ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS PARA PROCESSAMENTO DE REDES GEODÉSICAS COM O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL - GPS

Ana Paula Camargo Larocca

*Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil - Área de
Concentração Transportes.*

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Cesar Lima Segantine

**São Carlos
2000**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira **ANA PAULA CAMARGO LAROCCA**

Dissertação defendida e aprovada em 10-03-2000
pela Comissão Julgadora:

Prof. Doutor **PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Associado **JORGE PIMENTEL CINTRA**
(Escola Politécnica - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **RICARDO ERNESTO SCHAAL**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Assoc. **ANTÔNIO NÉLSON R. DA SILVA**
Coordenador da Área de Transportes

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*Aos meus pais,
Adsir Paula Camargo Larocca
e José Larocca, meus exemplos
de vida.*

Agradecimentos

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Paulo Cesar Lima Segantine, pelas críticas e sugestões neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Ricardo Ernesto Schaal, pela importante colaboração no desenvolvimento e finalização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antônio Marozzi Righetto e ao Prof. Dr. Arthur Mattos, pela colaboração no entendimento e obtenção de dados meteorológicos.

Ao Prof. Dr. Antônio Nelson Rodrigues da Silva, pelo apoio na pós-graduação.

Ao Prof. Edvaldo Simões da Fonseca Jr., por sugestões no início deste trabalho.

À Sra. Denise Regina S. Abreu e ao Sr. Orivaldo Brunini, do IAC, pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

Aos responsáveis pelo Serviço de atendimento do IBGE, em especial à Sra. Kátia D. Pereira, pelas informações concedidas.

A Joseph S. Gispert Jr., da Coast Guard Liaison, HQ Air Force Space Command (DORS), pelo envio de materiais solicitados.

A Stephen Malys, do NIMA, e a Zuheir Altamimi, do IGN, pela atenção no esclarecimento de dúvidas e envio de materiais solicitados.

Ao Prof. Dr. Irineu da Silva, pelo empréstimo da chave de dupla frequência do programa SKI.

À amiga Lisle, pelo constante apoio e incentivo.

A todos os colegas, professores e funcionários do Departamento de Transportes da EESC-USP.

Às amigas Adriana, Ane, Dri, Cintia, e Lú.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida.

*“É preciso lutar por um ideal. Essa é minha meta.
Não vou competir apenas por competir.
Vencer faz parte da minha filosofia.”*

Ayrton Senna

SUMÁRIO

<i>LISTA DE FIGURAS</i>	<i>vii</i>
<i>LISTA DE TABELAS</i>	<i>xii</i>
<i>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</i>	<i>xvi</i>
<i>LISTA DE SÍMBOLOS</i>	<i>xix</i>
<i>RESUMO</i>	<i>xix</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>xx</i>
<i>CAPÍTULO 1</i>	<i>1</i>
1- Introdução	2
1.1 - Objetivos do Trabalho	3
1.2 - Justificativas do Trabalho	4
<i>CAPÍTULO 2 - REDES GEODÉSICAS</i>	<i>5</i>
2 - Introdução	6
2.1. - Redes Geodésicas Horizontais	7
2.2 - Redes Geodésicas Verticais	7
2.3 - Redes Geodésicas com GPS	8
2.3.1 - Rede GPS Mundial (IGS)	8
2.3.2 - Rede Continental Sul - Americana (SIRGAS)	9
2.3.3 - Rede Nacional GPS	11
2.3.4 - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC)	11
2.3.5 - Redes Regionais, Subregionais e Distritais	11
2.3.5.1 - Rede GPS do Estado de São Paulo	11
<i>CAPÍTULO 3 - LEVANTAMENTOS COM GPS</i>	<i>14</i>
3.1 - Características Desejáveis na Escolha dos Pontos a serem Determinados com GPS:	15
3.2 - Fatores que Determinam o Tempo de uma Observação:	15
3.3 - Método Estático	16
3.4 - Métodos para Levantamento	17
3.5 - Estratégias de Observação	17
3.6 - Processamento dos Dados do Levantamento	18
3.7 - Verificação da Qualidade dos Dados do Levantamento	19

CAPÍTULO 4 - CARACTERÍSTICAS DO SINAL GPS	21
4.1 - Estrutura do Sinal GPS	22
4.2 - Implementação do Terceiro Sinal GPS para Civis	23
4.3 - Limitação Intencional da Precisão do Sistema	24
4.3.1- Standard Positioning Service (SPS)	24
4.3.2 - Precise Positioning Service (PPS)	24
4.3.3- Anti-Spoofing (AS)	25
4.3.4- Selective Availability (SA)	25
 CAPÍTULO 5 - INFLUENTES SOBRE A PROPAGAÇÃO DO SINAL GPS	 26
5 - Introdução	27
5.1 - Atraso de Propagação na Ionosfera	27
5.1.1 - Influência da aurora polar e da atividade solar	30
5.1.2.- Influência da cintilação ionosférica	31
5.2 – Atraso de Propagação na Troposfera	32
5.2.1 - Modelos Troposféricos	33
5.2.1.1 - Modelo do atraso total de Saastamoinen:	34
5.2.1.2 - Modelo do atraso total de Hopfield	35
5.3 - Efeito do Multicaminhamento nas proximidades da Antena do Receptor	35
5.4 - Influência da Variação do Centro de fase da Antena	36
5.5 - Influência Meteorológica	37
5.6 - Sensibilidade ao Vapor de Água	39
5.7 - Perda de Ciclos	41
5.8 - Ambigüidade	42
5.9 - Erros do Relógio	43
 CAPÍTULO 6 - GRANDEZAS OBSERVÁVEIS GPS	 45
6.1 - Pseudodistância	46
6.2 - Fase da Portadora	46
6.2.1 - Simples diferença	46
6.2.2 - Dupla diferença	47
6.2.3 - Tripla diferença	48

CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAIS	49
7 - Introdução	50
7.1 - Sistema de Referência WGS 84	50
7.2 - IERS - International Earth Rotation Service	52
7.2.1 - Referências IERS	52
7.2.1.1 - Referências ITRF	52
7.3 - Relações entre o WGS 84 e o ITRF	54
7.3.1 - Concordância entre o WGS 84 e o ITRF	54
7.3.2 - Transformação de Sistemas	55
 CAPÍTULO 8 - ELABORAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO VETORIAL PARA AS ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTOS	 57
8.1 - Dados Necessários	58
8.2 - Escolha dos Pontos de Injunção	60
8.3 - Escolha dos Vetores para a Composição da Estratégia de Processamento	62
8.4 - Análise ao Nível de Planejamento das Sessões de Observação	65
8.4.1 - Observações sobre as sessões determinadas em 1994	68
8.5 - Apresentação da Estratégia Proposta	69
 CAPÍTULO 9 - ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTOS	 76
9 - Introdução	77
9.1. - Estratégia de Processamento 1	77
9.2 - Estratégia de Processamento 2	78
9.3 - Estratégia de Processamento 3	79
9.4 - Estratégia de Processamento 4	80
 CAPÍTULO 10 - RECURSOS NECESSÁRIOS PARA OS PROCESSAMENTOS	 81
10.1 - Programas Computacionais para Processamentos	82
10.1.1 - Considerações sobre os programas	83
10.2 - Dados Meteorológicos	84
10.3 - Dados de Efemérides Precisas	87
10.4 - Dados de Efemérides Transmitidas	89

CAPÍTULO 11 - PROCESSAMENTOS	90
11.1 - Considerações sobre os Critérios do Programa para Realização dos Processamentos	91
11.2 - Intervenções Realizadas Manualmente no Processamento	92
11.3 - Resultados dos Processamentos	97
11.3.1 - Coordenadas preliminares das estações para o ajustamento	97
11.3.2 - Valores das diferenças em relação aos eixos cartesianos X, Y e Z dos vetores processados	97
CAPÍTULO 12 - AJUSTAMENTOS	99
12.1 – Programas Computacionais	100
12.2 - Resultados dos Ajustamentos	102
12.2.1 - Resultados dos ajustamentos da estratégia com tempo total	102
12.2.1.1 - Estratégia 1 - Injunções mínimas CHUA e CAPA	102
12.2.1.2 - Estratégia 1.1 - Injunções mínimas CAPA e UEPP	104
12.2.2 - Resultados dos ajustamentos das estratégia com 2:30h	106
12.2.2.1 - Estratégia 2 - Injunções mínimas CHUA e CAPA	106
12.2.2.2 - Estratégia 3 - Injunções mínimas CHUA e CAPA	108
12.2.2.3 - Estratégia 4 - Injunções mínimas CHUA e CAPA	110
CAPÍTULO 13 - ELIPSES DE ERROS	113
13.1 - Elipses de Erros da Estratégia 1	113
13.2 - Elipses de Erros da Estratégia 1.1	115
13.3 - Elipses de Erros da Estratégia 2	117
13.4 - Elipses de Erros da Estratégia 3	119
13.4 - Elipses de Erros da Estratégia 4	121
CAPÍTULO 14 - ANÁLISES DOS AJUSTAMENTOS	123
14.1 - Análise 1 - Verificação da Suficiência de Sessões com 2:30 horas de Observação	126
14.2 - Análise 2 - Verificação da Influência da utilização de valores atmosféricos reais	133
14.3 - Análise 3 - Verificação da Influência da utilização de efemérides precisas e das transmitidas	140
14.4 - Análise 4 - Verificação da Influência de vetores maiores que 150km processadas em conjunto com vetores menores que 150km.	147

14.5 - Análise 5 - Comparação das Coordenadas obtidas dos Ajustamentos realizados com Diferentes Injunções	155
14.5.1 - Comparações das coordenadas de CAPA	159
14.5.2 - Comparações das coordenadas de UEPP	160
14.5.3 - Comparações das coordenadas do Vértice CHUA	161
 CAPÍTULO 15 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	 163
15.1- Conclusões sobre o Programa de Processamento	164
15.2 - Conclusões sobre os programas de ajustamento	165
15.3 - Conclusões sobre a qualidade dos dados coletados em 1994	166
15.4 - Conclusões sobre o Ajustamento das Estratégias 1 e 2	166
15.5 - Conclusões sobre os Ajustamentos das Estratégias 2 e 3	167
15.6 - Conclusões sobre os ajustamentos das estratégias 2 e 4	168
15.7 - Conclusões sobre os ajustamentos para verificação da influência de vetores maiores que 150km processadas em conjunto com vetores menores que 150km.	169
15.8 - Conclusões sobre os Ajustamentos das Estratégias 1 e 1.1	169
15.8.1 - Conclusões sobre comparações das coordenadas de CAPA	170
15.9 - Recomendações	172
 ANEXO A	 174
ANEXO B	176
ANEXO C	182
ANEXO D	191
ANEXO E	192
ANEXO F	196
ANEXO G	198
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 201
 APÊNDICE I	 I

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Estações ocupadas durante a campanha GPS SIRGAS 95	10
FIGURA 02 - Estações da Rede GPS do Estado de São Paulo	12
FIGURA 03 - Ciclo das Atividades Solar	31
FIGURA 04 - Observação da simples diferença	46
FIGURA 05 - Observação da dupla diferença	47
FIGURA 06 - Observação da tripla diferença	48
FIGURA 07 - Sistemas Cartesianos	55
FIGURA 08 - Localização das estações da rede GPS do Estado de São Paulo	59
FIGURA 09 - Construção gráfica original dos vetores observados na sessão do DOY 072	63
FIGURA 10- Construção gráfica original dos vetores observados na sessão do DOY 332	64
FIGURA 11 - Construção gráfica final da sessão DOY 072 (a partir da FIGURA 10)	66
FIGURA 12 - Construção gráfica final da sessão DOY 332 (a partir da FIGURA 02)	67
FIGURA 13 - Construção gráfica geral dos sentidos de caminhamentos para processamento dos vetores	70
FIGURA 14 - Construção gráfica vetorial da estratégia de processamento proposta	75
FIGURA 15 - Exemplo de satélite com dado ruim	93
FIGURA 16 - Dados dos satélites sem correção - Taquarussu - DOY 335	94
FIGURA 17 - Dados dos satélites após correções manuais - Taquarussu - DOY 335	94
FIGURA 18 - Dados dos satélites sem correção - Paraibuna - DOY 069	95
FIGURA 19 - Dados dos satélites após correções manuais- Paraibuna - DOY 069	95
FIGURA 20 - Exemplo de ocorrência de perdas de ciclos	96
FIGURA 21 - Configuração gráfica vetorial da rede para a Estratégia 1 - Injunções CHUA e CAPA -	104
FIGURA 22 - Configuração gráfica vetorial da rede para a Estratégia 1.1	106
FIGURA 23 - Configuração gráfica vetorial da rede para a Estratégia 2	108
FIGURA 24 - Configuração gráfica vetorial da rede para a Estratégia 3	110
FIGURA 25 - Configuração gráfica vetorial da rede para a Estratégia 4	112
FIGURA 26 - Elipses de Erros - Estratégia 1	113
FIGURA 27 - Elipses de Erros - Estratégia 1.1	115
FIGURA 28- Elipses de Erros - Estratégia 2	117
FIGURA 29- Elipses de Erros - Estratégia 3	119
FIGURA 30 - Elipses de Erros - Estratégia 4	121
FIGURA 31 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto USPP	127

FIGURA 32 - Gráfico dos valores das diferenças das _____ alturas do ponto USPP _____	127
FIGURA 33 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____ nas Direções N e E do ponto VALI _____	128
FIGURA 34 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto VALI _____	128
FIGURA 35 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____ nas Direções N e E do ponto MARI _____	129
FIGURA 36 - Gráfico dos valores das diferenças das _____ alturas do ponto MARI _____	129
FIGURA 37 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____ nas Direções N e E do ponto ILHA _____	130
FIGURA 38 - Gráfico dos valores das diferenças das _____ alturas do ponto ILHA _____	130
FIGURA 39 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____ nas Direções N e E do ponto SJRP _____	131
FIGURA 40 - Gráfico dos valores das diferenças das _____ alturas do ponto SJRP _____	131
FIGURA 41 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____ nas Direções N e E do ponto REGI _____	132
FIGURA 42 - Gráfico dos valores das diferenças das _____ alturas do ponto REGI _____	132
FIGURA 43 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____ nas Direções N e E do ponto USP - SP _____	134
FIGURA 44 - Gráfico dos valores das diferenças das _____ alturas do ponto REGI _____	134
FIGURA 45 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____ nas Direções N e E do ponto VALI _____	135
FIGURA 46 - Gráfico dos valores das diferenças das _____ alturas do ponto VALI _____	135
FIGURA 47 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____ nas Direções N e E do ponto MARI _____	136
FIGURA 48 - Gráfico dos valores das diferenças das _____ alturas do ponto MARI _____	136
FIGURA 49 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____ nas Direções N e E do ponto ILHA _____	137
FIGURA 50 - Gráfico dos valores das diferenças das _____ alturas do ponto ILHA _____	137
FIGURA 51 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____	

nas Direções N e E do ponto SJRP	138
FIGURA 52 - Gráfico dos valores das diferenças das	
alturas do ponto SJRP	138
FIGURA 53 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas	
nas Direções N e E do ponto REGI	139
FIGURA 54 - Gráfico dos valores das diferenças das	
alturas do ponto REGI	139
FIGURA 55 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas	
nas Direções N e E do ponto USPP	141
FIGURA 56 - Gráfico dos valores das diferenças das	
alturas do ponto USPP	141
FIGURA 57 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas	
nas Direções N e E do ponto VALI	142
FIGURA 58 - Gráfico dos valores das diferenças das	
alturas do ponto VALI	142
FIGURA 59 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas	
nas Direções N e E do ponto MARI	143
FIGURA 60 - Gráfico dos valores das diferenças das	
alturas do ponto MARI	143
FIGURA 61 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas	
nas Direções N e E do ponto ILHA	144
FIGURA 62 - Gráfico dos valores das diferenças das	
alturas do ponto ILHA	144
FIGURA 63 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas	
nas Direções N e E do ponto SJRP	145
FIGURA 64 - Gráfico dos valores das diferenças das	
alturas do ponto SJRP	145
FIGURA 65 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas	
nas Direções N e E do ponto REGI	146
FIGURA 66 - Gráfico dos valores das diferenças das	
alturas do ponto REGI	146
FIGURA 67 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas	
nas Direções N e E do ponto USPP	148
FIGURA 68 - Gráfico dos valores das diferenças das	
alturas do ponto USPP	148
FIGURA 69 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas	
nas Direções N e E do ponto VALI	149
FIGURA 70 - Gráfico dos valores das diferenças das	

alturas do ponto VALI _____	149
FIGURA 71 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____	
nas Direções N e E do ponto MARI _____	150
FIGURA 72 - Gráfico dos valores das diferenças das _____	
alturas do ponto VALI _____	150
FIGURA 73 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____	
nas Direções N e E do ponto ILHA _____	151
FIGURA 74 - Gráfico dos valores das diferenças das _____	
alturas do ponto ILHA _____	151
FIGURA 75 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____	
nas Direções N e E do ponto SJRP _____	152
FIGURA 76 - Gráfico dos valores das diferenças das _____	
alturas do ponto SJRP _____	152
FIGURA 77 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____	
nas Direções N e E do ponto REGI _____	153
FIGURA 78 - Gráfico dos valores das diferenças das _____	
alturas do ponto REGI _____	153
FIGURA 79 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____	
nas Direções N e E do ponto USP - SP _____	156
FIGURA 80 - Gráfico dos valores das diferenças das _____	
alturas do ponto USP - SP _____	156
FIGURA 81 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____	
nas Direções N e E do ponto VALI _____	157
FIGURA 82 - Gráfico dos valores das diferenças das _____	
alturas do ponto VALI _____	157
FIGURA 83 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____	
nas Direções N e E do ponto MARI _____	158
FIGURA 84 - Gráfico dos valores das diferenças das _____	
alturas do ponto MARI _____	158
FIGURA 85 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____	
nas Direções N e E do ponto CAPA _____	159
FIGURA 86 - Gráfico dos valores das diferenças das _____	
alturas do ponto CAPA _____	160
FIGURA 87 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____	
nas Direções N e E do ponto UEPP _____	161
FIGURA 88 - Gráfico dos valores das diferenças das _____	
alturas do ponto UEPP _____	161
FIGURA 89 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas _____	

nas Direções N e E do ponto Vértice CHUA	162
FIGURA 90 - Gráfico dos valores das diferenças das	
alturas do ponto Vértice CHUA	162
FIGURA 91 - Parte de um arquivo de efemérides transmitidas	182

