	0,053	0,087
RUJU-VARG	348,6	0,045	0,077
RUJU-VARG	348,6	0,039	0,080
RUJU-VARG	348,6	0,044	0,077
RUJU-VARG	348,6	0,046	0,076

* Valores médios obtidos para levantamento de dados realizados em quadruplicata.

Tabela 17 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP SAPA (São Paulo).*

Linha de Base	Distância (Km)	Acurácia Hz (m)	Acurácia Ver (m)
SAPA-NEIA	208,8	0,030	0,062
SAPA-NEIA	208,8	0,033	0,060
SAPA-NEIA	208,8	0,036	0,059
SAPA-NEIA	208,8	0,034	0,060
SAPA-PARA	336,5	0,038	0,079
SAPA-PARA	336,5	0,044	0,077
SAPA-PARA	336,5	0,050	0,072
SAPA-PARA	336,5	0,059	0,066
SAPA-PPTE	514,2	0,080	0,118
SAPA-PPTE	514,2	0,092	0,100
SAPA-PPTE	514,2	0,097	0,109
SAPA-PPTE	514,2	0,088	0,115
SAPA-RIOD	350,8	0,041	0,079
SAPA-RIOD	350,8	0,046	0,077
SAPA-RIOD	350,8	0,050	0,074
SAPA-RIOD	350,8	0,052	0,073
SAPA-UBAT	155,5	0,028	0,052
SAPA-UBAT	155,5	0,028	0,052
SAPA-UBAT	155,5	0,027	0,053
SAPA-UBAT	155,5	0,030	0,051
SAPA-UBER	544,2	0,069	0,110
SAPA-UBER	544,2	0,082	0,094
SAPA-UBER	544,2	0,085	0,099
SAPA-UBER	544,2	0,078	0,103
SAPA-VARG	254,4	0,035	0,068
SAPA-VARG	254,4	0,037	0,066
SAPA-VARG	254,4	0,041	0,064
SAPA-VARG	254,4	0,036	0,067

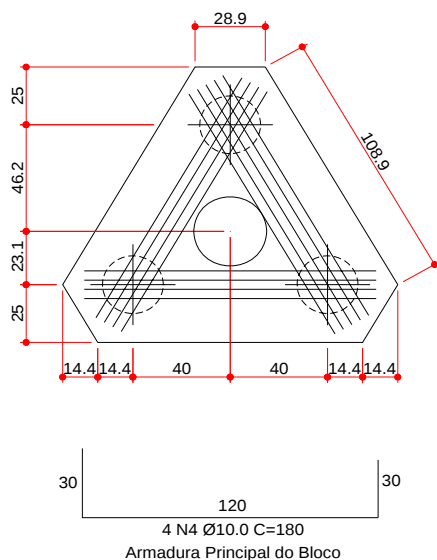
* Valores médios obtidos para levantamento de dados realizados em quadruplicata.

Tabela 18 Acurácia relativa das linhas de base da Rede GPS UNESP SJCA (São Jose do Campos).*

Linha de Base	Distância (Km)	Acurácia Hz (m)	Acurácia Ver (m)
SJCA-NEIA	289,1	0,039	0,071
SJCA-NEIA	289,1	0,042	0,029
SJCA-NEIA	289,1	0,037	0,072
SJCA-NEIA	289,1	0,036	0,072
SJCA-PARA	420,9	0,054	0,085
SJCA-PARA	420,9	0,059	0,082
SJCA-PARA	420,9	0,055	0,091
SJCA-PARA	420,9	0,054	0,086
SJCA-PPTE	579,7	0,088	0,111
SJCA-PPTE	579,7	0,091	0,117
SJCA-PPTE	579,7	0,089	0,135
SJCA-PPTE	579,7	0,090	0,113
SJCA-RIOD	268,0	0,036	0,069
SJCA-RIOD	268,0	0,037	0,069
SJCA-RIOD	268,0	0,035	0,070
SJCA-RIOD	268,0	0,040	0,067
SJCA-UBAT	85,4	0,018	0,04
SJCA-UBAT	85,4	0,018	0,04
SJCA-UBAT	85,4	0,019	0,040
SJCA-UBAT	85,4	0,019	0,039
SJCA-UBER	539,7	0,068	0,108
SJCA-UBER	539,7	0,077	0,101
SJCA-UBER	539,7	0,072	0,12
SJCA-UBER	539,7	0,068	0,109
SJCA-VARG	189,3	0,028	0,059
SJCA-VARG	189,3	0,030	0,058
SJCA-VARG	189,3	0,032	0,057
SJCA-VARG	189,3	0,029	0,059

- Valores médios obtidos para levantamento de dados realizados em quadruplicata.