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Pontos GPS em regiões do Estado de São Paulo	13
TABELA 02 - Pontos GPS em regiões do Estado de São Paulo	13
TABELA 03 - Componentes dos sinais dos satélites	22
TABELA 04 - Parâmetros ionosféricos	30
TABELA 05 - Organização do IERS	52
TABELA 06 - Parâmetros de transformação de ITRF94 para ITRF92	56
TABELA 07 - Identificadores dos Pontos da Rede GPS do Estado de São Paulo	58
TABELA 08 - Descrição das sessões de observação	60
TABELA 09 - Coordenadas do Vértice CHUA	61
TABELA 10 - Coordenadas da Estação Cachoeira Paulista - SIRGAS	61
TABELA 11 - Coordenadas da Estação Presidente Prudente - SIRGAS	62
TABELA 12 - Descrição dos vetores observados e processados (DOY 072)	63
TABELA 13 - Descrição dos vetores observados e processados (DOY 332)	64
TABELA 14 - Descrição dos vetores observados escolhidos (DOY 072)	66
TABELA 15 - Descrição dos vetores observados escolhidos	67
TABELA 16 - Sessões que fazem parte da estratégia proposta	69
TABELA 17 - Vetores a partir de CHUA, na sessão do DOY 073	70
TABELA 18 - Vetores a partir de CHUA, na sessão do DOY 072	71
TABELA 19 - Vetores a partir de CHUA, na sessão do DOY 071	71
TABELA 20 - Vetores a partir de CHUA, na sessão do DOY 074	71
TABELA 21 - Vetores a partir de CHUA, na sessão do DOY 075	72
TABELA 22 - Vetores a partir de CHUA, na sessão do DOY 076	72
TABELA 23 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DOY 327	72
TABELA 24 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DOY 069	72
TABELA 25 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DOY 070	73
TABELA 26 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DOY 328	73
TABELA 27 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DOY 329	73
TABELA 28 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DOY 332	73
TABELA 29 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DOY 333	74
TABELA 30 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DOY 076	74
TABELA 31 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DOY 335	74
TABELA 32 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DOY 334	74
TABELA 33 - Duração das sessões de observação, tempo inicial e final de processamento para a estratégia 1	78
TABELA 34 - Duração das sessões de observação, tempo inicial e final de processamento	79

TABELA 35 - Semana GPS, DOY e data _____	88
TABELA 36 - Resultados do ajustamento da Estratégia 1, apresentados em coordenadas geográficas geodésicas referentes ao WGS 84 _____	103
TABELA 37 - Resultados do ajustamento da Estratégia 1.1, apresentados em coordenadas geográficas geodésicas referentes ao WGS 84 _____	105
TABELA 38 - Resultados do ajustamento da Estratégia 2, apresentados em coordenadas geográficas geodésicas referentes ao WGS 84 _____	107
TABELA 39 - Resultados do ajustamento da Estratégia 3, apresentados em coordenadas geográficas geodésicas referentes ao WGS 84 _____	109
TABELA 40 - Resultados do ajustamento da Estratégia 4, apresentados em coordenadas geográficas geodésicas referentes ao WGS 84 _____	111
TABELA 41 - Valores dos Semi-Eixos Maior e Menor e Altura, _____ das elipses - Estratégia 1 _____	114
TABELA 42 - Valores dos Semi-Eixos Maior e Menor e Altura, _____ das elipses da Estratégia 1.1 _____	116
TABELA 43 - Valores dos Semi-Eixos Maior e Menor e Altura, _____ das elipses - Estratégia 2 _____	118
TABELA 44 - Valores dos Semi-Eixos Maior e Menor e Altura, _____ das elipses - Estratégia 3 _____	120
TABELA 45 - Valores dos Semi-Eixos Maior e Menor e Altura, _____ das elipses - Estratégia 4 _____	121
TABELA 46 - Valores dos erros médios das elipses e variâncias a posteriori _____	124
TABELA 47 - Estratégia 1 e estratégia 2 _____	126
TABELA 48 - Coordenadas UTM do Ponto USP-SP _____	127
TABELA 49 - Coordenadas UTM do Ponto Valinhos _____	128
TABELA 50 - Coordenadas UTM do Ponto Marília _____	129
TABELA 51 - Coordenadas UTM do Ilha Solteira _____	130
TABELA 52 - Coordenadas UTM do Ponto São José do Rio Preto _____	131
TABELA 53 - Coordenadas UTM do Ponto Registro _____	132
TABELA 54 - Estratégia 2 e estratégia 3 _____	133
TABELA 55 - Coordenadas UTM do USP - SP _____	134
TABELA 56 - Coordenadas UTM do Ponto Valinhos _____	135
TABELA 57 - Coordenadas UTM do Ponto Marília _____	136
TABELA 58 - Coordenadas UTM do Ponto Ilha Solteira _____	137
TABELA 59 - Coordenadas UTM do Ponto São José do Rio Preto _____	138
TABELA 60 - Coordenadas UTM do Ponto Registro _____	139
TABELA 61 - Comparação Estratégia 2 e Estratégia 4 _____	140
TABELA 62 - Coordenadas UTM do Ponto USP -SP _____	141

TABELA 63 - Coordenadas UTM do Ponto VALI _____	142
TABELA 64 - Coordenadas UTM do Ponto MARI _____	143
TABELA 65 - Coordenadas UTM do Ponto ILHA _____	144
TABELA 66 - Coordenadas UTM do Ponto SJRP _____	145
TABELA 67 - Coordenadas UTM do Ponto REGI _____	146
TABELA 68 - Coordenadas UTM do Ponto USP -SP _____	148
TABELA 69 - Coordenadas UTM do Ponto Valinhos _____	149
TABELA 70 - Coordenadas UTM do Ponto Marília _____	150
TABELA 71 - Coordenadas UTM do Ponto Ilha Solteira _____	151
TABELA 72 - Coordenadas UTM do Ponto São José do Rio Preto _____	152
TABELA 73 - Coordenadas UTM do Ponto Registro _____	153
TABELA 74 - Valores de variância a posteriori da estratégia 1 _____	154
TABELA 75 - Comparação Estratégia 1 e Estratégia 1.1 _____	155
TABELA 76 - Coordenadas UTM do ponto USP - SP _____	156
TABELA 77 - Coordenadas UTM do ponto VALI _____	157
TABELA 78 - Coordenadas UTM do ponto Marília _____	158
TABELA 79 - Coordenadas UTM do ponto Cachoeira Paulista _____	159
TABELA 80 - Coordenadas UTM do ponto UEPP _____	160
TABELA 81 - Coordenadas UTM do Vértice CHUA _____	162
TABELA 82 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 069 _____	176
TABELA 83 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 070 _____	176
TABELA 84 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 071 _____	177
TABELA 85 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 072 _____	177
TABELA 86 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 073 _____	177
TABELA 87 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 074 _____	178
TABELA 88 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 075 _____	178
TABELA 89 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 076 _____	179
TABELA 90 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 327 _____	179
TABELA 91 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 328 _____	179
TABELA 92 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 329 _____	180
TABELA 93 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 332 _____	180
TABELA 94 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 333 _____	180
TABELA 95 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 334 _____	181
TABELA 96 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 335 _____	181
TABELA 97 – Coordenadas preliminares para a Estratégia 1 _____	
192	
TABELA 98 - Coordenadas preliminares para a Estratégia 2 _____	193
TABELA 99 - Coordenadas preliminares para a Estratégia 3 _____	194

TABELA 100 - Coordenadas preliminares para a Estratégia 4 _____	195
TABELA 101 - Valores de ΔX , ΔY e ΔZ _____	196
TABELA 102 - Coordenadas geográficas geodésica - IBGE (referencial WGS 84) _____	198
TABELA 103 - Coordenadas geográficas geodésica - SEGANTINE (1995) _____ (referencial WGS 84) _____	199
TABELA 104 - Coordenadas geográficas geodésica - FONSECA Jr. (1996) _____ (referencial WGS 84) _____	200
TABELA 105 - Satélites Excluídos (com menos de 15% do total de épocas registradas)	Apêndice I

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS - Anti - Spoofing

BIH - Bureau International de L'Heure

C/A - Coarse/Acquisition-code

CEAPLA - Centro de Análise e Planejamento Ambiental

CPTEC/INPE - Centro de previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto de Pesquisas Espaciais

CTRS - Conventional Terrestrial Reference System

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica

Datum - Conjunto de parâmetros que descrevem as relações entre um elipsóide local e um sistema global de referência geodésicos

DoD - Department of Defense

DOS - Disk Operating System

DOY - Day of Year

ECEF - Earth-Centered Earth-Fixed

EESC-USP - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

EPUSP/PTR - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/ Departamento de Engenharia de Transportes

GPS - Global Positioning System

GRS - Geodetic Reference System

IAC - Instituto Agrônomo de Campinas

IAG - Instituto Astronômico e Geofísico da USP

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICRF - IERS Celestial Reference Frame

IERS - International Earth Rotation Service

IGBE - Interagency GPS Executive Board

IGS - International GPS Service

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

Internet - Rede de Comunicação mundial composta de diversas redes pequenas

ITRF - IERS Terrestrial Reference Frame

IUGG - International Union of Geodesy and Geophysics

JPL - Jet Propulsion Laboratory

LLR - Lunar Laser Ranging,

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NAVSTAR - NAVigation System with Time and Ranging

NCA - National Command Authorities

NGS - National Geodetic Survey

NIMA - National Imagery and Mapping Agency

NSWC - Naval Surface Warfare Center

OMNI - Programa desenvolvido no NGS sob a supervisão do Dr. Gerald Mader

OPNET - Operational Network

PPP - Precise Point Positioning

PPS - Precise Positioning Service

RINEX - Receiver Independent Exchange Format

SA - Selective Availability

SCIGN - Southern California Integrated GPS Network

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul

SLR - Satellite Laser Ranging

SPS - Standard Positioning Service

TEC - Total Electron Content

VLBI - Very Long Baseline Interferometry

WG - Working Groups

WGS - World Geodetic System

LISTA DE SÍMBOLOS

f - frequência do sinal em Hz

Δ - correção do atraso em m

P_o - pressão ao nível do mar em mb

M - massa molar do ar

g - aceleração da gravidade

R - constante universal dos gases

β - valor igual a -6.81°K/km

T_o - temperatura ao nível do mar em $^\circ\text{K}$

E - ângulo de elevação do usuário

ϕ - latitude local

h - altitude da estação em km

$B(mb)$ e $\delta_R(m)$ - termos de correção em relação à altitude h do usuário

h_d e h_w - altitude onde são medidos os índices de refração seco e úmido.

ΔX , ΔY e ΔZ - valores das diferenças em relação aos eixos cartesianos X , Y e Z , dos vetores processados.

RESUMO

LAROCCA, A. P. C. *Análise de Estratégias para Processamento de Redes Geodésicas com o Sistema de Posicionamento Global - GPS*. São Carlos, 2000. 207p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O presente trabalho consiste de apresentação de metodologia para estudo, elaboração e análise de estratégias para processamento de observáveis GPS, para a constituição de redes geodésicas. No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os dados observados da rede geodésica do Estado de São Paulo, concluída em 1994. Esta rede é constituída por vinte e quatro pontos distribuídos pelo estado, mais o vértice CHUA, que é o vértice fundamental da triangulação do Sistema Geodésico Brasileiro. Através das estratégias elaboradas são analisados diversos fatores de importância relevante nos processamentos dos dados GPS, como: influência de dados meteorológicos no processamento de linhas bases longas; resultados de processamentos com efemérides transmitidas e precisas; resultados de processamentos com linhas bases de comprimentos homogêneos e menores ou igual a 150km; resultados de processamentos considerando apenas duas horas e trinta minutos do tempo total de duração das sessões de observação. Os resultados dos ajustamentos destas estratégias são comparados entre si e apresenta-se, então, análises e conclusões sobre a influência dos fatores analisados.

Palavras chave: redes geodésicas, GPS, Geodésia, efemérides, estratégias de processamentos, processamento de observáveis.

ABSTRACT

LAROCCA, A. P. C. *Analyses of Strategies for Processing of Geodetic Networks with the Global Positioning System - GPS*. Sao Carlos, 2000. 207p. Dissertation (Master's degree) - Sao Carlos Engineering School, University of Sao Paulo.

The present work consists in the presentation of a methodology for study, elaboration and analyses of strategies to process GPS observables for geodetic networks. In the development of this work, GPS data of the geodetic network of the State of Sao Paulo, concluded in 1994, were used. This network is composed twenty-four points scattered in the State, plus the vertex CHUA, that is the fundamental point of the triangulation of the Brazilian Geodesy System. Through the strategies elaborated, several factors of main importance for data GPS processing, are analyzed, such as: the influence of meteorological data processing of long baselines; the results of data processing with broadcast and precise ephemeris; the results of data processing with baselines of homogeneous lengths and smaller than or equal to 150km; the results of data processing considering only two hours and thirty minutes of the total time of duration of the observation sessions. The results of the adjustment of these strategies are compared to each other, followed by analyses and conclusions about the influence of these factors on data processing.

Keywords: geodetic network, GPS, Geodesy, ephemeris, strategies of processing, data processing.

CAPÍTULO 1

*" Sábio não é quem dá as verdadeiras
respostas; é quem formula as
verdadeiras questões. "*

Thomas Davis (1814-1845),
poeta e político irlandês.

1 - Introdução

O Sistema de Posicionamento Global (GPS¹) foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa Norte-Americano (DoD²) como um recurso de navegação e posicionamento global, para uso militar e civil.

É um sistema espacial de navegação que pode ser usado sob quaisquer condições meteorológicas, para determinar, em tempo real e instantâneo, a posição de pontos em três dimensões (latitude, longitude e altura geométrica ou elipsoidal) e o tempo, em relação a um sistema de referência definido para qualquer ponto sobre a superfície terrestre, próximo a ela ou no espaço.

Está baseado numa constelação mínima de 24 satélites orbitando a Terra a quase 20.200 km acima da superfície terrestre, distribuídos em seis planos orbitais, garantindo aos receptores GPS captarem, 24h por dia, no mínimo 4 satélites acima do plano do horizonte do observador. Esta configuração garante a condição geométrica mínima necessária à navegação em tempo real.

Atualmente, o sistema GPS tem sido utilizado em todos os tipos de levantamentos de áreas, controle geodésico de redes, monitoramento de edificações, monitoramento dos movimentos da crosta terrestre, gerenciamento de recursos naturais, exploração costeira, gerenciamento de transporte de frotas, monitoramento de navios petroleiros nas entradas de portos, etc.

¹ GPS: Global Positioning System

² DoD: Department of Defense

1.1 - Objetivos do Trabalho

- 📖 Verificar, através dos dados GPS da rede do Estado de São Paulo, a viabilidade da utilização, no processamento, de um período mais curto de dados, escolhido ao longo do período total das sessões;
- 📖 Comparar os resultados de ajustamentos, obtidos do processamento considerando o período total da sessão e considerando um período mais curto;
- 📖 Analisar a influência da utilização de valores observados de temperatura, umidade e pressão atmosférica, ao invés de se utilizar os valores propostos pelos programas de processamento;
- 📖 Processar os dados observados considerando as efemérides transmitidas e as precisas e analisar as possíveis divergências;
- 📖 Analisar os resultados de processamentos de vetores de comprimentos diversificados (> 150 km), processados em conjunto com vetores de comprimentos ≤ 150 km;
- 📖 Analisar os resultados de processamento apenas com vetores de comprimentos ≤ 150 km e mais semelhantes possíveis;
- 📖 Verificar a qualidade dos dados GPS coletados em 1994 para a rede GPS do Estado de São Paulo, analisando e quantificando a ocorrência de perdas de ciclos, comportamento dos resíduos, localização de épocas ruins dos satélites, etc;
- 📖 Apresentar comparação das coordenadas ajustadas obtidas, com as coordenadas oficiais divulgadas pelo IBGE³, as apresentadas por SEGANTINE (1995) e as apresentadas por Fonseca Jr. (1996).

³ IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

1.2 - Justificativas do Trabalho

Dentre os diversos fatores que motivaram o desenvolvimento deste trabalho, destacam-se:

- ✓ Carência na literatura brasileira de escritos e até mesmo de pesquisas que abordem os objetivos deste trabalho;
- ✓ Carência na literatura de escritos que mostrem de maneira veemente as diferenças existentes nas coordenadas de algumas estações da rede GPS do Estado de São Paulo;
- ✓ Apresentar, então, conclusões e argumentos que levanten discussões para uma futura reocupação dos pontos da rede GPS do Estado de São Paulo.

CAPÍTULO 2

REDES GEODÉSICAS

*" Há dois tipos de gente, dizia meu avô: os que
trabalham e os que levam o crédito.
Aconselhou-me a pertencer aos primeiros - a
competição é muito menor. "*

*Indira Gandhi (1917-1984) foi primeira - ministra
da Índia.*

Sumário detalhado do Capítulo 2

2 – Introdução	6
2.1. - Redes Geodésicas Horizontais	7
2.2 - Redes Geodésicas Verticais	7
2.3 - Redes Geodésicas com GPS	8
2.3.1 - Rede GPS Mundial (IGS)	8
2.3.2 - Rede Continental Sul - Americana (SIRGAS)	9
2.3.3 - Rede Nacional GPS	11
2.3.4 - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC)	11
2.3.5 - Redes Regionais, Subregionais e Distritais	11
2.3.5.1 - Rede GPS do Estado de São Paulo	11

Sempre que uma grande área da superfície terrestre necessita ser levantada é conveniente estabelecer uma rede ou dispor de pontos de controle, denominados marcos geodésicos.

Os pontos de controle, especialmente construídos ou definidos por pontos já construídos (alguma edificação) têm suas posições, isto é, suas coordenadas, obtidas em relação a um sistema de referência adotado. E estes pontos, uma vez conhecida suas coordenadas terrestres, podem ser usados para estudos geofísicos, monitoramento de satélites artificiais, na locação de fronteiras nacionais e internacionais, na confecção de mapas ou exploração de recursos naturais, monitoramento de estruturas, etc. Por fim, devem satisfazer as exigências das investigações científicas e da engenharia geodésica.

Uma rede geodésica pode ser dita como um objeto geométrico, no qual seus pontos são exclusivamente definidos por suas coordenadas. As coordenadas não são observáveis diretamente, mas são obtidas por observações entre seus diversos pontos.

Segundo SEGANTINE (1995) e SANTOS (1998), as redes geodésicas clássicas são classificadas em quatro ordens. A rede de primeira ordem constitui-se de polígonos de lados de grande extensão, que variam entre 20 e 50 km ou mais. A rede de segunda ordem têm lados de comprimentos entre 10 e 20 km. A rede de terceira ordem possui lados que medem entre 5 e 10 km e a rede de quarta ordem possui lados que medem entre 1 a 3 km.

Tradicionalmente, o terno de coordenadas usadas para descrever as posições de pontos sobre a superfície terrestre tem sido separado em componentes horizontais e verticais. Isto resultou em redes geodésicas horizontais e redes geodésicas verticais.

2.1. - Redes Geodésicas Horizontais

De acordo com KRAKIWSKI et al. (1986), redes geodésicas horizontais consistem de pontos cujas coordenadas são tomadas em relação a um sistema de referência. As altitudes ortométricas (H) dos pontos de controle de uma rede geodésica horizontal são determinados de forma aproximada.

O sistema de referência usado para o estabelecimento de redes horizontais é constituído por um elipsóide rotacional, cujo tamanho e forma são tradicionalmente dados pelos comprimentos do semi-eixo maior e semi-eixo menor, a e b , respectivamente. As redes horizontais são baseadas na superfície deste elipsóide de referência.