PILAR DE CONCRETO ARMADO DA REDE GPS UNESP



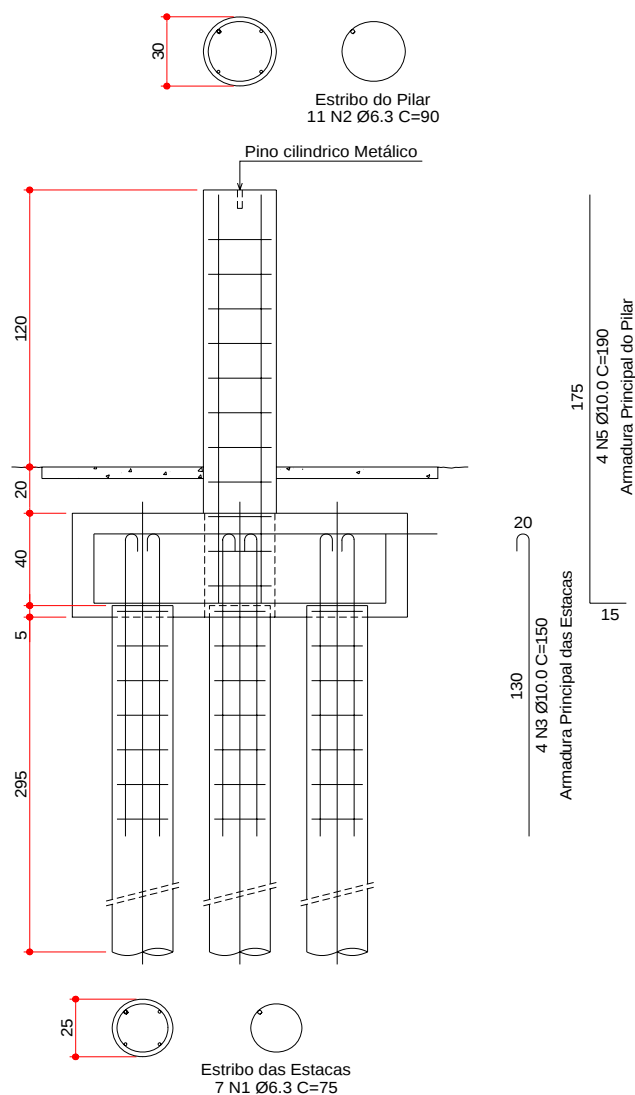
RELAÇÃO DO AÇO

ACO	N	DIAM.	Q.	UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
60	1	6.3	21	75	1575
50A	2	6.3	11	90	990
	3	10.0	12	150	1800
	4	10.0	12	180	2160
	5	10.0	4	190	760

RESUMO DO AÇO

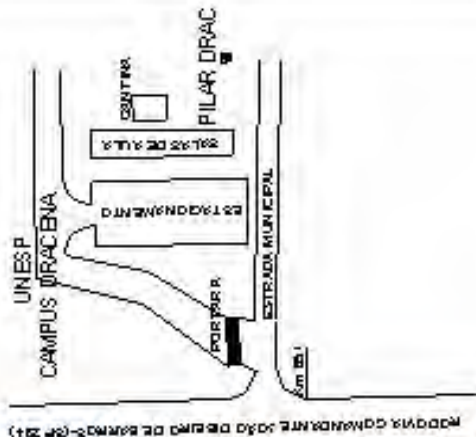
ACO	DIAM.	C.TOTAL (m)	PESO+10% (kg)
CA50A	6.3 10.0	25.7 47.2	7.1 32.7
PESO TOTAL			
CA50A	39.8		