Países como Estados Unidos da América, Canadá, República Federal da Alemanha, Austrália, Suíça, Áustria e outros países europeus possuem redes geodésicas horizontais. No Brasil há a Rede de Triangulação do Sistema Geodésico Brasileiro, cujo ponto de origem é o vértice CHUA, em Uberaba, Minas Gerais.

2.2 - Redes Geodésicas Verticais

São redes de pontos definidos somente por uma coordenada H , dada em relação à altura acima do nível do mar, ou mais precisamente, com relação ao geóide. São também conhecidas como redes de alturas geodésicas, algumas vezes também chamadas de 'redes verticais'.

É evidente que mesmo as redes de pontos verticais precisam ter alguns pontos horizontais associados. A principal diferença entre redes de pontos verticais e horizontais está no fato que para a de pontos verticais, o posicionamento horizontal é conhecido, mas com pouca precisão, e para a de pontos horizontais, o posicionamento vertical é determinado de maneira aproximada.

Países como Alemanha, Estados Unidos da América, Canadá, Suíça, Áustria e outros países europeus possuem rede geodésicas verticais. No

Brasil, há a Rede de Triangulação de Referências de Níveis (RN), de Nivelamento Geométrico, cujo vértice de origem é o ponto de Imbituba, em Santa Catarina.

2.3 - Redes Geodésicas com GPS

O advento da tecnologia GPS revolucionou o conceito de redes geodésicas. Hoje, os posicionamentos geodésicos com GPS são capazes de fornecer, facilmente, resultados com precisões da ordem de 1 a 2 ppm, passíveis de serem obtidos por qualquer empresa usuária de receptores que observam a fase da portadora (IBGE, 1994).

Atualmente, fala-se no estabelecimento de “super-redes” de alta precisão com as tecnologias VLBI⁴, LLR⁵, SLR⁶ e GPS.

2.3.1 - Rede GPS Mundial (IGS⁷)

Ela foi proposta pela NASA⁸ em 1989 e o tratado para sua implantação foi formalizado em 1º de fevereiro de 1991. O IGS é composto por uma rede internacional com aproximadamente, duzentas estações operando continuamente com receptores de dupla frequência, doze Centros Regionais de análise de dados, três Centros Globais de dados, sete Centros de Análise e uma agência Central, situada no JPL⁹.

O IGS coleciona dados de observação GPS, que são usados para gerar os seguintes produtos: efemérides precisas, parâmetros de rotação de Terra, coordenadas e velocidades das estações IGS, informação de relógio das estações. A exatidão desses produtos permite apoiar atividades como: monitorando deformações da crosta terrestre, determinação das órbitas de satélites, monitoramento da ionosfera, etc.

⁴ VLBI: Very Long Baseline Interferometry

⁵ LLR: Lunar Laser Ranging,

⁶ SLR: Satellite Laser Ranging

⁷ IGS: International GPS Service

⁸ NASA: National Aeronautics and Space Administration

⁹ JPL: Jet Propulsion Laboratory

2.3.2 - Rede Continental Sul - Americana (SIRGAS)

O projeto para implantação do Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS) foi iniciado na Conferência Internacional para definição de um Datum¹⁰ Geocêntrico para a América do Sul, em 1993, em Assunção no Paraguai. Foram adotadas, então, as seguintes definições para o sistema de referência e o datum geocêntrico para o continente:

- ✓ **Como sistema de referência SIRGAS:** IERS (International Earth Rotation Service) Terrestrial Reference Frame (ITRF¹¹);
- ✓ **Datum geocêntrico:** eixos coordenados baseados no sistema de referência SIRGAS e parâmetros do elipsóide "Geodetic Reference System (GRS) de 1980".

Os participantes da Conferência de Assunção definiram, então, as 58 estações integrantes da rede, sendo que onze estão no Brasil, nas cidades de Manaus, Fortaleza, Imperatriz, Bom Jesus da Lapa, Cuiabá, Brasília, Viçosa, Presidente Prudente, Cachoeira Paulista, Rio de Janeiro e Curitiba; uma estação na Antártida; dez estações na Argentina; seis na Bolívia; sete no Chile; cinco na Colômbia; três no Equador; uma na Guiana Francesa; duas no Paraguai; quatro no Peru; três no Uruguai e cinco na Venezuela.

As atividades do Projeto SIRGAS têm sido projetadas no sentido da adoção, no continente, de uma rede de referência de precisão compatível com as técnicas modernas de posicionamento, principalmente as associadas ao sistema GPS (SIRGAS - RELATÓRIO FINAL, 1997).

¹⁰ Datum: Conjunto de parâmetros que descrevem as relações entre um elipsóide local e um sistema global de referência geodésicos

¹¹ ITRF: IERS Terrestrial Reference Frame

Na FIGURA 01 podem ser vistas as estações ocupadas nas campanhas GPS SIRGAS de 1995.

FIGURA 01 - Estações ocupadas durante a campanha GPS SIRGAS 95

2.3.3 - Rede Nacional GPS

O IBGE estabeleceu uma rede nacional se aproveitando dos dados de diversas campanhas nacionais e internacionais em que esteve envolvido de 1991 a 1992. Esta rede é constituída pelas seguintes estações: Brasília, Chuá, Cuiabá, Fortaleza, Imbituba, Paraná, Presidente Prudente, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo.

2.3.4 - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC)

Faz parte de um projeto do IBGE, junto com instituições públicas, criado em 1991. Conforme informações obtidas junto ao serviço de atendimento do IBGE, em fevereiro de 2000, as estações em funcionamento sem problemas são: Presidente Prudente (UEPP), Viçosa (VICO), Salvador (SALV), Recife (RECF), Fortaleza (FORT) e Curitiba (PARA). As estações com problemas de comunicação são: Bom Jesus da Lapa (BOMJ), Cuiabá (CUIB), Imperatriz (IMPZ) e Brasília (BRAZ). A estação de Manaus (MANA) se encontra parada, a estação de Crato ainda não foi implantada e a de Porto Alegre (POAL), encontra-se, totalmente, sem comunicação (PEREIRA, 2000).

2.3.5 - Redes Regionais, Sub-regionais e Distritais

2.3.5.1 - Rede GPS do Estado de São Paulo

Esta rede regional implantada em 1994 foi estabelecida com o sistema NAVSTAR¹²/GPS, sob a coordenação da EPUSP/PTR¹³ e do IBGE. É uma típica rede regional formada de 24 pontos distribuídos pelo Estado de São Paulo e mais o vértice CHUÁ (FIGURA 02).

¹² NAVSTAR: NAVigation System with Time and Ranging

¹³ EPUSP/PTR: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/ Departamento de Engenharia de Transportes

Os pontos da rede foram observados a partir de sessões de observações previamente estabelecidas, nos meses de março, novembro e dezembro de 1994. As sessões tiveram períodos de 6 e 8 horas, utilizando o número mínimo de quatro receptores. Foram usados receptores de dupla frequência Geodetic Surveyor of Trimble Series 4000SST.

FIGURA 02 – Estações da Rede GPS do Estado de São Paulo

Outros estados estão em fase de implantação de redes GPS: Rio de Janeiro, Santa Catarina, Pernambuco e Mato Grosso do Sul. O estado do Paraná, por sua vez, já implantou sua rede GPS.

Como exemplos de redes GPS sub-regionais têm-se as redes municipais de Campinas e Guarulhos, no Estado de São Paulo. E como exemplo de redes GPS distritais ou setoriais, a rede do Metrô, em São Paulo.

Ainda, na tentativa de atualização quantitativa e qualitativa de pontos determinados com GPS no estado de São Paulo, realizou-se, junto à algumas empresas atuantes no estado, uma breve pesquisa:

- ✓ A empresa Aerocarta S/A enviou informações sobre a quantidade de pontos GPS e as respectivas regiões, mas não as informações sobre tipo de receptor utilizado e se estes pontos estão amarrados a algum ponto

da rede GPS do estado de São Paulo. As informações fornecidas estão apresentadas na TABELA 01, abaixo (PESSOA, 1999).

TABELA 01 - Pontos GPS em regiões do Estado de São Paulo

Região do Estado de São Paulo	Quantidade de pontos GPS
Alumínio	06
Americana	19
Catanduva	08
Paraguaçu Paulista	08
Presidente Prudente	09
Presidente Venceslau	07
Vale do Ribeira	06

Fonte: Empresa Aerocarta S/A

- ✓ A empresa SETA Engenharia e Agrimensura LTDA forneceu informações sobre a quantidade de pontos GPS e as respectivas regiões, relatando que os mesmos foram coletados com receptores da marca SOKKIA, de uma frequência, com período de rastreio de 1h e estão amarrados à Rede de Triangulação do Estado de São Paulo. As informações fornecidas estão apresentadas na TABELA 02, abaixo (MENZORI, 1999).

TABELA 02 - Pontos GPS em regiões do Estado de São Paulo

Região do Estado de São Paulo	Quantidade de pontos GPS
Santos	10
São Paulo - Mogi das Cruzes	600
Sorocaba	30
Botucatu	10
Araraquara	20

Fonte: Empresa SETA Engenharia e Agrimensura LTDA

CAPÍTULO 3

OBSERVAÇÕES COM GPS

" Se você quer ser bem sucedido precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si mesmo. "

Ayrton Senna

Sumário detalhado do Capítulo 3

3.1 - Características Desejáveis na Escolha dos Pontos a serem Determinados com GPS:	15
3.2 - Fatores que Determinam o Tempo de uma Observação:	15
3.3 - Método Estático	16
3.4 - Métodos para Levantamento	17
3.5 - Estratégias de Observação	17
3.6 - Processamento dos Dados do Levantamento	18
3.7 - Verificação da Qualidade dos Dados do Levantamento	19

Os levantamentos executados com o GPS apresentam como característica, a independência das condições atmosféricas e não há necessidade de intervisibilidade entre as estações.

3.1 - Características Desejáveis na Escolha dos Pontos a serem Determinados com GPS:

De acordo com SEEBER (1993), HOFMANN-WELLENHOF et al. (1997) e SEGANTINE (1998), as seguintes condições devem ser consideradas para a escolha dos pontos a serem determinados com GPS:

- Visão desobstruída do horizonte para ângulos superiores a 10° de elevação para as antenas da estação base e 15° para as antenas remotas;
- O receptor não deve estar posicionado próximo a objetos e lamina de água que provoquem reflexão dos sinais emitidos pelos satélites (para reduzir o efeito do multicaminhamento);
- Fácil acesso (de preferência por veículos, para ganhar tempo entre as sessões) e locais limpos;
- Os marcos geodésicos não devem estar sujeitos a vandalismos;
- Devem ser escolhidos pontos situados em áreas públicas, com a finalidade de garantir a proteção dos mesmos.

3.2 - Fatores que Determinam o Tempo de uma Observação:

De acordo com HOFMANN-WELLENHOF et al. (1997), há cinco fatores que determinam o tempo mínimo de uma observação:

- A geometria relativa dos satélites;
- O número de satélites;
- O grau de perturbação ionosférica (para receptores de uma frequência);
- O comprimento dos vetores;
- A quantidade de obstruções no local de observação.

Em geral, quanto maior o número de satélites disponíveis no momento da observação e uma boa condição geométrica, menor o tempo necessário de rastreamento.

Todas as observações realizadas simultaneamente, durante uma cobertura de satélites num projeto GPS, são chamadas de sessão.

Segundo SEGANTINE (1995), um método para determinar o tempo ótimo de observação, é realizar no primeiro dia, um período de observação maior que o mínimo exigido. Essas observações podem ser processadas usando apenas porções dos dados e os resultados, então obtidos, devem ser comparados com o resultado do processamento total dos dados. Assim, pode-se identificar os melhores períodos de observação e conseqüentemente, realizar processamento direcionado.

3.3 - Método Estático

É a técnica onde dois ou mais receptores envolvidos na missão, permanecem fixos nas estações durante toda a sessão de observação. Este processo requer algumas horas de observações para medir a fase dos sinais emitidos pelos satélites. É o mais usado, no estabelecimento de redes geodésicas, visto que requer somente que os pontos observados tenham uma visão desobstruída do horizonte e sem a presença de objetos que possam interferir na captação dos sinais.

Existem outros métodos de observação, como os métodos rápidos, que neste trabalho não estão abordados, mas podem ser vistos em HOFFMANN-WELLENHOF (1997), LEICK (1995), SEEGER (1993).

3.4 - Métodos para Levantamento

As redes têm sido estabelecidas por triangulação, trilateração e poligonização.

✧ **Poligonização:** consiste no estabelecimento de pontos (estações) intervisíveis com seu anterior e subsequente, que são escolhidos a fim de estabelecer poligonais básicas, nas quais se apóiam outros levantamentos de ordem inferior. O levantamento consiste das medições de ângulos e distâncias entre as estações.

✧ **Triangulação:** utiliza uma série de figuras geométricas (polígonos), com ponto central, ou não, onde os vértices são materializados e suas coordenadas são estabelecidas com precisão.

✧ **Trilateração:** ocorre quando há três estações com posições conhecidas e determina-se a posição de uma quarta estação. É um método puramente geométrico de determinação de coordenadas (SEEGER, 1993).

3.5 - Estratégias de Observação

Segundo SEEGER (1993), existem três estratégias básicas de observação:

- **conceito de posicionamento pontual (receptor simples):** a posição absoluta pode ser determinada continuamente com uma precisão de 10 a 15m, sem efeito SA³⁰ e com precisão de 30 a 50m sob o efeito SA;
- **conceito de base (observações relativas de duas estações):** necessita de pelo menos dois receptores GPS operando simultaneamente. Pode ser aplicado para uma antena móvel ou estacionária;
- **conceito de multi-estação (três ou mais receptores operando simultaneamente):** este método ocupa pontos adjacentes, formando polígonos e permite uma alta precisão relativa.

SEEBER (1993), também afirma, baseado em experiências, que os seguintes critérios devem ser adotados:

- Cada estação deve ser ocupada pelo menos duas vezes, sob diferentes condições, para identificar possíveis erros e garantir a execução de uma rede;
- Estações adjacentes devem ser ocupadas simultaneamente, visto que a solução da ambigüidade apresenta melhores resultados para pequenas bases;
- Para projetos de dimensões médias, o uso de 4 a 10 receptores garante uma boa confiabilidade e uma superabundância de vetores para um mesmo tempo de observação.

3.6 - Processamento dos Dados do Levantamento

Existem dois tipos de programas de processamento:

- **Vetor por vetor ou base simples:** é o mais comum e deve ser usado a *priori* no processamento da solução por multipontos. Se os pontos forem

³⁰ SA: Selective Availability

processados juntos, um possível erro de um ponto será distribuído entre os demais e ficará encoberto. Os programas que resolvem vetor por vetor oferecem, portanto, melhores condições de verificação e identificação das bases que apresentam problemas;

- **Solução por multipontos:** que não será abordada neste trabalho e
- **Precise point positioning (PPP):** surgiu em 1997 e consiste de um serviço de análise automática dos dados GPS, que é oferecido pelo JPL e está disponível via Internet³¹. Os dados GPS têm que ser observados com receptores de dupla frequência durante pelo menos uma hora. Estando em formato RINEX³² padrão, os dados devem ser enviados ao JPL por meio de 'correio eletrônico' (ag@cobra.jpl.nasa.gov.). Após a análise destes dados, o JPL através de correio eletrônico, avisa o usuário onde os resultados estarão disponíveis no *ftp* (file transfer program) (ZUMBERGE et al., 1999; SEGANTINE et al., 1999).

3.7 - Verificação da Qualidade dos Dados do Levantamento

De acordo com SEGANTINE (1995),

- O primeiro passo para a verificação do fechamento de um levantamento é a elaboração de um esquema das bases medidas. As bases devem ser numeradas no sentido da obtenção, fazendo-se referência a certos pontos de controle da rede;
- O segundo procedimento é definir as injunções mínimas (pontos cujas coordenadas são consideradas como conhecidas e fixas) no ajustamento pelos mínimos quadrados.

³¹ Internet: Rede de Comunicação mundial composta de diversas redes pequenas

³² RINEX: Receiver Independent Exchange Format

Uma outra forma de averiguar a qualidade dos dados observados é verificar os resíduos resultantes do ajustamento. Segundo HOFMANN-WELLENHOF et al. (1997) os resíduos dos componentes dos vetores devem ser consistentes com os comprimentos das bases, ou seja, pequenos valores para bases curtas e grandes valores para bases longas.

CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS DO SINAL GPS

*"Pensar é mais interessante do que saber,
mas é menos interessante do que olhar."*

Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832),
Escritor alemão.

Sumário detalhado do Capítulo 4

4.1 - Estrutura do Sinal GPS	22
4.2 - Implementação do Terceiro Sinal GPS para Civis	23
4.3 - Limitação Intencional da Precisão do Sistema	24
4.3.1- Standard Positioning Service (SPS)	24
4.3.2 - Precise Positioning Service (PPS)	24
4.3.3- Anti-Spoofing (AS)	25
4.3.4- Selective Availability (SA)	25

4.1 - Estrutura do Sinal GPS

A chave da precisão do sistema GPS se dá pelo fato dos componentes dos sinais serem precisamente controlados por relógios atômicos. A frequência fundamental (banda L) de 10,23 MHz é produzida por um sistema de alta precisão.

Todos os satélites da constelação GPS transmitem continuamente na mesma frequência. Os componentes dos sinais dos satélites e suas frequências estão resumidos na TABELA abaixo:

TABELA 03 - Componentes dos sinais dos satélites

Componente	Frequência (MHz)
Frequência fundamental	$f_o = 10,23$
Portadora L1	$154f_o = 1575,42 (\cong 19,0\text{cm})$
Portadora L2	$120f_o = 1227,60 (\cong 24,4\text{cm})$
Código-P	$f_o = 10,23$
Código C/A	$f_o/10 = 1,023$
Mensagem de navegação	$f_o/204600 = 50 \cdot 10^{-6}$

As portadoras L1 e L2 são essenciais para eliminação da maior fonte de erro, a refração ionosférica, em bases longas.

O primeiro código é o código C/A (Coarse/Acquisition-code), também designado como SPS¹⁷, que está disponível para a comunidade civil. Tem um comprimento efetivo de onda de aproximadamente 300m. O código C/A é modulado somente na portadora L1 e é propositadamente omitido na L2.

O segundo código é o código-P (Precision-code), que foi intencionalmente projetado para uso militar e está disponível para usuários autorizados. Também designado como PPS¹⁸, tem um comprimento efetivo de onda de aproximadamente 30m. O código P é modelado em ambas as portadoras L1 e L2 (HOFMANN-WELLENHOF et al., 1997).

¹⁷ SPS: Standard Positioning Service

4.2 - Implementação do Terceiro Sinal GPS para Civis

Em 15 de janeiro de 1999, um memorando da Casa Branca¹⁹ notificou a criação de dois novos sinais GPS, representando um marco histórico, nos termos de atingir o potencial completo da proposta do sistema GPS. Com o objetivo de melhorar a capacidade, os Departamentos de Estado, Defesa e Transportes reuniram esforços para conseguir a autorização do DoD para operar na faixa 1176MHz e coexistir com o terceiro sinal (chamado de L5) sem causar interferências prejudiciais à segurança dos usuários da aviação civil e outros meios de transportes. O memorando da Casa Branca, também foi direcionado a Interagency GPS Executive Board (IGEB), para o desenvolvimento de um projeto para a implementação da L5 GPS, o que foi realizado.

O IGEB criou um grupo para coordenar a implementação do terceiro sinal civil, através do monitoramento de quatro grupos de trabalho (WG - Working Groups), responsáveis pela execução de todos os esforços analíticos. Estes esforços englobam quatro áreas: projeto do sinal (WG3), viabilidade técnica de coexistência (WG1), impacto operacional e publicação dos custos (WG2) e coordenação internacional (WG4).

Muitas opiniões foram consideradas e analisadas para estabelecer a performance do novo sinal GPS. O novo sinal está planejado para a faixa de 960-1215MHz, a qual é utilizada internacionalmente, para ajudar a navegação aérea.

O custo da implementação da frequência L5 está estimado em 406 milhões de dólares, que serão gastos em seis anos e estará em capacidade operacional completa em 2013 (FINAL REPORT, 1999).

¹⁸ PPS: Precise Positioning Service

¹⁹ Casa Branca: Tradução de White House, sede do governo do Estados Unidos da América

4.3 - Limitação Intencional da Precisão do Sistema

Há basicamente dois serviços para limitar o acesso, dos usuários, à precisão total do sistema. O SPS e o PPS.

4.3.1- Standard Positioning Service (SPS)

SPS é o nível de padrão especificado de precisão e tempo de posicionamento, que está disponível, sem restrições, para qualquer usuário. O SPS permite uma precisão de posicionamento da ordem de 100 metros (95% de confiança) horizontalmente e 156 metros (95% de confiança) verticalmente. Decisões para modificar os modos operacionais do GPS, incluindo degradação na precisão do GPS para usuários civis é feita pelo NCA²⁰. O SPS usa o código C/A na frequência L1.

4.3.2 - Precise Positioning Service (PPS)

PPS é a disponibilidade de informações diretas e precisas de posicionamento, velocidade, e tempo. Este serviço é operado pelo DoD e está disponível apenas para usuários autorizados. O código-P (Y, explicado em 4.3.3) capacita o equipamento dos usuários a obter precisão de posicionamento de pelo menos 22 metros (95% de confiança) horizontalmente e 27 metros verticalmente (95% de confiança). O PPS usa o código P(Y) em ambas as frequências L1 e de L2.

Embora a L2 não seja parte do Standard Positioning Service, muitos usuários civis empregam tecnologias de receptores de dupla frequência para alcançar suas próprias precisões (FEDERAL RADIONAVIGATION PLAN, 1996).

²⁰ NCA: National Command Authorities

SEEBER (1993), LEICK (1995) e outros autores afirmam a existência de dois modos de limitações e eles estão atualmente, ativos. Eles são o Anti-Spoofing (AS) e o Selective Availability (SA).

4.3.3- Anti-Spoofing (AS)

Anti-Spoofing impõe uma limitação ao código-P, isto é, utiliza um código de proteção chamado código-Y, como meio de alterar o acesso ao código-P. Assim, o acesso ao código-P é permitido somente aos usuários autorizados quando o AS está ativado.

4.3.4- Selective Availability (SA)

Selective Availability (SA) é uma degradação intencional imposta aos sinais GPS, através da manipulação de dados de efemérides transmitidas e/ou da perturbação da estabilidade dos relógios dos satélites. O SA provoca erro de posicionamento da ordem de 100m com confiança de 95%. No entanto, atualmente, têm-se conhecimento da obtenção de trabalhos com grande precisão apesar deste efeito.

CAPÍTULO 5

INFLUENTES SOBRE A PROPAGAÇÃO DO SINAL GPS

"Surpreender-se, admirar-se, é começar a entender."

José Ortega y Gasset (1883-1955),
Filósofo espanhol

Sumário detalhado do Capítulo 5

5 - Introdução	27
5.1 - Atraso de Propagação na Ionosfera	27
5.1.1 - Influência da aurora polar e da atividade solar	30
5.1.2.- Influência da cintilação ionosférica	31
5.2 – Atraso de Propagação na Troposfera	32
5.2.1 - Modelos Troposféricos	33
5.2.1.1 - Modelo do atraso total de Saastamoinen:	34
5.2.1.2 - Modelo do atraso total de Hopfield	45
5.3 - Efeito do Multicaminhamento nas proximidades da Antena do Receptor	45
5.4 - Influência da Variação do Centro de fase da Antena	46
5.5 - Influência Meteorológica	47
5.6 - Sensibilidade ao Vapor de Água	49
5.7 - Perda de Ciclos	51
5.8 - Ambigüidade	52
5.9 - Erros do Relógio	53

5 - Introdução

A atmosfera é composta por gases secos e vapor de água. A estrutura da atmosfera pode ser descrita por meio de diversas camadas atmosféricas (ionosfera, troposfera, atmosfera superior e inferior, magnetosfera, mesosfera, etc) com diferentes propriedades físicas e químicas.

De acordo com SEEBER (1993), os sinais, no caminho entre o satélite e a estação terrestre, propagando através das diferentes regiões atmosféricas estão sujeitos a diferentes tipos de influências. Podem sofrer variações nas direções, na velocidade e na intensidade de propagação dos sinais.

Para os usuários é interessante a recepção de sinais sem perturbações atmosféricas. Assim, as influências atmosféricas têm que ser determinadas diretamente por medições e/ou por modelos, de modo a serem considerados no processamento dos dados.

Desta forma, com relação à propagação do sinal, a subdivisão entre troposfera e ionosfera é aconselhável, porque as condições particulares de propagação são bastante diferentes.

5.1 - Atraso de Propagação na Ionosfera

A ionosfera é a região da atmosfera entre aproximadamente 50 a 1000 km de altitude, onde a radiação ultravioleta do Sol ioniza frações de moléculas de gás local gerando elétrons livres.

A maior parte da ionosfera é eletricamente neutra, mas quando radiações solares atingem os componentes químicos desta região da atmosfera, os elétrons são desalojados dos átomos e moléculas para produzir o plasma ionosférico. Isto ocorre no lado da Terra iluminado pelo

Sol. A presença destas partículas carregadas torna a atmosfera superior um condutor elétrico que afeta as ondas de rádio.

Os sinais GPS, como qualquer sinal eletromagnético que se propaga por um meio ionizado, são afetados pelas características de dispersão não lineares deste meio.

A ionosfera é composta pelas regiões denominadas de D, E, F1 e F2, nomeadas em ordem crescente de altitude.

As características mais importantes de cada região e os efeitos da ionosfera sobre os sinais GPS são:

- ☁ **Região D, 50-90km:** esta região, produzida pela ionização de diversas espécies de moléculas, não causam perturbações sobre as frequências do GPS;
- ☁ **Região E, 90-140 km:** produz perturbações mínimas sobre os sinais GPS, mas pode causar efeitos de cintilação. De qualquer modo, seus efeitos sobre as frequências GPS são desprezados;
- ☁ **Região F1, 140-210 km:** esta região em conjunto com a região E pode responder por mais de 10% do atraso ionosférico encontrado nos sinais GPS;
- ☁ **Região F2, 210-1000 km:** é a mais densa e causa a maioria das perturbações nos sinais GPS. A altitude em que se registram as maiores densidade de elétrons varia de 250 a 400km. A região F2 e parte da F1 respondem pela maior parte das perturbações na propagação das frequências do GPS;
- ☁ **Altitude maior que 1000 km:** inicia-se a camada da atmosfera chamada protonosfera, que se estende além da altitude da órbita dos satélites GPS ($\approx 20.200\text{km}$). A contribuição da protonosfera corresponde à 10% do total do atraso ionosférico (KLOBUCHAR, 1996).

Irregularidades na ionosfera terrestre produzem variações na amplitude e na fase do sinal e grande número de perda de ciclos (WANNINGER, 1992; PETERSON et al., 1997).

O efeito ionosférico é proporcional ao número de elétrons livres (chamado de TEC²¹), encontrados ao longo do caminho percorrido pelo sinal até a antena receptora e também proporcional ao inverso do quadrado da frequência da portadora ($1/f^2$). Estes efeitos são menos sensíveis nas zonas temperadas, ao passo que, próximo ao Equador ou dos pólos magnéticos ocorrem de maneira considerável (PARKINSON et al., 1996). A propagação dos efeitos ionosféricos sobre as ondas de rádio é quantificada pelo índice de refração da ionosfera (n^2) (KLOBUCHARD, 1996).

Ainda, TEC é definido como o número de elétrons livres existentes em uma seção de cilindro, na ionosfera, na direção do caminho do sinal do satélite até o receptor (WARNANT, 1997).

$$1 \text{ TEC} = 10^{16} \text{ elétrons} / \text{m}^2$$

A ionosfera varia muito por causa das mudanças nas duas fontes de ionização e por causa das mudanças na parte neutra da atmosfera superior, da qual faz parte. Esta região da atmosfera é conhecida por termosfera. A ionosfera varia em um período de 24 horas, entre o dia e a noite, em um ciclo de 11 anos da atividade solar.

Esta variabilidade é apresentada na TABELA 04, onde está ilustrada variabilidade diurna e o ciclo solar, na região F, dos três parâmetros ionosféricos: $N_{\max}$ (densidade de elétrons), MUF (máxima frequência usual) e TEC.

TABELA 04 - Parâmetros ionosféricos

Parâmetro Ionosférico	Variabilidade Diurna (latitude)	Ciclo solar (dia)
$N_{\max}$	1×10^5 a 1×10^6 elétrons/cm ³	4×10^5 a 2×10^6 elétrons/cm ³
Frequência máxima usual	12 a 36 MHz	21 a 42 MHz
TEC	5 a 50×10^{16} elétrons/m ²	10 a 50×10^{16} elétrons/m ²

²¹ TEC: Total Electron Content

A maior frequência usual depende da densidade dos picos de elétrons na região F e do ângulo de incidência da onda de rádio.

A frequência mais baixa usual (LUF) é severamente afetada por cintilações solares.

5.1.1 - Influência da aurora polar e da atividade solar

Para altas altitudes há outra fonte de ionização, chamada de aurora. A aurora é a exposição de luz, causada por elétrons e prótons, golpeando a atmosfera em alta velocidade. As partículas vindas da magnetosfera produzem um espetacular caminho de luz e quando elas atingem a atmosfera, produzem ionização. A aurora oval, assim chamada por causa de sua forma, ocorre nos hemisférios norte e sul, aproximadamente acima de 60° de latitude.

Segundo GREER (1999), o ano de 1994 caracterizou-se pela ocorrência de baixa atividade solar. A baixa atividade solar caracteriza-se por períodos em que as manchas solares são pequenas. E períodos de baixa atividade solar diminuem a atividade da aurora; o que ocorreu em 1994. Informações diárias de previsões sobre o comportamento atividade solar podem ser obtidas no endereço eletrônico: <http://sec.noaa.gov/info/>.

De acordo com EVANS (1999), a atividade solar pode ser medida pelo tamanho das manchas solares (sunspot), calculadas diariamente.

Estas manchas solares vêm sendo monitoradas há muito tempo. Analisadas, permitiram detectar regularidades em seus períodos de ocorrência, definindo, para o sol, um ciclo de onze anos, ou seja, há um período de 4 anos até a ocorrência da máxima atividade solar, seguido de uma declinação gradual, em sete anos, até a ocorrência da atividade solar mínima. A FIGURA 04 ilustra a ocorrência do ciclo das atividades solares .

FIGURA 03 - Ciclo das atividades solares

5.1.2. - Influência da cintilação ionosférica

Cintilações ionosféricas causam variações rápidas na amplitude da fase do sinal, resultantes de densidades irregulares na ionosfera. O maior impacto da cintilação ocorre sobre as comunicações via satélite e os sistemas de navegação.

Há certas regiões da ionosfera (principalmente altas altitude e baixas altitudes da região F) e certos horários, (principalmente após o pôr-do-sol) quando a ionosfera pode tornar-se altamente turbulenta, até aproximadamente, a meia-noite (KLOBUCHAR, 1996). Assim, este período deve ser evitado para medições precisas. Ainda, os efeitos de cintilação são menos significativos de abril a agosto na América do Sul.

"Turbulência" é definida aqui, como a presença de anormalidades, em grande escala (dezenas de quilômetros), no ambiente ionosférico. Sob condições favoráveis, as irregularidades na densidade do plasma ocorrem exatamente após o pôr-do-sol na região equatorial. Em altas altitudes, estas irregularidades podem ser geradas durante o dia ou a noite. Para ambas regiões de baixas e altas altitudes as irregularidades de pequena escala ocorrem mais frequentemente durante o período do ciclo solar máximo.

E nestas regiões, as cintilações têm capacidade para afetar todo o sistema GPS, incluindo ambas as frequências, simples e dupla. Aumentam os erros de medições de distâncias pelo código ou pela portadora, bem como a probabilidade de perda de sinal. Ainda, dependendo da geometria e constelação dos satélites e de irregularidades na ionosfera, estes efeitos podem traduzir-se em precisão muito baixa de medidas. Pesquisas são desenvolvidas, hoje, com o objetivo desenvolver um modelo de cintilação que forneça previsões de probabilidade de sua ocorrência, distribuição espacial e intensidade (KNIGHT et al.,1998).

5.2 – Atraso de Propagação na Troposfera

Troposfera é a parte inferior da atmosfera terrestre que se estende da superfície terrestre até aproximadamente 40 km de altitude.

O componente vapor de água da atmosfera encontra-se confinado na troposfera até 12 km de altitude do nível do mar e sua maior concentração ocorre abaixo de 4km de altitude.

Variações de temperatura, pressão e umidade contribuem para variações na velocidade das ondas de rádio. Tanto o código como a portadora sofre o mesmo atraso.

O atraso troposférico de propagação é crítico para posicionamento preciso e para determinação de linhas bases, porque os parâmetros troposféricos se correlacionam pobremente em grandes distâncias. Ele é composto pelos atrasos causados pela componente úmida e pela componente seca.

A componente seca que é facilmente modelada é responsável pela maior parte do atraso troposférico e varia com a temperatura local e a pressão atmosférica.

A componente úmida, que depende da distribuição do vapor de água na atmosfera, provoca atraso de ordem dez vezes menor que o provocado pela seca.

O efeito de cintilação troposférico ocorre principalmente, nos primeiros quilômetros acima da superfície terrestre. Varia com o ângulo de elevação e com as condições do tempo. Para as frequências do GPS estes efeitos são relativamente pequenos (SPILKER Jr., 1996).

Segundo WELLS et al. (1986), os modelos troposféricos disponíveis, mesmo com dados meteorológicos em tempo real, reduzem os efeitos troposféricos em 92% a 95%, dependendo do montante de informações atmosféricas disponíveis para o usuário. Usuários com bons conhecimento das condições atmosféricas, nas proximidades dos locais de observações, terão um erro residual menor que usuários que confiam em dados médios ou aproximados.

5.2.1 - Modelos Troposféricos

Existem diversos modelos, Hopfield Model; Black and Eisner (B&E) Model; Water Vapor Zenith Delay Model - Berman; Davis, Chao and Marini Mapping Functions; Altshuler and kalaghan Delay Model; Ray Tracing and Simplified Models (SPILKER Jr., 1996), que neste momento são apenas citados.

Apresenta-se abaixo o modelo de atraso troposférico de Saastamoinen, que é o modelo utilizado no programa de processamento OMNI v4.0 e o modelo de atraso troposférico de Hopfield.

5.2.1.1 - Modelo do atraso total de Saastamoinen:

Em uma série de documentos de 1972 e 1973, Saastamoinen apresentou um dos primeiros modelos de refração de troposfera que estimava o atraso em relação ao ângulo de elevação. Saastamoinen descreveu um modelo preciso e um modelo padrão para o atraso troposférico. Somente o atraso troposférico do modelo padrão é apresentado aqui. A correção do atraso para as frequências variando-se o ângulo de elevação acima de 10° é dada abaixo:

$$\Delta = 0.002277(1 + D)\sec\psi_o \left[P_o + \left(\frac{1255}{T_o} + 0.05 \right) e_o - B \tan^2 \psi_o \right] + \delta_R m$$

onde, Δ é a correção do atraso em m;

P_o é a pressão ao nível do mar em mb;

e_o advém de $e = e_o (T / T_o)^{-4gM / R\beta}$, onde M é a massa molar do ar;

g é a aceleração da gravidade;

R é a constante universal dos gases;

β é o valor -6.81°K/km;

T_o é a temperatura ao nível do mar em °K;

$\psi_o = 90^\circ - E$, onde ψ_o é o ângulo zenital e E é o ângulo de elevação (este modelo considera apenas as frequências de rádio captadas em ângulo de elevação $E \geq 10^\circ$);

$D = 0.0026 \cos 2\phi + 0.00028h$, onde ϕ é a latitude local e h é a altitude da estação em km;

$B(mb)$ e $\delta_R(m)$ são termos de correção em relação à altitude h do usuário, dados por uma tabela, que não é apresentada no momento (SPILKER Jr., 1996).

5.2.1.2 - Modelo do atraso total de Hopfield

Calcula o atraso total através dos atrasos causados pelas componentes seca e úmida. O índice de refração vertical da umidade, ou seja o atraso provocado pelas componentes seca e úmida é calculado integrando-se os índices de refração seco e úmido, para a superfície onde h é a altitude; daí o nome integração vertical da umidade.

Os índices de refração que serão integrados são:

✓ Índice de refração seco: $N_d(h) = N_{d0} \left(1 - \frac{h}{h_d}\right)^4$ para $h \leq h_d = 43km$ e

✓ Índice de refração úmido: $N_w(h) = N_{w0} \left(1 - \frac{h}{h_w}\right)^4$ para $h \leq h_w = 12km$,

Sendo que h_d e h_w referem-se às altitudes onde as superfícies de refração N_{d0} (seca) e N_{w0} (úmida) são medidas, respectivamente.

Após integração, o atraso troposférico é dado por:

$$\Delta = \frac{10^{-6}}{5} [N_{d0} h_d + N_{w0} h_w] = \Delta_d + \Delta_w \text{ (SPILKER Jr., 1996).}$$

5.3 - Efeito do Multicaminhamento nas proximidades da Antena do Receptor

O efeito do multicaminhamento é descrito pelo próprio nome: o sinal emitido pelo satélite chega à antena receptora por mais de um caminho. É causado principalmente pela reflexão dos sinais em superfícies

consideradas refletoras, edifício, rios, veículos, cercas metálicas, etc (HOFMANN-WELLENHOF et al., 1997).

O multicaminhamento afeta tanto as medições do código como da portadora. O efeito sobre as observações do código-P é de ordem duas vezes maior que os efeitos sobre observações da fase da portadora. Sob condições ruins, o multicaminhamento do sinal do código pode causar a perda de contato do mesmo com o receptor. Muitas perdas de ciclos são produzidas pelo efeito do multicaminhamento.