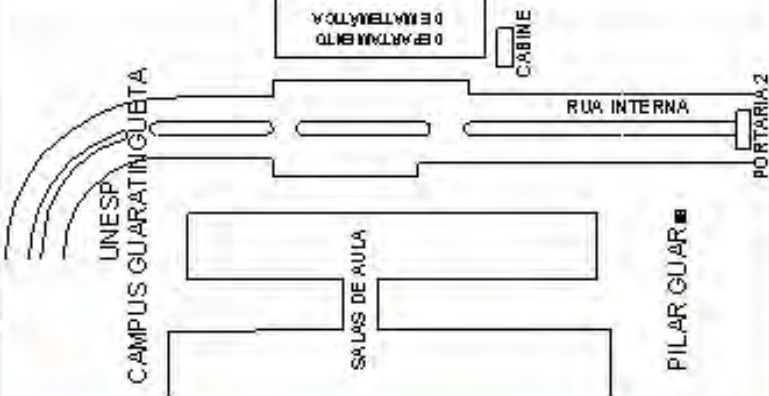
$f_{ck} = 15 \text{ MPa}$

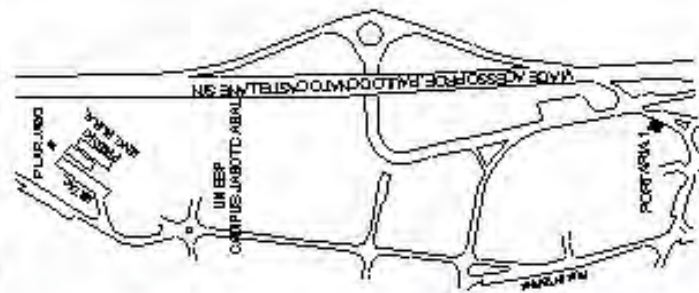


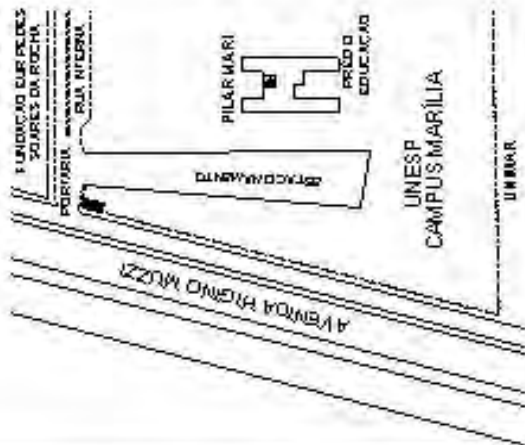
APÊNDICE A
MONOGRAFIA DOS VÉRTICES DA REDEGPS UNESP

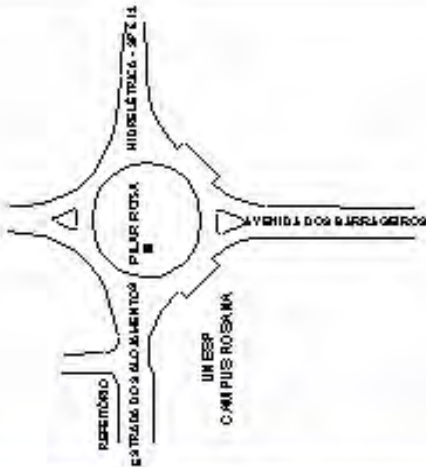
Código do Ponto:		Nome do Ponto: ASSI		Município: ASSIS / SP	
Estação	Coordenadas Geodésicas¹:			Coordenadas Plano-retangulares (UTM, fuso 51°W):	
	SAD 69	WGS 84		SAD 69	WGS 84
ASSI (pilar)	$\varphi = 22^{\circ}39'00,7723''S \pm 0,006 \text{ m}$ $\lambda = 50^{\circ}26'19,0275''W \pm 0,009 \text{ m}$ H = 572,39 m	$\varphi = 22^{\circ}39'02,48948''S$ $\lambda = 50^{\circ}26'20,73553''W$		N = 7495083,059 m E = 557679,237 m	N = 7495039,097 m E = 557630,082 m
Localização: Campus da Unesp de Assis fica na Avenida Dom Antonio nº 2100, o pilar esta localizado ao lado do Prédio-Laboratório Didático de Biotecnologia. OBS: Altitude sobre o nível médio dos mares Descrição do Vértice: Trata-se de um pilar de concreto, de forma cilíndrica, medindo 1,10 m de altura por 30 cm de diâmetro. O vértice "tem, no topo, um dispositivo de centragem forçada, com diâmetro de 5/8".					
					