5.4 - Influência da Variação do Centro de fase da Antena

O centro de fase das antenas de receptores GPS, geralmente, é assumido como o ponto que está sendo medido e não coincide com o centro geométrico da própria antena.

As variações do centro de fase da antena dependem da elevação dos satélites, da mudança da direção do sinal do satélite, da intensidade destes sinais e ressalta-se que são diferentes para as portadoras L1 e L2.

O desprezo das variações do centro de fase da antena pode conduzir a erros verticais maiores que 10cm. Pesquisas, como a realizada por JOHASSON et al. (1998), na rede GPS da Suécia, mostra que foi possível constatar que um dos efeitos mais severos à precisão é a aparente variação do centro de fase da antena GPS, como uma função de ângulo de elevação de observação do satélite.

Contudo, como as variações são sistemáticas, podem ser investigadas por meio de testes. O NGS realiza calibração de antenas através de uma série de testes, com diversas antenas, para determinar a

posição e as variações dos centros de fase para a L1, L2 e L3 (MADER, 1999; HOFMANN-WELLENHOF et al. 1997). Nas novas antenas existentes, os efeitos destas variações estão minimizados.

No OMNI²² v4.0 (um dos softwares que foram utilizados para o processamento de dados GPS) já está introduzido 11 modelos de antenas GPS e os respectivos *offsets* entre os centros de fase das portadoras L1 e L2.

Desta forma, realizou-se o processamento dos dados da rede GPS do Estado de São Paulo, introduzindo os *offsets* para as variações do centro de fase da antena, em relação às portadoras L1 e L2. O tipo de antena, que foi utilizada nas observações desta rede, é a Trimble P/N:14532-00 e os valores dos *offsets* para as portadoras são: 1.51m para L1 e 1.15m para L2.

5.5 - Influência Meteorológica

A seguir são apresentadas opiniões de pesquisadores sobre a importância de considerar dados meteorológicos reais em processamentos de observações GPS.

Segundo FABRY (1999), a influência de dados meteorológicos reais depende do que se está tentando medir e com que precisão. O GPS tem muitas aplicações de posicionamento simples, e estas aplicações têm exigências diferentes em termos de precisão. Para a maioria das aplicações em posicionamento, Fabry diz que há necessidade de dados de pressão ou temperatura. Mas, para posicionamento de alta precisão, particularmente na vertical, a pressão (integrada com a umidade) contamina a medição. E por causa disto, estão começando a usar o GPS para medir a integração vertical de umidade. Fabry ressalta, ainda, que a temperatura não tem influência por si só; porém, desde que haja uma correlação entre

²² OMNI: Programa desenvolvido no NGS sob a supervisão do Dr. Gerald Mader

temperatura e umidade, é possível que o conhecimento da temperatura ajude, mas a correção não será tão precisa quanto a inclusão da pressão.

DANA (1999), também revela que dependendo do tipo de trabalho que esteja sendo desenvolvido, modelos troposféricos podem ser melhorados significativamente, usando medidas reais de temperatura, pressão, e umidade. Diz ainda, que estas melhorias só ajudam na fase da portadora para linhas bases longas. Para levantamentos normais com GPS, onde quase todas as medidas são feitas dentro de 10 a 39 km da estação de referência, o atraso troposférico é comum a ambos os receptores e assim não há problema, mas para trabalhar com linhas bases longas (centenas de quilômetros) um bom modelo troposférico é importante e isso requer medidas boas de temperatura, pressão, umidade.

Segundo SCHERNECK (1999), quase sempre, utilizar dados meteorológicos observados é melhor que utilizar dados retirados de livros, especialmente quando os processamentos são complicados. A influência dos fenômenos meteorológicos em uma estação de GPS é particularmente importante quando se trata da umidade, mais especificamente da quantidade de vapor de água na atmosfera. As influências restantes da temperatura e da pressão, porém, não são tão severas. A temperatura, gera um efeito muito pequeno e portanto, é desprezado. Ainda, medidas realizadas na superfície terrestre dizem muito pouco sobre o que está acontecendo a 10, 100 ou até mesmo 1000 m, onde a maioria dos movimentos de vapor de água acontece. Para posicionamentos geodésicos com precisão ao nível de milímetro a situação fica mais crítica. Assim, em se tratando de vapor de água, a influência é um processo complicado, mas se é conhecida a redistribuição deste vapor de água no tempo e no espaço, não há necessidade de saber a temperatura.

HUDNUT (1999) relata que a rede SCIGN (Southern California Integrated GPS Network) possui estações que registram dados de instrumentos meteorológicos. Alguns cientistas escolhem processar dados

usando medidas atuais destes instrumentos, outros não e há poucos modelos de parâmetros atmosféricos. Tipicamente, dados de instrumentos meteorológicos são usados para poder resolver o atraso na troposfera devido a umidade.

Segundo SHUM (1999), meteorologia com GPS ou perturbação do sinal, quando este passa através da atmosfera, é uma tecnologia e conceito relativamente novos. O conceito de medir atrasos (da troposfera - componente úmida e seca - e da ionosfera), os quais são usadas para entender a atmosfera no momento de observações com GPS, tem um potencial para aumentar os conhecimentos sobre o tempo, melhorando sua previsão. O GPS, em essência, mede atrasos integrados (soma) ao longo do caminho do sinal: atraso na troposfera úmida (vapor de água na atmosfera) e atraso na ionosfera. Procedimentos sofisticados são necessários para "separar" estes atrasos e tem-se que assumir alguns conhecimentos sobre as condições atmosféricas, por exemplo, pressão e temperatura.

Estas explicações confirmam a validade de um dos objetivos deste trabalho, verificar a influência de dados meteorológico reais no processamento de linhas bases longas, através do processamento dos dados observados da rede GPS do Estado de São Paulo utilizando dados meteorológicos reais.

5.6 - Sensibilidade ao Vapor de Água

Atualmente, em virtude da comprovação do atraso do sinal GPS provocado pelo vapor de água existente na atmosfera, estudos estão sendo desenvolvidos com o objetivo de formar um banco de dados sobre quantidade de vapor de água na atmosfera, para ser utilizado em processamentos, pelo usuário do sistema GPS.

WARE et al. (1995) afirmam que sinais de GPS são perturbados pelo vapor de água atmosférico, causando atrasos em sua propagação.

GUTMAN (1997) relatou que as previsões de precipitação estão, atualmente, limitadas por falta de informações sobre a variabilidade temporal e espacial do vapor de água na atmosfera. Superar este problema é crucial para entender melhor o ciclo hidrológico para todas as escalas (local para global), prazos (de hora em hora), e locais (terra e oceano). O conhecimento da distribuição de vapor de água na atmosfera não só é importante em meteorologia, como é necessário para outras aplicações: levantamentos GPS e na navegação. Isto porque o sinal de GPS é atrasado pelo vapor de água na troposfera.

ROCKEN et al. (1995) afirmam que o vapor de água é um dos componentes mais importantes da atmosfera, pois é o mecanismo principal pelo qual são transportados umidade e calor. Ainda, quantias pequenas de vapor de água atmosférico afetam significativamente a velocidade de propagação dos sinais de GPS. O sinal GPS é tão sensível ao índice de refração da atmosfera, e sendo este índice uma função de pressão, temperatura, e umidade, o GPS pode ser usado diretamente para "sentir" as propriedades da atmosfera.

Sobre efeitos troposféricos em observações geodésicas, SCHENEWERK et al. (1998), estão realizando experimentos em TMGO (Table Mountain Geophysical Observatory) para verificar o quanto os atrasos troposféricos, especificamente sua componente úmida, afetam as observações GPS. Estão sendo aguardados os resultados destes experimentos.

JOHASSON et al. (1998) apresentam pesquisas para verificar a correlação entre coordenadas obtidas por GPS e a variação do vapor de água na atmosfera, usando dados de umidade, dos outonos de 1995 e 1996. O trabalho está sendo desenvolvido na rede GPS da Suécia (SWEPOS).

Constataram, até o momento, que variações atmosféricas (variações horizontais locais do vapor de água e do correspondente índice de refração) podem influenciar os resultados de GPS. Procuram, então, pela possibilidade de correlações entre variações atmosféricas e a estimativa da coordenada vertical do local. Estão sendo aguardados, também, os resultados destas pesquisas.

5.7 - Perda de Ciclos

De acordo com SEEBER (1993) e SEGANTINE (1995), a perda de ciclos ocorre se o receptor perde a fase do sinal do satélite. Os motivos para a perda de ciclos podem ser:

Dependentes da observação:

- ✓ Obstruções do sinal devido à presença de árvores, edifícios, pontes, etc;
- ✓ Ruído no sinal, em particular causado por multicaminhamento e cintilações (variações na amplitude e na fase do sinal) ionosféricas;
- ✓ Satélites de baixa elevação, causando sinais fracos;
- ✓ Funcionamento ruim dos osciladores dos satélites;

Dependentes do receptor:

- ✓ Sinais fracos, particularmente causados por interferência no sinal;
- ✓ Inclinação da antena em aplicações cinemáticas (aviões, navios);
- ✓ Falha no programa do receptor, etc.

A perda de ciclo é identificada quando a portadora da fase apresenta um salto súbito no número inteiro de ciclos; a parte fracionária das observações da fase permanece inalterada. Ela tem que ser detectada e removida dos dados.

WELLS (1986), afirma que há várias possibilidades de correção da perda de ciclos. Um método de correção é considerar uma estação como referência, editar os dados e manualmente inspecionar a série residual correspondente às interrupções do sinal. Outro método é o processamento da tripla diferença, que permite identificar descontinuidades. A tripla diferença permite eliminar os erros de relógio do receptor ou do satélite.

5.8 - Ambigüidade

Os dados observados com o GPS podem ser deduzidos a partir: da medida do tempo de percurso do sinal emitido pelo satélite até a antena receptora ou pela diferença de fase entre os sinais emitidos e os gerados internamente pelos receptores (SEEBER, 1993).

As observações da fase da portadora, quando o sinal do satélite é recebido pela antena, são consideradas como sendo a diferença de fases entre a fase que vem do sinal do satélite e a fase gerada internamente dentro do receptor, para um dado tempo t_0 .

Segundo CANNON et al. (1992), a portadora, quando comparada com o comprimento de onda do sinal, apresenta uma diferença de medida entre o satélite e a antena, relacionada com certos números de ciclos. Este número inteiro de ciclos, usualmente, conhecido por ambigüidade de ciclos, " N " é o número desconhecido de comprimentos de onda entre o satélite e a antena do receptor.

A melhor e a possibilidade mais simples de determinação da ambigüidade pode ser a utilização de frequências adicionais ou sinais, que são utilizados nas medições eletrônicas de distâncias terrestres. Infelizmente, o GPS não fornece, ainda, mais que duas frequências e estratégias particulares foram desenvolvidas para resolver o problema das ambigüidades.

Quando a medição de fase de uma frequência é avaliada (L1 ou L2), as medições podem ser modeladas. Muitas fontes de erros são afetadas pela estimativa da aproximação das ambigüidades para valores inteiros. Algumas destas fontes são: o comprimento da linha base e os erros orbitais. Quando é utilizada a fase de dupla frequência para resolução da ambigüidade, a situação muda significativamente. Devido à várias possibilidades de combinação linear que podem ser realizadas, àquela tarefa pode ser realizada de maneira mais rápida (CANNON et al. 1992).

Os valores de ambigüidade estimados podem ser números reais (*ambiguity float* ou *ambiguity free solution*), ou podem ser fixados em números inteiros (*ambiguity fixed solution*). Para linhas bases maiores que 20km, usualmente, não se fixa a ambigüidade.

5.9 - Erros do Relógio

Há dois tipos de observáveis GPS: pseudodistâncias (pseudoranges) e fases das portadoras. Ambas observáveis são afetadas pelos erros dos relógios do satélite e do receptor (LEICK, 1995).

Na inicialização da recepção das mensagens de navegação, o relógio do receptor se sincroniza com o relógio dos satélites do sistema GPS.

No entanto, esta sincronização não é perfeita devido à diferença de qualidade dos relógios.

Uma vez que, o receptor calcula a distância entre a antena e os satélites, através do tempo de viagem dessa mensagem multiplicado pela velocidade da luz, esse tempo é o tempo real acrescido de um erro residual.

Assim, os valores de pseudodistâncias calculados irão diferir ligeiramente porque os erros individuais dos relógios dos satélites diferem, por causa dos erros de efemérides, dos atrasos devido à ionosfera e à troposfera e do multicaminhamento.

As observações da simples diferença de fase são sensíveis à diferença dos erros dos relógios, enquanto que as observações da dupla diferença são usadas para eliminar estes erros (LEICK, 1995).

CAPÍTULO 6

GRANDEZAS OBSERVÁVEIS

*" Todos vivemos sob o mesmo céu, mas
nem todos vêem o mesmo horizonte. "*

Konrad Adenauer (1876-1967),
Estatista alemão.

Sumário detalhado do Capítulo 6

6.1 - Pseudodistância	46
6.2 - Fase da Portadora	46
6.2.1 - Simples diferença	46
6.2.2 - Dupla diferença	47
6.2.3 - Tripla diferença	48

6.1 - Pseudodistância

A pseudodistância deveria ser igual à distância geométrica que o sinal percorre do instante em que é emitido pelo satélite, até a antena receptora, se esta propagação ocorresse no vácuo (onde não ocorrem desvios) e não houvesse erros nos relógios do receptor.

Assim, diz-se que a pseudodistância é o valor da distância geométrica percorrida pelo sinal, acrescido dos atrasos de propagação do sinal na ionosfera e na troposfera, dos erros no relógio do receptor e do multicaminhamento (LEICK, 1995).

6.2 - Fase da Portadora

A fase observável é a diferença entre a fase da portadora recebida do satélite e a fase gerada pelo oscilador interno no receptor (LEICK, 1995).

6.2.1 - Simplex diferença

Pode ser formada entre dois receptores, dois satélites e duas épocas ou instantes. A FIGURA 04 ilustra uma configuração de observações da simples diferença.

FIGURA 04 - Observação da simples diferença

A simples diferença entre dois receptores constitui-se de medições de pseudodistâncias de uma estação, subtraídas de medições de pseudodistâncias de uma segunda estação, utilizando os mesmos satélites.

Se a simples diferença entre satélites é formada, isto é, observações entre dois satélites simultaneamente tomadas numa estação simples, o termo referente ao erro do relógio do receptor se cancela.

Com a simples diferença entre duas épocas para um mesmo satélite, a ambigüidade N se cancela, porque a fase inicial de ambigüidade não varia com o tempo (até que não ocorra uma perda de ciclo) (SEEBER, 1993).

6.2.2 - Dupla diferença

É usualmente formada entre receptores e satélites. Constitui-se de duas simples diferenças.

As observações da dupla diferença estão livres dos erros dos relógios dos satélites e dos receptores, devido ao fato das observações serem simultâneas. São freqüentemente usadas na edição de perdas de ciclo (SEEBER, 1993). Mas, incluem erros de propagação dos sinais, erros orbitais e não cancelam o efeito do multicaminhamento (LEICK, 1995). A FIGURA 05 ilustra uma configuração de dupla diferença entre satélites e estações.

FIGURA 05 - Observação da dupla diferença

6.2.3 - Tripla diferença

É a diferença de duas duplas diferenças em duas épocas distintas.

A tripla diferença cancela a ambigüidade. Sua solução é considerada uma técnica de pré-processamento para obter posições aproximadas para a solução da dupla diferença.

Sua maior vantagem reside no fato de conseguir detectar a perda de ciclos e permitir sua remoção (LEICK, 1995). A FIGURA 06 ilustra uma configuração de tripla diferença.

FIGURA 06 - Observação da tripla diferença

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS

*"Fato notável acerca do sistema nervoso:
resolver equações diferenciais e ver um
filme de Tom & Jerry queima as mesmas
calorias. "*

Do livro Matemática para o Dia - a - Dia,
de Charles Seiter (Campus).

Sumário detalhado do Capítulo 7

7 - Introdução	50
7.1 - Sistema de Referência WGS 84	50
7.2 - IERS - International Earth Rotation Service	52
7.2.1 - Referências IERS	52
7.2.1.1 - Referências ITRF	52
7.3 - Relações entre o WGS 84 e o ITRF	54
7.3.1 - Concordância entre o WGS 84 e o ITRF	54
7.3.2 - Transformação de Sistemas	55

7 - Introdução

Os corpos celestes estão sujeitos a diversos tipos de movimentos tais como rotação, translação, acelerações e deformações, mostrando que o universo não é estático. A Geodésia, a Astronomia e a Geofísica preocupam-se com o estudo da cinemática e da dinâmica destes corpos. Os efeitos da rotação da Terra, o movimento do pólo, a tectônica de placas, as marés terrestres e oceânicas, o campo gravitacional e o campo magnético são alguns dos fenômenos dinâmicos que o homem vem estudando e tentando compreender. O movimento e a posição dos corpos não são conceitos absolutos, pois dependem de referências para serem descritos (MUELLER et al., 1977; KOVALESKY et al. 1989). Assim sendo, faz-se necessário adotar um sistema de coordenadas que seja considerado estável dentro do que se pretende estudar.

Serão apresentadas considerações a respeito dos sistemas de referência envolvidos neste trabalho.

7.1 - Sistema de Referência WGS 84

O modelo de referência geocêntrico global e a coleção de modelos, conhecidos como World Geodetic System 1984 (WGS 84), têm sido desenvolvidos desde sua criação em meados de 1980. O WGS 84 continua sendo um sistema de coordenadas tridimensionais para a coleta de dados geoespaciais e na medida em que estes dados passaram a exigir um sistema de referência global, livre de distorções ou erros, uma série de aperfeiçoamentos para o WGS 84 foram desenvolvidos e serviram para refinar a versão original.

Nos últimos anos, o sistema de referência WGS 84 passou por dois refinamentos, o primeiro em 1994 e o segundo em 1996. E destes dois refinamentos resultaram, respectivamente, nas versões designadas por: 'WGS 84 (G730)' e 'WGS 84 (G873)', onde 'G' indica a utilização da

tecnologia GPS e o número seguinte à letra 'G' indica o número da semana GPS quando ocorreu a implementação pelo NIMA²² (NIMA - Technical Report 8350.2, 1997) (Technical Report 8350.2 encontra-se disponível da Internet no endereço <http://gis.nima.mil/geospatial/products/GanG/pubs.html>).

As versões antecessoras do WGS foram: WGS 60, WGS 66, WGS 72 e o WGS 84.