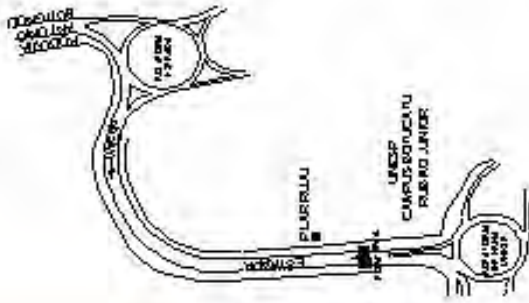
Código do Ponto:		Nome do Ponto: DRAC		Município: DRACENA / SP	
Estação	Coordenadas Geodésicas ¹ :		Coordenadas Plano-retangulares (UTM, fuso 51°W):		
	SAD 69	WGS 84	SAD 69	WGS 84	
DRAC (pilar)	$\varphi = 21^{\circ}27'34,103''S \pm 0,007 \text{ m}$ $\lambda = 51^{\circ}33'10,2673''W \pm 0,009 \text{ m}$ H = 381,40 m	$\varphi = 21^{\circ}27'35,79119''S$ $\lambda = 51^{\circ}33'11,99179''W$	$N = 7626890,523 \text{ m}$ $E = 442719,562 \text{ m}$	$N = 7626846,658 \text{ m}$ $E = 442670,319 \text{ m}$	
Localização: Campus da Unesp de Dracena fica na Rodovia Comandante João Ribeiro de Barros – SP 294, Km 651, Bairro das Antas; o pilar está localizado em um pasto ao lado da cantina e salas de aula.					
OBS: Altitude sobre o nível médio dos mares					
Descrição do Vértice: Trata-se de um pilar de concreto, de forma cilíndrica, medindo 1,10 m de altura por 30 cm de diâmetro. O vértice “tem, no topo, um dispositivo de centragem forçada, com diâmetro de 5/8”.					

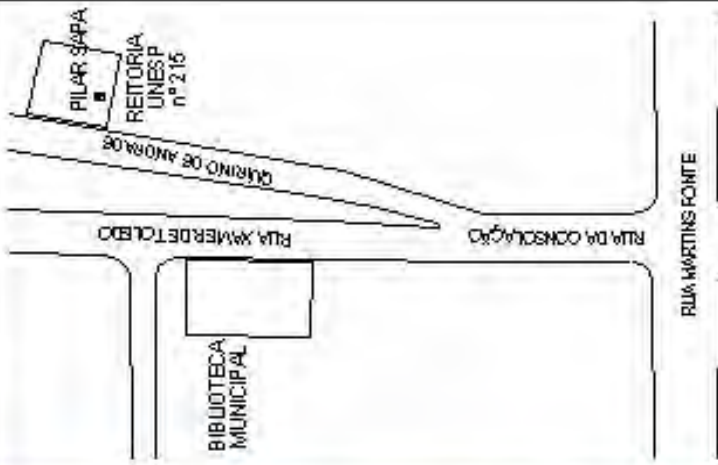
Código do Ponto:		Nome do Ponto: GUAR	Município: GUARATINGUETA / SP	
Estação	Coordenadas Geodésicas:		Coordenadas Plano-retangulares (UTM, fuso 51°W):	
	SAD 69	WGS 84	SAD 69	WGS 84
GUAR (pilar)	$\varphi = 22^{\circ}48'09,0408''S \pm 0,005 \text{ m}$ $\lambda = 45^{\circ}11'20,319''W \pm 0,006 \text{ m}$ $H = 568,86 \text{ m}$	$\varphi = 22^{\circ}48'10,81398''S$ $\lambda = 45^{\circ}11'21,87413''W$	$N = 7466570,487 \text{ m}$ $E = 1097108,431 \text{ m}$	$N = 7478274,926 \text{ m}$ $E = 480560,948 \text{ m}$
Localização: Campus da Unesp de Guaratinguetá fica na Avenida Dr. Aníberto Pereira da Cunha n°333, o pilar está localizado ao lado da central de aula. OBS: Altitude sobre o nível médio dos mares				
Descrição do Vértice: Trata-se de um pilar de concreto, de forma cilíndrica, medindo 1,10 m de altura por 30 cm de diâmetro. O vértice “tem, no topo, um dispositivo de centragem forçada, com diâmetro de 5/8”.				