O sistema de coordenadas WGS 84 é um sistema do tipo CTRS (Conventional Terrestrial Reference System). A definição deste sistema de coordenadas segue o critério do International Earth Rotation Service (IERS). E estes critérios são:

- **Origem:** centro de massa da Terra, incluindo oceanos e atmosfera;
- **Eixo Z:** Direção do IERS Reference Pole (IRP). Esta direção corresponde à direção do BIH (Bureau International de L'Heure) Conventional Terrestrial Pole (CTP) (época de 1984.0) com a incerteza de 0,005";
- **Eixo X:** Intersecção do Plano Meridiano do IERS (IRM) com o plano que passa entre a origem e a normal ao eixo Z. O IRM coincide com o Meridiano Zero definido pelo BIH (época 1984) com a incerteza de 0,005";
- **Eixo Y:** Completa o sistema dextrogiro, Earth-Centered Earth Fixed (ECEF) sistema ortogonal de coordenada;
- Parâmetros do elipsóide:
 - ✓ Semi-eixo maior, $a = 6378137\text{m}$
 - ✓ Achatamento, $f = 1/298,257223563$

²² NIMA: National Imagery and Mapping Agency

7.2 - IERS - International Earth Rotation Service

O serviço IERS está concretizado em uma estrutura organizacional que permite processamento imediato de dados. É constituído por diversas instituições que contribuem na tarefa de observação e processamento. O IERS é composto de uma Agência Central, Subagências e Centros de Coordenação, para cada uma das principais técnicas de observação, como apresentado na TABELA 05, abaixo.

TABELA 05 - Organização do IERS

Agência Central	
Sessões	De Referenciais Celestes
	De Referenciais Terrestres
	De Orientação da Terra
Sub-agências	Para serviços rápidos e predições
	Para atmosfera e momento angular
Centros	De Coordenação VLBI
	De Coordenação LLR
	De Coordenação SLR
	De Coordenação GPS

7.2.1 - Referenciais IERS

Os referenciais IERS consistem do ICRF²³ e do ITRF²⁴. São abordados neste trabalho os referenciais ITRF.

7.2.1.1 - Referenciais ITRF

O ITRF é um referencial terrestre do tipo CTRS (Conventional Terrestrial Reference Frame).

²³ ICRF: IERS Celestial Reference Frame

²⁴ ITRF: IERS Terrestrial Reference Frame

O Sistema de Referência Convencional Terrestre segue os seguintes critérios (BOUCHER, 1990):

- ✓ É geocêntrico, o centro de massa definido para a Terra inclui oceanos e atmosfera;
- ✓ A escala é a de um sistema terrestre local, dentro do significado da teoria gravitacional;
- ✓ A orientação foi inicialmente baseada na orientação do BIH para a época 1984;
- ✓ A evolução temporal da orientação não deve permitir rotação global residual com relação à crosta.

O CTRS, monitorado pelo IERS é chamado de International Terrestrial Reference System (ITRS) e está especificado pelo IUGG²⁵, Resolução nº. 2, publicada no 20th IUGG General Assembly of Vienna, em 1991.

As publicações dos ITRS são realizadas pelo IERS com o nome de International Terrestrial Reference Frames (ITRF), o qual consiste de uma lista de coordenadas (e velocidades) para os locais selecionados pelo IERS (estações de monitoramento ou marcos terrestres) e por tabelas com parâmetros de transformação dos referenciais ITRF entre si e entre outros sistemas de referência. O ITRF é publicado anualmente pelo IERS nos Technical Notes (McCARTHY, 1996).

As coordenadas do ITRF são dadas em um sistema convencional onde os padrões e parâmetros estão publicados no IERS Technical Note 13 (McCARTHY, 1992). Nessa publicação é apresentado um conjunto de constantes e de modelos usados pelos centros de análise (VLBI, LLR, SLR, GPS) e a combinação de resultados realizada pela Agência Central.

²⁵ IUGG: International Union of Geodesy and Geophysics

7.3 - Relações entre o WGS 84 e o ITRF

7.3.1 - Concordância entre o WGS 84 e o ITRF

Em virtude na grande utilização do WGS 84 e do surgimento do ITRF como um sistema de referência, que em virtude do parâmetros que são utilizadas para o cálculo de suas coordenadas, é mais preciso que o WGS 84, surgiu a necessidade de estabelecer parâmetros de correlação entre eles.

Esta correlação foi estabelecida com os conjuntos de coordenadas do WGS que passaram pelos refinamentos em 1994, resultando o conjunto denominado por 'WGS 84 (G730)' e o realizado em 1996 denominado por 'WGS 84 (G873)'.

O TECHNICAL REPORT (NIMA, 1997), mostra que após ajustamentos realizados com determinados parâmetros, chegou-se à conclusão de que as coordenadas do WGS 84 (G730) correspondem às do ITRF92 $\pm 10\text{cm}$ e as coordenadas do WGS 84 (G873) correspondem às do ITRF94 $\pm 2\text{cm}$. Afirma, também, que as dispersões diárias dos parâmetros que foram utilizados, mostram que estas diferenças são estatisticamente insignificantes e podem ser considerados os mesmos, respectivamente.

Com o objetivo de confirmar e adquirir mais informações sobre as conclusões apresentadas no TECHNICAL REPORT (NIMA, 1997), após pesquisas e contatos estabelecidos por e-mails encontrou-se as seguintes afirmações:

MALYS et al. (1997), apresentam as considerações e os procedimentos realizados sobre os refinamentos do WGS 84, mostrando, também, os

parâmetros utilizados para a realização das comparações entre o WGS 84 (G873) e o ITRF94, chegando à conclusão que podem ser considerados equivalentes;

📖 ALTAMINI (1999), MALYS (1999) e CORNMANN (1999), através de e-mails, relatam que o WGS 84 (G730) e o ITRF92 podem ser considerados os mesmos, com incerteza de 10cm. Uma das mensagens recebidas por correio eletrônico está transcrita neste trecho: *"The answer to your question is that there is no transformation parameters available between WGS 84 (G730) and ITRF92. So you can consider them as the same (within 10cm uncertainty)."* (ALTAMINI, 1999).

7.3.2 - Transformação de Sistemas

Em virtude da existência de diversos sistemas de referência, surgiu a necessidade de calcular parâmetros de transformação entre os sistemas. Estes parâmetros representam a translação de um elipsóide para o outro. (GEMAEL, 1981) Estes parâmetros devem ser aplicados às coordenadas cartesianas.

Sejam dois sistemas cartesianos, o primeiro X_1, Y_1 e Z_1 , com origem em O_1 e o segundo, X_2, Y_2 e Z_2 , com origem em O_2 , ilustrado na FIGURA 07.

FIGURA 07 - Sistemas Cartesianos

Se os ângulos de rotação forem pequenos, o que ocorre na maioria dos casos, a transformação entre estes dois sistemas pode ser feito através da seguinte equação:

$$\begin{Bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{Bmatrix} \quad \text{onde,}$$

- ✓ X_2, Y_2 e Z_2 são as coordenadas transformadas (sistema destino o_2);
- ✓ X_1, Y_1 e Z_1 são as coordenadas originais (sistema origem o_1);
- ✓ $T1, T2$ e $T3$ são os parâmetros de translação de o_2 para o_1 , segundo os três eixos;
- ✓ $R1, R2$ e $R3$ são os parâmetros de rotação diferencial em torno dos eixos, X_2, Y_2 e Z_2 respectivamente, para estabelecer o paralelismo com os eixos X_1, Y_1 e Z_1 ;
- ✓ D é o fator de escala.

Para as transformações necessárias neste trabalho, de coordenadas no referencial ITRF94 para coordenadas no referencial ITRF92, desenvolveu-se um programa específico, no software MathCad Professional v7.0, apresentado no **ANEXO A**.

Os parâmetros de transformação, apresentados na TABELA 06, foram fornecidos por ALTAMIMI (1999), mas podem ser obtidos através no endereço eletrônico: <ftp://lareg.ensg.ign.fr/pub/itrf/itrf94/ITRF94.TX>.

TABELA 06 - Parâmetros de transformação de ITRF94 para ITRF92

De ⇒ Para	T1	T2	T3	D	R1	R2	R3
	cm	cm	cm	10 ⁻⁸	0.001"	0.001"	0.001"
ITRF94 ⇒ ITRF92	0.8	0.2	-0.8	-0.08	0	0	0

Fonte: ALTAMIMI (1999)

CAPÍTULO 8

ELABORAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO VETORIAL PARA AS ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTOS

" De erro em erro, descobre-se a verdade inteira. "

Sigmund Freud (1856-1939), austríaco,
cujos estudos geraram a psicanálise.

Sumário detalhado do Capítulo 8

8.1 - Dados Necessários	58
8.2 - Escolha dos Pontos de Injunção	60
8.3 - Escolha dos Vetores para a Composição da Estratégia de Processamento	62
8.4 - Análise ao Nível de Planejamento das Sessões de Observação	65
8.4.1 - Observações sobre as sessões determinadas em 1994	68
8.5 - Apresentação da Estratégia Proposta	69

8.1 - Dados Necessários

Para a elaboração das estratégias de processamento foi necessária inicialmente a obtenção:

- Dos dados GPS da rede do Estado de São Paulo coletados nas campanhas de observação realizadas em 1994, que foram fornecidos por SEGANTINE (1995), em formato padrão do equipamento utilizado;
- A localização e identificação das estações da rede com o nome que está relacionado à localidade da estação, uma abreviação do nome usado no processamento e a indicação do município. Estes foram extraídos de SEGANTINE (1995) e de FONSECA Jr. (1996) e podem ser vistos na TABELA 07, abaixo;

TABELA 07 - Identificadores dos Pontos da Rede GPS do Estado de São Paulo

Número do ponto	Nome abreviado	Nome do Ponto	Município/UF
01	CHUA	VT – CHUA	Uberaba/MG
02	AVER	Água Vermelha	Guarani d'Oeste/SP
03	SJRP	São José do Rio Preto	São José do Rio Preto/SP
04	JABO	Jaboticabal	Jaboticabal/SP
05	PIRA	Pirassununga	Pirassununga/SP
06	LIMO	Limoeiro	Mococa/SP
07	FRCA	Franca	Franca/SP
08	FERN	Fernandópolis	Fernandópolis/SP
09	AVAN	Avanhandava	Buritama/SP
10	IBIT	Ibitinga	Ibitinga/SP
11	UEPP	UNESP - Presidente Prudente	Presidente Prudente/SP
12	TAQU	Taquarussú	Itaguapé/PR
13	SAGR	Salto Grande	Salto Grande/SP
14	ILHA	Ilha Solteira	Selvíria/SP
15	USPP	Pilar 1 – USP/SP	São Paulo/SP
16	BELA	Ilha Bela	Ilha Bela/SP
17	BUNA	Paraibuna	Paraibuna/SP
18	VALI	Valinhos	Valinhos/SP
19	CAPA	Cachoeira Paulista	Cachoeira Paulista/SP

TABELA 07 - Identificadores dos Pontos da Rede GPS do Estado de São Paulo

20	REGI	Registro	Registro/SP
21	ITAP	Itapetininga	Itapetininga/SP
22	IEVA	Itapeva	Itapeva/SP
23	BOTU	Botucatu	Botucatu/SP
24	MARI	Marília	Marília/SP
25	PANO	Panorama	Panorama/SP

Fonte: SEGANTINE (1995); FONSECA Jr. (1996).

Mapa do Estado de São Paulo para visualização da localização das estações da rede, apresentado na FIGURA 08;

FIGURA 08 - Localização das estações da rede GPS do Estado de São Paulo

A descrição das sessões de observações, realizadas em 1994, com a indicação do DIA, das estações observadas e a duração de cada sessão. Estes foram extraídos de SEGANTINE (1995) e são mostrados na Tabela 08.

TABELA 08 - Descrição das sessões de observação

DIA	Estações observadas (nome abreviado)	Tempo de observação (h)
069	USPP PIRA BELA BUNA VALI	5
070	USPP PIRA LIMO FRCA BELA BUNA VALI	8
071	PIRA LIMO FRCA	8
072	CHUÁ AVER SJRP JABO PIRA LIMO FRCA	8
073	CHUÁ SJRP JABO	8
074	CHUÁ AVER SJRP JABO FERN AVAN IBIT	8
075	AVAN FERN IBIT	8
076	UEPP FERN AVAN IBIT TAQU SAGR ILHA	8
327	VALI BELA BUNA CAPA	6
328	USPP VALI CAPA REGI	6
329	ITAP VALI REGI IEVA	6
332	UEPP SAGR ITAP IEVA BOTU	6
333	UEPP IBIT SAGR BOTU MARI	6
334	ILHA IBIT MARI PANO	6
335	UEPP TAQU SAGR MARI PANO	6
337	CHUA UEPP USPP	6

Fonte: SEGANTINE (1995).

8.2 - Escolha dos Pontos de Injunção

Como pontos de injunção, deve-se procurar escolher pontos relevantes para a área em que se está trabalhando ou pontos que façam parte de redes geodésicas, que sejam oficiais e tenham sido estabelecidos por instituições ou grupos que tenham confiabilidade no meio geodésico.

Na elaboração da estratégia proposta foram considerados como pontos de injunção (ponto cujas coordenadas são consideradas fixas e sem erros):

△ Vértice CHUA: vértice fundamental da triangulação do Sistema Geodésico Brasileiro. A estação CHUA está localizada em uma chapada, 18,1km a oeste da cidade de Uberaba-MG. As coordenadas deste ponto, referentes ao WGS - 84 foram obtidas diretamente do Banco de Dados do IBGE, e são apresentadas na TABELA 09:

TABELA 09 - Coordenadas do Vértice CHUA

WGS - 84	
Coordenadas Geodésicas	Coordenadas Cartesianas
$\varphi = -19^{\circ} 45' 43,34588''$	X = 4010548,44 m
$\lambda = -48^{\circ} 06' 05,67317''$	Y = -4470076,61 m
h = 754,150m	Z = -2143179,02 m

Fonte: Banco de Dados do IBGE

△ **Estação Cachoeira Paulista (CAPA):** esta estação foi ocupada em 1995, pelas campanhas de observação definidas no projeto SIRGAS. Foi utilizado o mesmo pilar construído para a rede GPS do Estado de São Paulo. As observações ocorreram durante 10 dias, com receptor Trimble SST4000 de dupla frequência. As coordenadas desta estação, referentes ao ITRF94, obtidas de SIRGAS - Relatório Final (1997) e referentes ao WGS-84 e são apresentadas na TABELA 10:

TABELA 10 - Coordenadas da Estação Cachoeira Paulista - SIRGAS

ITRF94*		WGS84**
Coordenadas Cartesianas	Sigma (m)	Coordenadas Cartesianas
X = 4164684,609m	0.004	X = 4164684,614m
Y = -4162401,036m	0.004	Y = -4162401,031m
Z = -2445011,067m	0.004	Z = -2445011,073m

* Fonte: SIRGAS - Relatório Final - IBGE (1997).

**Fonte: Resultado de transformações realizadas para este trabalho.

△ **Estação Presidente Prudente (UEPP):** esta estação, também foi ocupada em 1995, pelas campanhas de observação definidas no projeto SIRGAS. Foi utilizado o mesmo pilar construído para o a rede GPS do Estado de São Paulo. As observações ocorreram durante 10 dias, com receptor Trimble SST4000 de dupla frequência. As coordenadas desta estação, referentes ao ITRF94, obtidas de SIRGAS - Relatório Final (1997) e referentes ao WGS-84 e são apresentadas na TABELA 11. A inclusão desta estação como injeção ocorreu na fase de ajustamento.:

TABELA 11 - Coordenadas da Estação Presidente Prudente - SIRGAS

ITRF94*		WGS84**
Coordenadas Cartesianas	Sigma (m)	Coordenadas Cartesianas
X = 3687624,310m	0.003	X = 3687624,315m
Y = -4620818,571m	0.004	Y = -4620818,565m
Z = -2386880,407m	0.004	Z = -2386880,413m

* Fonte: SIRGAS - Relatório Final - IBGE (1997).

**Fonte: Resultado de transformações realizadas para este trabalho.

8.3 - Escolha dos Vetores para a Composição da Estratégia de Processamento

Um dos objetivos deste trabalho é a verificação da influência de processamento de dados com vetores de tamanhos sensivelmente diferentes e de processamento de dados com vetores de comprimentos menores e mais semelhantes possíveis, a fim de conseguir condições atmosféricas menos heterogêneas nas extremidades dos vetores.

Para a escolha dos vetores tornaram-se necessárias:

- 📖 A visualização gráfica de todos os dos dados GPS existentes, ou seja, dos vetores, entre as estações, observados em 1994 e processados por SEGANTINE (1995) e
- 📖 A escolha das estações que seriam consideradas como junção: CHUA e CAPA.

Assim, partiu-se para a construção gráfica da rede constituída em 1994. Sobre mapas com as estações da rede GPS do Estado de São Paulo, desenhou-se, separadamente, para cada uma das 16 sessões, todos os vetores observados, anotando-se os respectivos comprimentos. São mostrados, a seguir, dois exemplos das construções gráficas realizadas.

Nas FIGURAS 9 e 10 estão ilustrados todos o vetores observados independentes (coloridos) e apenas parte dos vetores dependentes (em linhas pretas tracejadas), que foram processados. Nas TABELAS 12 e 13, abaixo, estão descritos estes vetores e seus comprimentos.

FIGURA 09 - Construção gráfica original dos vetores observados na sessão do DIA 072

TABELA 12 - Descrição dos vetores observados e processados (DIA 072)

Vetor	Comprimento aproximado (km)
CHUA - FRCA	117
CHUA - PIRA	253
CHUA - LIMO	235
CHUA - SJRP	173
CHUA - AVER	234
LIMO - SJRP	160
AVER - LIMO	213
AVER - JABO	127
FRCA - AVER	215
FRCA - SJRP	160

TABELA 12 - Descrição dos vetores observados e processados (DIA 072)

FRCA - JABO	120
FRCA - LIMO	122
PIRA - LIMO	58
JABO - LIMO	138

FIGURA 10- Construção gráfica original dos vetores observados na sessão do DIA 332

TABELA 13 - Descrição dos vetores observados e processados (DIA 332)

Vetor	Comprimento aproximado (km)
BOTU - UEPP	316
ITAP - UEPP	382
IEVA - UEPP	329
SAGR - UEPP	169
SAGR - IEVA	162
SAGR - ITAP	215
SAGR - BOTU	162
IEVA - BOTU	134
ITAP - BOTU	91
ITAP - IEVA	100

Paralelamente à construção gráfica original das sessões de observação da rede, foi realizada uma análise, ao nível de planejamento das sessões de observação, para a elaboração da estratégia proposta neste trabalho, ou seja, com vetores de comprimentos menores possíveis.

8.4 - Análise ao Nível de Planejamento das Sessões de Observação

Observou-se que apesar de os vinte e quatro pontos da rede GPS do Estado de São Paulo estarem distantes entre si na ordem de aproximadamente 100 a 160km (considerando-os em disposição adjacente); grande parte das observações foram realizadas entre pontos espaçados de 150km até 382km (UEPP-IEVA). Algumas sessões possuem 70% de observações de linhas bases com comprimentos maiores que 160km. É o caso das sessões DIA 334, DIA 333, DIA 076.

Ainda, observando a disposição das estações da rede, os vetores mais curtos ocorreriam, em maioria, somente entre estações adjacentes. E sabendo-se que quanto menor a distância entre dois pontos observados simultaneamente, com GPS, menos heterogêneas são as condições atmosféricas; adotou-se, então, como o melhor comprimento máximo para os vetores, comprimentos da ordem de 150 km.

Assim, iniciou-se a elaboração da estratégia proposta de processamento, com vetores de comprimentos $\leq 150\text{km}$, a partir das construções gráficas originais.

Nas FIGURAS 11 e 12 estão ilustrados dois exemplos das construções gráficas, das sessões, para a elaboração da estratégia proposta neste trabalho. Nelas, estão ilustrados os vetores independentes e dependentes, escolhidos de acordo com os critérios apresentados acima. Nas TABELAS 13 e 14 estão descritos estes vetores e seus comprimentos.

Para proporcionar melhor visualização das análises realizadas das construções gráficas originais, até se chegar nas construções gráficas da estratégia proposta, nas FIGURAS 11e 12 estão ilustradas as mesmas sessões, DIA 072 e DIA 332, das FIGURAS 09 e 10. O mesmo ocorre nas TABELAS 14 e 15.

FIGURA 11 - Construção gráfica final da sessão DIA 072 (a partir da FIGURA 09)

TABELA 14 - Descrição dos vetores observados escolhidos (DIA 072)

Vetor	Comprimento aproximado (km)
CHUA - FRCA	117
JABO - FRCA	119
JABO - SJRP	122
FRCA - LIMO	122
SJRP - AVER	146
LIMO - PIRA	58
PIRA - JABO	119
JABO - LIMO	138

FIGURA 12 - Construção gráfica final da sessão DIA 332 (a partir da FIGURA 10)

TABELA 15 - Descrição dos vetores observados escolhidos

Vetor	Comprimento aproximado (km)
BOTU - ITAP	91
IEVA - BOTU	134
ITAP - IEVA	100
IEVA - SAGR	162

No entanto, a nova estratégia para processamento, com vetores de comprimentos ≤ 150 km, foi uma tarefa laboriosa, que exigiu longo tempo para análise.

Da análise das construções gráficas, das sessões de observação, realizou-se três pré-construções gráficas, até se chegar na configuração final da estratégia proposta apresentada e detalhada no item 9.5, adiante.

Ainda assim, para a ligação de todos os pontos da rede, obedecendo aos critérios de observação propostos por SEEBER (1993), foi necessária a inclusão de cinco vetores com comprimentos maiores que 150km: CHUA-JABO -164km, IEVA-SAGR -162km, BOTU-MARI -168km, SAGR-BOTU -162km, e SAGR-UEPP -168km, mesmo partindo-se de dois pontos de junção mínima, VT-CHUA e CAPA.

Ressalta-se, também, que o processamento da configuração original de rede, apresentado por SEGANTINE (1995) envolve 160 vetores (dependentes e independentes) e o de FONSECA Jr. (1996) envolve 98 vetores independentes, além dos dependentes; ao passo que a estratégia proposta envolve 66 vetores.

8.4.1 - Observações sobre as sessões determinadas em 1994

As observações apresentadas a seguir, extraídas das análises gráficas das sessões de observação realizadas em 1994, foram diagnosticadas, baseadas nos conhecimentos adquiridos das pesquisas bibliográficas e poderiam se utilizadas da época da observação, ter resultado em uma melhor distribuição das estações e conseqüentemente, melhores sessões de observação.

- DIA 072 - a maioria dos vetores que partem da injunção CHUA são maiores que 150 km, neste, caso, verifica-se que a escolha de localidades mais próximas de CHUA, permitiria uma melhor configuração de observações entre as estações;
- DIA 076 - poderia ter sido mais bem planejada, observando as estações PANO e MARI, o que diminuiria o comprimentos de vetores maiores que 150km;
- DIA 328 - poderiam ter sido observadas as estações BUNA, BELA e ITAP, o que diminuiria os comprimentos dos vetores e permitiria melhor configuração de observação das estações observadas;
- DIA 332 - poderia ter sido observada a estação MARI, ao invés de UEPP, o que diminuiria de maneira considerável os comprimentos dos vetores observados;
- DIA 334 - apresenta-se apenas com duas linhas bases observadas menores que 150 km, e as demais maiores que 218 km.

Assim, a falta de um planejamento minucioso, detalhando-se as linhas bases antes da realização das observações, mostra que pode-se realizar sessões além das necessárias, o que implica em desperdício de tempo e de recursos.

8.5 - Apresentação da Estratégia Proposta

A estratégia utilizada neste trabalho para processamento dos dados da rede GPS do Estado de São Paulo possui, então:

- ✓ Sessenta e seis vetores, sendo cinco com comprimentos maiores que 150 km;
- ✓ Dois pontos de injunção: VT-CHUA e CAPA (Cachoeira Paulista);
- ✓ Dois sentidos de caminhamento para processamento dos vetores: um partindo de VT-CHUA e um partindo de CAPA (Cachoeira Paulista);

TABELA 16 - Sessões que fazem parte da estratégia proposta.

DIA	Estações Observadas
CHUA como injunção mínima	
071	LIMO PIRA FRCA
072	CHUA FRCA SJRP LIMO AVER PIRA JABO
073	CHUÁ JABO SJRP
074	JABO IBIT SJRP AVAN FERN
075	AVAN IBIT
076	IBIT AVAN ILHA FERN
CAPA como injunção mínima	
069	BELA BUNA USPP VALI
070	BUNA BELA VALI USPP
076	SAGR UEPP TAQU
327	CAPA BELA BUNA USPP VALI
328	VALI USPP REGI
329	VALI REGI ITAP IEVA
332	IEVA BOTU ITAP SAGR
333	SAGR BOTU MARI UEPP
334	PANO ILHA
335	SAGR MARI UEPP TAQU PANO

A FIGURA 13 ilustra, de modo geral, os dois pontos de injunção e os sentidos de caminhamento para processamento dos vetores.

FIGURA 13 - Construção gráfica geral dos sentidos de caminhada para processamento dos vetores

Da análise da FIGURA 13, observou-se a formação de duas redes. A ligação entre elas, inicialmente, era realizada pelo vetor PANO-ILHA. Foram inseridos, então, os vetores PIRA-VALI, IBIT-BOTU e IBIT-MARI, para dar a rede maior rigidez.

Nas TABELAS 17 até 22, encontram-se descritos os vetores do sentido de caminhada que parte de CHUA e na ordem em que as sessões foram utilizadas.

TABELA 17 - Vetores a partir de CHUA, na sessão do DIA 073

DIA 073	
De → Para	Comprimento (km)
CHUA - JABO	164
JABO - SJRP	122

TABELA 18 - Vetores a partir de CHUA, na sessão do DIA 072

DIA 072	
De → Para	Comprimento (km)
CHUA - FRCA	117
JABO - FRCA	119
JABO - SJRP	112
FRCA- LIMO	122
SJRP - AVER	146
LIMO - PIRA	58
PIRA - JABO	138
JABO -LIMO	119

TABELA 19 - Vetores a partir de CHUA, na sessão do DIA 071

DIA 071	
De → Para	Comprimento (km)
PIRA - FRCA	150
FRCA - LIMO	122

TABELA 20 - Vetores a partir de CHUA, na sessão do DIA 074

DIA 074	
De → Para	Comprimento (km)
JABO - IBIT	93
JABO - SJRP	122
SJRP - IBIT	114
SJRP - AVAN	95
SJRP - FERN	104
SJRP - AVER	146
FERN - AVER	48
FERN AVAN	96
AVAN - IBIT	144
AVAN - AVER	133

TABELA 21 - Vetores a partir de CHUA, na sessão do DIA 075

DIA 075	
De → Para	Comprimento (km)
AVAN - IBIT	149

TABELA 22 - Vetores a partir de CHUA, na sessão do DIA 076

DIA 076	
De → Para	Comprimento (km)
IBIT - AVAN	144
AVAN - FERN	96
AVAN - ILHA	150
FERN - ILHA	128

Nas TABELAS 23 até 32 encontram-se descritos os vetores do sentido de caminhamento que parte de CAPA e na ordem em que as sessões foram utilizadas.

TABELA 23 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DIA 327

DIA 327	
De → Para	Comprimento (km)
CAPA - BELA	128
CAPA - BUNA	102
BUNA - BELA	48
BUNA - VALI	148

TABELA 24 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DIA 069

DIA 069	
De → Para	Comprimento (km)
BELA - BUNA	48
BELA - USPP	17
BUNA - USPP	148
BUNA - VALI	148
USPP - VALI	65
PIRA - VALI	125

TABELA 25 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DIA 070

DIA 070	
De → Para	Comprimento (km)
BUNA - BELA	49
BUNA - USPP	117
BUNA - VALI	148
BELA - USPP	143
USPP - VALI	65

TABELA 26 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DIA 328

DIA 328	
De → Para	Comprimento (km)
VALI - USPP	65
VALI - REGI	180
USPP - REGI	146

TABELA 27 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DIA 329

DIA 329	
De → Para	Comprimento (km)
VALI - REGI	122
VALI - ITAP	180
REGI - IEVA	124
REGI - ITAP	103
ITAP - IEVA	99

TABELA 28 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DIA 332

DIA 332	
De → Para	Comprimento (km)
IEVA - BOTU	134
BOTU - ITAP	91
ITAP - IEVA	100
IEVA - SAGR	162

TABELA 29 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DIA 333

DIA 333	
De → Para	Comprimento (km)
SAGR - BOTU	162
BOTU - MARI	168
MARI - SAGR	79
IBIT - BOTU	130
IBIT - MARI	108

TABELA 30 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DIA 076

DIA 076	
De → Para	Comprimento (km)
SAGR - UEPP	168
UEPP - TAQU	78

TABELA 31 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DIA 335

DIA 335	
De → Para	Comprimento (km)
SAGR - MARI	79
MARI - UEPP	150
UEPP - TAQU	78
UEPP - PANO	93
TAQU - PANO	130

TABELA 32 - Vetores a partir de CAPA, na sessão do DIA 334

DIA 334	
De → Para	Comprimento (km)
PANO - ILHA	122

Na FIGURA 14, está ilustrada a construção gráfica vetorial da estratégia de processamento proposta neste trabalho.

FIGURA 14 - Construção gráfica vetorial da estratégia de processamento proposta

CAPÍTULO 9

ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTOS

*" A vitalidade se revela não apenas
na capacidade de persistir, mas
também na de começar tudo
de novo. "*

Francis Scott Fitzgerald (1896-1940),
Escritor americano.

Sumário detalhado do Capítulo 9

9 - Introdução	77
9.1. - Estratégia de Processamento 1	77
9.2 - Estratégia de Processamento 2	78
9.3 - Estratégia de Processamento 3	79
9.4 - Estratégia de Processamento 4	80

9 - Introdução

Para atingir os objetivos deste trabalho, então, foram elaboradas quatro estratégias de processamento, baseadas na disposição vetorial apresentada no CAPÍTULO 8, ou seja, vetores com comprimentos $\leq 150\text{km}$ entre as estações.

As quatro estratégias apresentam em comum as seguintes características:

- Processamento com dois pontos de junção mínima: VT-CHUA e CAPA (Cachoeira Paulista);
- Sistema de referência WGS-84;
- Processamento utilizando a combinação linear entre as observações em L1 e L2, conhecida como ionospheric free-combination, com o propósito de reduzir os efeitos ionosféricos e a combinação linear conhecida como wide-lane;
- Opção por não fixar a ambigüidade devido ao comprimento dos lados.

9.1. - Estratégia de Processamento 1

Caracteriza-se por:

- Processamento dos dados considerando o tempo total das observações. Na TABELA 33 são apresentadas as sessões consideradas, em ordem de processamento, a duração das observações e tempo inicial e final considerados para processamento;
- Processamento com dados meteorológicos reais medidos, ao invés dos valores padrão do software;
- Processamento utilizando efemérides precisas disponibilizadas pelo IGS.

TABELA 33 - Duração das sessões de observação, tempo inicial e final de processamento para a estratégia 1

DOY	Estações Observadas	Tempo de observação (h)	Tempo inicial (h min s)	Tempo final (h min s)
CHUA como injeção mínima				
073	CHUÁ JABO SJRP	8	11:50:00	19:50:00
072	CHUÁ FRCA SJRP LIMO AVER PIRA JABO	8	11:55:00	19:55:00
071	LIMO PIRA FRCA	8	11:55:00	19:55:00
074	JABO IBIT SJRP AVAN FERN	8	12:05:00	19:55:00
075	AVAN IBIT	8	12:05:00	19:55:00
076	IBIT AVAN ILHA FERN	8	12:08:00	19:40:00
CAPA como injeção mínima				
327	CAPA BELA BUNA USPP VALI	6	10:40:00	16:20:00
069	BELA BUNA USPP VALI	5	15:10:00	19:50:00
070	BUNA BELA VALI USPP	8	12:10:00	19:50:00
328	VALI USPP REGI	6	10:38:00	16:20:00
329	VALI REGI ITAP IEVA	6	10:55:00	15:30:00
332	IEVA BOTU ITAP SAGR	6	10:35:00	15:30:00
333	SAGR BOTU MARI UEPP	6	10:35:00	13:45:00
076	SAGR UEPP TAQU	8	12:10:00	19:00:00
335	SAGR MARI UEPP TAQU PANO	6	10:40:00	15:40:00
334	PANO ILHA	6	10:45:00	15:45:00

9.2 - Estratégia de Processamento 2

Caracteriza-se por:

- Processamento dos dados considerando apenas duas horas e trinta minutos do tempo total de duração das sessões. Na TABELA 34 são apresentados as sessões consideradas, em ordem de processamento e o tempo inicial e final considerados para processamento;
- Processamento com dados meteorológicos reais medidos, ao invés dos valores padrão do software;
- Processamento utilizando efemérides precisas disponibilizadas pelo IGS.

TABELA 34 - Duração das sessões de observação, tempo inicial e final de processamento

DOY	Estações Observadas	Tempo de observação considerado (h)	Tempo inicial (h min s)	Tempo final (h min s)
CHUA como injunção mínima				
073	CHUÁ JABO SJRP	2:30	13:00:00	15:30:00
072	CHUÁ FRCA SJRP LIMO AVER PIRA JABO	2:30	13:00:00	15:30:00
071	LIMO PIRA FRCA	2:30	13:00:00	15:30:00
074	JABO IBIT SJRP AVAN FERN	2:30	13:00:00	15:30:00
075	AVAN IBIT	2:30	13:00:00	15:30:00
076	IBIT AVAN ILHA FERN	2:30	13:00:00	15:30:00
CAPA como injunção mínima				
327	CAPA BELA BUNA USPP VALI	2:30	13:30:00	16:00:00
069	BELA BUNA USPP VALI	2:30	15:30:00	18:00:00
070	BUNA BELA VALI USPP	2:30	15:30:00	18:00:00
328	VALI USPP REGI	2:30	10:40:00	13:10:00
329	VALI REGI ITAP IEVA	2:30	11:00:00	14:30:00
332	IEVA BOTU ITAP SAGR	2:30	11:00:00	14:30:00
333	SAGR BOTU MARI UEPP	2:30	10:35:00	13:05:00
076	SAGR UEPP TAQU	2:30	12:10:00	14:30:00
335	SAGR MARI UEPP TAQU PANO	2:30	10:45:00	13:00:00
334	PANO ILHA	2:30	10:45:00	13:00:00

9.3 - Estratégia de Processamento 3

Caracteriza-se por:

Processamento dos dados considerando apenas duas horas e trinta minutos do tempo total de duração das sessões. Na TABELA 34 são apresentados as sessões consideradas e o tempo inicial e final considerados para processamento (os mesmos da estratégia 2);

Processamento com os valores meteorológicos padrão do software;

Processamento utilizando efemérides precisas disponibilizadas pelo IGS.

9.4 - Estratégia de Processamento 4

Caracteriza-se por:

- Processamento dos dados considerando apenas duas horas e trinta minutos do tempo total de duração das sessões. Na TABELA 34 são apresentados as sessões consideradas e o tempo inicial e final considerados para processamento (os mesmos da estratégia 2 e 3);
- Processamento com dados meteorológicos medidos, ao invés dos valores padrão do software;
- Processamento utilizando efemérides transmitidas no processamento.

CAPÍTULO 10

RECURSOS NECESSÁRIOS PARA OS PROCESSAMENTOS

*" À medida que o conhecimento
aumenta, o espanto se
aprofunda "*

Charles Morgan (1894-1958),
Escritor inglês.

Sumário detalhado do Capítulo 10

10.1 - Programas Computacionais para Processamentos	82
10.1.1 - Considerações sobre os programas	83
10.2 - Dados Meteorológicos	84
10.3 - Dados de Efemérides Precisas	87
10.4 - Dados de Efemérides Transmitidas	89

10.1 - Programas Computacionais para Processamentos

Ressalta-se que a escolha dos programas a seguir, justificou-se não só por se tratar de um projeto que envolve processar os dados GPS de uma rede geodésica de alta precisão, mas também, porque considerando as distâncias médias entre as estações da Rede GPS do Estado de São Paulo, só faz sentido a utilização de programas, que permitem combinações lineares com as duas portadoras L1 e L2.

Determinou-se a utilização dos seguintes programas:

OMNI v4.0: programa científico composto por uma série de 50 sub - programas para processamento de dados coletados dos satélites GPS, pelos receptores. A versão 4.0 foi desenvolvida sob a coordenação de MADER et al. (1994) e de HILLA (1994). HILLA (1999) informou que esta é a mais recente versão do OMNI e funciona perfeitamente, em computador com sistema operacional DOS²⁶. Está disponível na Internet, no endereço eletrônico <ftp://www.ngs.noaa.gov/pub/omni/update>.

SKI Leica Static Kinematic Software v2.3: programa comercial que permite o processamento de dados GPS envolvendo as duas portadoras L1 e L2, desde que se possua a chave que o habilite para tal. Esta versão requer ambiente Windows.

PRISMA Software v2.0 da Ashtech: também um programa comercial que permite realizar processamento de dados GPS envolvendo as duas portadoras L1 e L2, desde que se possua a chave que o habilite para tal. Esta versão requer ambiente Windows.

²⁶ DOS: Disk Operating System

10.1.1 - Considerações sobre os programas

Optou-se, inicialmente, pela utilização do programa OMNI v4.0, que sendo científico, permitiu aquisição de conhecimentos puros e reais sobre os comportamentos dos dados das portadoras L1 e L2.

Através do próprio OMNI v4.0 foram gerados todos os arquivos de dados no formato RINEX, de todas as sessões de observação, a partir dos dados brutos do receptor TRIMBLE 4000 SST.

Partiu-se, então, para a utilização dos programas SKI e PRISMA. Porém, encontrou-se incompatibilidades nesses programas, no momento das leituras de alguns arquivos RINEX gerados pelo programa OMNI v4.0.

Na tentativa de solucionar este problema para o programa PRISMA, testou-se, primeiramente, usar o conversor interno de arquivos RINEX do PRISMA. Este conversor transforma arquivos RINEX de padrão TRIMBLE para padrão Ashtech. No entanto, a incompatibilidade persistiu. Então, partiu-se para a utilização do programa BERNESE GPS Software v1.1, para gerar, novamente, os arquivos RINEX. Os arquivos gerados através do BERNESE também não foram lidos corretamente pelo programa PRISMA. Assim, em virtude da impossibilidade de despendar mais tempo para solucionar essa incompatibilidade, optou-se por não utilizar este programa.