Código do Ponto:		Nome do Ponto: JABO	Município: JABOTICABAL / SP	
Estação	Coordenadas Geodésicas:		Coordenadas Plano-retangulares (UTM, fuso 51°W):	
	SAD 69	WGS 84	SAD 69	WGS 84
JABO (pilar)	$\varphi = 21^{\circ}14'26,0823''S \pm 0,008 \text{ m}$ $\lambda = 48^{\circ}17'10,2861''W \pm 0,013 \text{ m}$ $H = 576,14 \text{ m}$	$\varphi = 21^{\circ}14'27,79905''S$ $\lambda = 48^{\circ}17'11,91631''W$	$N = 7648800,494 \text{ m}$ $E = 781667,796 \text{ m}$	$N = 7648756,600 \text{ m}$ $E = 781618,845 \text{ m}$
Localização: O pilar está localizado dentro do Campus da Unesp-Jaboticabal, na Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n próximo ao departamento de Eng. Rural, distante aproximadamente 50 m. OBS: Altitude sobre o nível médio dos mares				
Descrição do Vértice: Trata-se de um pilar de concreto, de forma cilíndrica, medindo 1,20 m de altura por 30 cm de diâmetro. O vértice "tem, no topo, um dispositivo de centragem forçada, com diâmetro de 5/8".				

Código do Ponto:		Nome do Ponto: MARI	Município: MARILIA / SP	
Estação	Coordenadas Geodésicas:		Coordenadas Plano-retangulares (UTM, fuso 51°W):	
	SAD 69	WGS 84	SAD 69	WGS 84
MARI (pilar)	$\varphi = 22^{\circ}13'59,4849''S \pm 0,007 \text{ m}$ $\lambda = 49^{\circ}58'04,2991''W \pm 0,010 \text{ m}$ $H = 679,41 \text{ m}$	$\varphi = 22^{\circ}14'01,20069''S$ $\lambda = 49^{\circ}58'05,98876''W$	$N = 7540990,750 \text{ m}$ $E = 606367,734 \text{ m}$	$N = 7540946,815 \text{ m}$ $E = 606318,618 \text{ m}$
Localização: O pilar está localizado no topo do prédio da educação, no Campus da Unesp de Marília fica na Avenida Higino Muzzi Filho nº 737. OBS: Altitude sobre o nível médio dos mares Descrição do Vértice: Trata-se de um pilar de concreto, de forma cilíndrica, medindo 1,10 m de altura por 30 cm de diâmetro. O vértice "tem, no topo, um dispositivo de centragem forçada, com diâmetro de 5/8".		 		

Código do Ponto:		Nome do Ponto: PPRI		Município: ROSANA / SP	
Estação	Coordenadas Geodésicas ¹ :			Coordenadas Plano-retangulares (UTM, fuso 51°W):	
	SAD 69	WGS 84		SAD 69	WGS 84
PPRI (pilar)	$\varphi = 22^{\circ}31'17,8054''S \pm 0,011 \text{ m}$ $\lambda = 52^{\circ}57'01,4397''W \pm 0,015 \text{ m}$ H = 301,11 m	$\varphi = 25^{\circ}01'12,87078''S$ $\lambda = 47^{\circ}55'29,86229''W$		$N = 7229330,525 \text{ m}$ $E = 810395,813 \text{ m}$	$N = 7508075,2362 \text{ m}$ $E = 299344,995 \text{ m}$
Localização: O Pilar fica na rotatória da Avenida dos Barrageiro com a Rua Estrada dos Alojamentos, no distrito de Porto Primavera, no município de Rosana, ao lado do Campus da Unesp.					
OBS: Altitude sobre o nível médio dos mares					
Descrição do Vértice: Trata-se de um pilar de concreto, de forma cilíndrica, medindo 1,10 m de altura por 30 cm de diâmetro. O vértice “tem, no topo, um dispositivo de centragem forçada, com diâmetro de 5/8”.					

Código do Ponto:		Nome do Ponto: RUJU	Município: BOTUCATU / SP	
Estação	Coordenadas Geodésicas:		Coordenadas Plano-retangulares (UTM, fuso 51°W):	
	SAD 69	WG84	SAD 69	WG84
RUJU (pilar)	$\varphi = 22^{\circ}53'13,1916''S \pm 0,006 \text{ m}$ $\lambda = 48^{\circ}29'30,8721''W \pm 0,007 \text{ m}$ $H = 875,28 \text{ m}$	$\varphi = 22^{\circ}53'14,93284''S$ $\lambda = 48^{\circ}29'32,52718''W$	$N = 7466789,520 \text{ m}$ $E = 757305,109 \text{ m}$	$N = 7466745,501 \text{ m}$ $E = 757256,079 \text{ m}$
Localização: Campus da Unesp de Rubião Junior fica na estrada municipal que liga Botucatu ao Distrito de Rubião Junior s/n, no município de Botucatu, o pilar está localizado ao lado da portaria principal 40 m OBS: Altitude sobre o nível médio dos mares Descrição do Vértice: Trata-se de um pilar de concreto, de forma cilíndrica, medindo 1,10 m de altura por 30 cm de diâmetro. O vértice "tem, no topo, um dispositivo de centragem forçada, com diâmetro de 5/8".		 		

Código do Ponto:		Nome do Ponto: SAPA	Município: SÃO PAULO / SP	
Estação	Coordenadas Geodésicas:		Coordenadas Plano-retangulares (UTM, fuso 45°W):	
	SAD 69	WGS 84	SAD 69	WGS 84
SAPA (pilar)	$\varphi = 23^{\circ}32'51,171''S \pm 0,005 \text{ m}$ $\lambda = 46^{\circ}38'25,5637''W \pm 0,007 \text{ m}$ $H = 805,99 \text{ m}$	$\varphi = 23^{\circ}32'52,94205''S$ $\lambda = 46^{\circ}38'27,17195''W$	$N = 7389079,514 \text{ m}$ $E = 945248,657 \text{ m}$	$N = 7394851,957 \text{ m}$ $E = 332510,844 \text{ m}$
Localização: O pilar está localizado no topo do prédio da Reitoria (Unesp), localizado na Rua Quirino de Andrade nº215, centro, na Cidade de São Paulo-SP. OBS: Altitude sobre o nível médio dos mares				
Descrição do Vértice: Trata-se de um pilar de concreto, de forma cilíndrica, medindo 1,10 m de altura por 30 cm de diâmetro. O vértice “tem, no topo, um dispositivo de centragem forçada, com diâmetro de 5/8”.				

Código do Ponto:		Nome do Ponto: SJCA	Município: SÃO JOSE DOS CAMPOS / SP	
Estação	Coordenadas Geodésicas:		Coordenadas Plano-retangulares (UTM, fuso 45°W):	
	SAD 69	WGS 84	SAD 69	WGS 84
SJCA (pilar)	$\varphi = 23^{\circ}11'54,2986''S \pm 0,006 \text{ m}$ $\lambda = 45^{\circ}53'14,5474''W \pm 0,006 \text{ m}$ $H = 613,42 \text{ m}$	$\varphi = 23^{\circ}11'56,07159''S$ $\lambda = 45^{\circ}53'16,12866''W$	$N = 7425286,380 \text{ m}$ $E = 1023665,148 \text{ m}$	$N = 7434183,518 \text{ m}$ $E = 409146,852 \text{ m}$
Localização: O pilar está localizado no topo do prédio da Administração dentro do Campus da Unesp de São José dos Campos, na Av. Eng. Francisco José Longo n° 777, Jardim São Dimas. OBS: Altitude sobre o nível médio dos mares Descrição do Vértice: Trata-se de um pilar de concreto, de forma cilíndrica, medindo 1,10 m de altura por 30 cm de diâmetro. O vértice “tem, no topo, um dispositivo de centragem forçada, com diâmetro de 5/8”.		 