Para o SKI, verificou-se, que os arquivos RINEX, gerados pelo OMNI, e que apresentavam erros de leitura, quando foram gerados novamente pelo OMNI, mas em ambiente Windows e em seguida inseridos no SKI, passaram a serem lidos sem problema. Uma possível explicação para este acontecimento, pode residir no fato de que os arquivos RINEX gerados pelo OMNI e inseridos no SKI haviam sido gerados em um computador com sistema operacional DOS., gerando, talvez, alguma incompatibilidade. Ainda, o erro de leitura ocorreu no arquivo de orbitais.

E sendo a solução para a utilização do SKI, a necessidade de gerar novamente, os arquivos RINEX em ambiente Windows, através do próprio OMNI v4.0, optou-se por não utilizar este programa também.

Assim, para os processamento, foi utilizado somente, o programa OMNI v4.0.

É importante lembrar que os arquivos RINEX, tendo padrão universal, os problemas relatados acima não deveriam ter ocorrido, ou seja, os dados da rede, de receptor TRIMBLE 4000 SST, quando em formato RINEX, deveriam ter sido aceitos sem problemas pelos programas SKI, da Leica e PRISMA, da Ashtech.

Ainda, o fato de o programa PRISMA ter conversor interno de padrão de arquivos, sugere a idéia de que cada fabricante, provavelmente, ao incluir ou excluir linhas nos cabeçalhos dos arquivos de navegação e orbitais, acabam dando caráter personalizado a estes arquivos, descaracterizando, portanto, o padrão universal dos arquivos RINEX.

No entanto, antes de qualquer afirmação conclusiva, ressalta-se, a necessidade de investigações mais profundas sobre este problema.

10.2 - Dados Meteorológicos

De acordo com os objetivos propostos, pretende-se verificar a influência de dados meteorológico (temperatura, pressão e umidade) reais no processamento de linhas bases longas. Para esta investigação, então, será realizado o processamento dos dados da rede GPS do Estado de São Paulo, utilizando dados meteorológicos reais registrados nos dias e locais em que cada sessão de observação foi realizada.

A busca por estes dados foi realizada junto ao escritório do IBGE de São Carlos e na biblioteca central da EESC-USP²⁷ (observações de mapas

²⁷ EESC-USP: Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

de isoietas do estado) e solicitações ao CPTEC/INPE²⁸, CEAPLA²⁹, IAG/USP³⁰ e DAEE³¹. Entretanto, a coleta destes dados, foi possível somente junto ao INMET³² e ao IAC³³.

Esperava-se, através destes dois Institutos, ter acesso a um banco de dados que tornasse possível reconstituir a representação, mais fiel possível, das condições meteorológicas, durante as sessões.

Para tal, seria ideal:

📖 Obter valores de temperatura de hora em hora durante as sessões de observações, para só, então, calcular um valor de temperatura médio para as sessões;

📖 Obter valores de umidade absoluta ou dados que permitissem calculá-la.

Entretanto, isto não foi possível. De acordo com informações destes dois institutos, havia dados de temperatura média diária (INMET e IAC), temperatura média mensal (INMET), umidade média mensal (INMET), precipitação diária (IAC) e pressão atmosférica média mensal (INMET). E ainda, ambos os institutos não possuíam dados meteorológicos de todas as cidades solicitadas.

Foi decidido, então, utilizar dados de temperatura média diária, umidade média mensal e pressão atmosférica média mensal.

Através do INMET se conseguiu dados de temperatura média diária (em °C), pressão atmosférica média mensal (em mb) e umidade média mensal (em %) das cidades de São Paulo, Presidente Prudente e de Uberaba.

²⁸ CPTEC/INPE: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto de Pesquisas Espaciais

²⁹ CEAPLA: Centro de Análise e Planejamento Ambiental

³⁰ IAG: Instituto Astronômico e Geofísico da USP

³¹ DAEE: Departamento de Águas e Energia Elétrica

³² INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

³³ IAC: Instituto Agronômico de Campinas

Junto ao IAC se obteve os dados de temperaturas máximas e mínimas diárias (em °C) e precipitação diária (em mm), para quase todas as localidades solicitadas.

Como foram obtidos valores de pressão atmosféricas de apenas três estações (São Paulo, Presidente Prudente e de Uberaba) das vinte e cinco solicitadas, decidiu-se, através de sugestão do Prof. Antônio Marozzi Righetto³⁴, calcular os valores de pressão que faltavam, por meio das altitudes das localidades, considerando a atmosfera padrão.

Numa atmosfera padrão em que se encontra o ar seco com mesma composição química em todas as altitudes, pressão e temperatura ao nível do mar igual a 1013mb e 15°C, respectivamente, obtêm-se, da equação hidrostática e da lei dos gases (OCCHIPINTI, 1989):

$$p = 1013,2 \cdot \left(1 - \frac{0,0065 \cdot z}{288}\right)^{5,256}, \text{ onde}$$

p é a pressão atmosférica em mb ($1atm = 1.01325 \times 10^{-3} mb$) e

z é a altitude em m (RIGUETTO, 1998).

p é a pressão atmosférica em mb ($1atm = 1.01325 \times 10^{-3} mb$) e

z é a altitude em m (RIGUETTO, 1998).

Assim, obteve-se, para todas as localidades, onde se encontram os pontos da rede, os valores de pressão atmosférica. Os valores das altitudes para as localidades dos pontos foram obtidos através do IBGE.

Os valores de umidade, também foram obtidos apenas para três estações (São Paulo, Presidente Prudente e de Uberaba). O Professor Righetto, ainda, sugeriu a adoção de valores de umidade de 50% quando não havia registro de precipitação no dia da observação e de 75% quando havia registro de precipitação. Mas enfatizou, que tais considerações são grosseiras.

³⁴ Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos - USP

No **ANEXO B** encontram-se as TABELAS de 82 até 96, com os dados meteorológicos fornecidos pelo INMET e pelo IAC, utilizados para processamentos dos dados GPS no programa OMNI V4.0, de todas as sessões consideradas.

10.3 - Dados de Efemérides Precisas

As efemérides precisas para o processamento dos dados da rede GPS foram obtidas junto ao IGS. Encontram-se exemplificadas no **ANEXO C**.

Através do endereço <ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/product/0739/>, por exemplo, copiou-se os arquivos das efemérides de cada dia da semana, no caso, semana 0739, que estão em formato SP3.

Assim, foram copiados e utilizados arquivos de efemérides das seguintes semanas e dias em que ocorreram as observações em 1994, apresentados na TABELA 35, a seguir. O calendário GPS e o correspondente gregoriano foram obtidos no endereço eletrônico <http://www.noaa.gov/CORS/gpscal94.html>.

TABELA 35 - Semana GPS, DOY e data

Semana GPS	DOY	Data
0739	069	10/03/94
	070	11/03/94
	071	12/03/94
	072	13/03/94
	073	14/03/94
	074	15/03/94
	075	16/03/94
	076	17/03/94
0776	327	23/11/94
	328	24/11/94
	329	25/11/94
	332	28/11/94
	334	30/11/94
0777	335	01/12/94

Fonte: <http://www.noaa.gov/CORS/gpscal94.html>

Como o programa OMNI v4.0 requer arquivos de efemérides no formato SP1, realizaram-se as seguintes transformações dos arquivos obtidos em formato SP3:

- Utilizou-se, primeiramente, o programa SP3-EF18: o arquivo em formato SP3 foi renomeado para SP3ASCII e a execução do programa gerou um arquivo binário, EF18BIN;
- Em seguida, utilizou-se o programa EF18-SP1: durante a execução forneceu-se ao programa os seguintes dados relativos às efemérides, nas respectivas ordens:
 - **1** Start Time e Stop Time, na configuração: (ano_mês_dia_h_min_s);
 - Intervalo de tempo de coleta de dados pelo arquivo SP3, em segundos: no caso, 900.0 s, que corresponde a quinze minutos;
 - Escolha dos satélites: como se optou por dados de todos os satélites, digitou-se -1. Caso sejam desejados alguns satélites, deve-se digitar, inicialmente, a quantia de satélites desejados e em seguida, o número de cada satélite;

O programa retorna, então, o arquivo de efeméride no formato SP1 com o nome SP1ASCII, que foi renomeado com a extensão *.eph.

10.4 - Dados de Efemérides Transmitidas

As efemérides transmitidas foram obtidas a partir do próprio arquivo de dados de navegação, em formato RINEX, a partir dos dados originais em formato binário. Encontram-se, também, exemplificadas no **ANEXO C**.

CAPÍTULO 11

PROCESSAMENTOS

*" A coisa mais bonita que podemos
experimental é o misterioso. "*

Albert Einstein (1879-1955.),
Físico alemão

Sumário detalhado do Capítulo 11

11.1 - Considerações sobre os Critérios do Programa para Realização dos Processamentos	91
11.2 - Intervenções Realizadas Manualmente no Processamento	92
11.3 - Resultados dos Processamentos	97
11.3.1 - Coordenadas preliminares das estações para o ajustamento	97
11.3.2 - Valores das diferenças em relação aos eixos cartesianos X, Y e Z dos vetores processados	97

Foram realizados, então, os quatro processamentos dos dados GPS, de acordo com as quatro estratégias descritas no CAPÍTULO 9.

É importante ressaltar que o OMNIv4.0, permite escolher o tipo da antena do receptor usada, para inserir no processamento, *offsets* das variações dos centros de fase da antena, em relação às portadoras L1 e L2.

11.1 - Considerações sobre os Critérios do Programa para Realização dos Processamentos

O programa OMNI v4.0, na solução à priori, detecta e corrige perdas de ciclos das portadoras, através de diversas iterações. Depois de corrigidas todas as perdas de ciclo, em L1, o programa realiza as correções das perdas de ciclos em L2, através da combinação ionospheric-free de L1 e L2.

A precisão das medidas, usualmente, aplicadas em levantamentos e na Geodésia é analisada através do desvio padrão σ , também chamado de RMS, root mean square error. O RMS de uma simples diferença de fase depende do comprimento da linha base observada, tempo de observação e distúrbios ionosféricos.

No resultado do processamento, será observado o valor do RMS a posteriori, das linhas bases processadas. O manual do OMNI v4.0 sugere que para linhas bases maiores que 100 km, o usuário obtenha valor de RMS igual ou inferior a 0.030m. SEGANTINE (1999) relata que a experiência mostra que para linhas bases longas processadas com efemérides precisas, um valor considerado muito bom para RMS é da ordem de 0.05m .

Ressalta-se que nos processamentos das linhas base das estratégias propostas, conseguiu-se, trabalhando-se sobre os dados observados, valores de desvio padrão de ordem dez vezes menor que 0.05m.

11.2 - Intervenções Realizadas Manualmente no Processamento

Antes da realização do processamento, para todos os dias em que havia sessões de observação, verificou-se a quantidade de épocas registradas para cada satélite. Isto foi possível através do arquivo 'Sumário'. Há um exemplo deste arquivo no **ANEXO D**.

Realizou-se, então, a exclusão dos satélites com quantidade de épocas registradas inferior a 15% do total (desde que o número mínimo de satélites remanescentes fosse igual ou superior a quatro, o que ocorreu com folga). A exclusão garante diminuição dos efeitos de refração e multicaminhamento de sinais de satélites de baixa elevação. A TABELA com os satélites excluídos, sob esse critério, em cada sessão, encontra-se no **APÊNDICE I**.

Durante o processamento, verificou-se que os dados coletados em 1994 apresentavam grande número de perdas de ciclo. E no processamento de algumas sessões ocorreu que o próprio programa, apesar de ter detectado as perdas, não conseguiu eliminá-las, impedindo a finalização do processamento.

Duas soluções para este problema foram levadas em consideração e aplicadas no processamento:

1. Em algumas sessões, solucionou-se este problema excluindo os satélites que estavam com dados muito ruins. Realizou-se, então, diversas combinações de satélites até encontrar uma que permitisse a realização completa do processamento. Em alguns casos, a identificação foi possível graficamente. Na FIGURA 15 pode-se visualizar a identificação do satélite com dados ruins, através da ocorrência dos valores '81001700.00'. O valor -9999.00, por sua vez, significa ausência de dados coletados.

FIGURA 15 - Exemplo de satélite com dado ruim

2. Para outras sessões foi necessária a exclusão da parte ruim dos dados dos satélites.

Foram considerados dados ruins os dados dos satélites que ocorriam fora da faixa de concentração da maior parte dos resíduos dos satélites e também os que se apresentavam com configuração extremamente espalhada e muitos *outliers*.

Ressalta-se, que nos dois casos mencionados acima, sempre houve a preocupação de verificar se o período de observação permanecia com no mínimo dados de quatro satélites. E ainda, de anotar cuidadosamente, os satélites e o período em que ocorriam dados ruins.

Nas FIGURAS 16 e 17 pode-se visualizar, através de gráficos dos resíduos gerados pela solução a posteriori *versus* período de observação, os dados originais dos satélites e os mesmos dados após correções (através das exclusões), respectivamente. O mesmo ocorre com as FIGURAS 19 e 20.

As FIGURAS 16 e 17 foram extraídas dos processamentos realizados para a sessão do DOY 335.

FIGURA 16 - Dados dos satélites sem correção - Taquarussu - DOY 335

FIGURA 17 - Dados dos satélites após correções manuais - Taquarussu - DOY 335

As FIGURAS 18 e 19 foram extraídas dos processamento realizados para a sessão do DOY 069.

FIGURA 18 - Dados dos satélites sem correção - Paraibuna - DOY 069

FIGURA 19 - Dados dos satélites após correções manuais- Paraibuna - DOY 069

Na FIGURA 20 pode ser observada ocorrência de perdas de ciclo no sinal captado pela antena receptora.

FIGURA 20 - Exemplo de ocorrência de perdas de ciclos

Os fatos acima citados foram observados durante o processamento da estratégia com o tempo total das observações, realizada primeiro, bem como no processamento das três estratégias com o tempo de 2:30h, realizadas posteriormente.

Estas últimas tiveram seus períodos escolhidos a partir de anotações feitas no processamento da estratégia com tempo total. Foram escolhidos os períodos cujos dados apresentavam-se melhores. Ainda assim, registrou-se grande número de perdas de ciclos. Mas, pode-se observar que a eliminação das perdas de ciclos ocorreu de maneira mais rápida, seja através do programa ou através das intervenções manuais. E de maneira geral, então, os processamentos foram mais rápidos.

11.3 - Resultados dos Processamentos

11.3.1 - Coordenadas preliminares das estações para o ajustamento

As coordenadas cartesianas preliminares foram obtidas dos processamentos da rede GPS, realizados pela autora, a partir da sequência de vetores determinadas no item 8.5.

Partindo-se de CHUA, por exemplo, cujas coordenadas são conhecidas, foi-se processando vetores entre as estações e anotando-se em planilha Excel as coordenadas, na medida em que eram obtidas e calculando-se a média. E os valores médios obtidos, então, passavam a serem usados como coordenadas preliminares para os vetores subsequentes dependentes.

Assim, terminado o processamento, o último valor médio obtido, para cada estação, gerou a coordenada preliminar para o ajustamento.

No **ANEXO E** encontram-se as quatro TABELAS com os valores das coordenadas preliminares para ajustamento, obtidas para cada uma das quatro estratégias elaboradas.

11.3.2 - Valores das diferenças em relação aos eixos cartesianos X, Y e Z dos vetores processados

Os resultados de maior importância para a realização do ajustamento são os valores das diferenças em relação aos eixos cartesianos X, Y e Z, dos vetores processados, ou seja, ΔX , ΔY e ΔZ .

Estes valores, resultantes da estratégias de processamento 1 estão apresentados no **ANEXO F**.

Os valores resultantes das estratégias de processamentos 2, 3 e 4 não estão apresentados, pois implicariam em mais três tabelas com sessenta e seis vetores cada, sendo demasiado extensa a listagem de todos.

CAPÍTULO 12

AJUSTAMENTOS

" Os melhores médicos do mundo são: a dra. Dieta, a dra. Tranqüilidade e a dra. Alegria. "

Jonathan Swift (1667-1745),
Escritor irlandês

Sumário detalhado do Capítulo 12

12.1 – Programas Computacionais	100
12.2 - Resultados dos Ajustamentos	102
12.2.1 - Resultados dos ajustamentos da estratégia com tempo total	102
12.2.1.1 - Estratégia 1 - Injunções mínimas CHUA e CAPA	102
12.2.1.2 - Estratégia 1.1 - Injunções mínimas CAPA e UEPP	104
12.2.2 - Resultados dos ajustamentos das estratégia com 2:30h	106
12.2.2.1 - Estratégia 2 - Injunções mínimas CHUA e CAPA	106
12.2.2.2 - Estratégia 3 - Injunções mínimas CHUA e CAPA	108
12.2.2.3 - Estratégia 4 - Injunções mínimas CHUA e CAPA	110

Utilizando-se os resultados dos processamentos, partiu-se para a realização dos ajustamentos das quatro estratégias de processamentos.

Inicialmente determinou-se realizar os ajustamentos nos seguintes programas descritos, brevemente, abaixo.

12.1 – Programas Computacionais

STAR*NET PLUS – GPS International Least Squares Survey Adjustment Program V5.0: é operado em DOS -Disk Operating System- e suporta dados de diferentes receptores, inclusive dos receptores Trimble, série 4000 SST que foram utilizados para a implantação da rede geodésica do Estado de São Paulo.

COLUMBUS – Geodetic Network Adjustment Software: programa comercial.

PRISMA Software v2.0 da Ashtech: é um programa comercial que permite realizar processamento e ajustamento dos dados.

De posse dos dados processados pelo OMNI v4.0, utilizou-se inicialmente o programa STAR NET PLUS. No entanto, no momento da entrada dos pontos considerados como junção, CHUA e CAPA, inicialmente, verificou-se a possibilidade de apenas entrar com um valor de zona UTM, ou de CHUA (Meridiano Central: -51°) ou de CAPA (Meridiano Central: -45°).

Disto concluiu-se que o programa não permite ajustamento de áreas cuja extensão ultrapasse mais de 3° a leste do Meridiano Central ou mais de 3° a oeste do mesmo.

O que foi confirmado, através do seguinte teste: realizou-se o ajustamento considerando apenas CHUA como ponto de junção. Os

valores de coordenadas ajustadas retornadas pelo programa estavam totalmente distorcidos, com valores de altura geométrica variando de 1300m a 3500m.

Partiu-se, então para tentativa de realização do ajustamento no PRISMA. O que não foi possível devido ao fato de não se possuir os manuais e conseqüentemente, as informações necessária para a elaboração do arquivo em formato texto, com os dados para ajustamento.

O mesmo problema ocorreu com o SKI, quando da tentativa de ajustamento, que também foi investigado, apesar de inicialmente, não ter sido proposto nesta etapa de ajustamento.

Finalmente, partiu-se para a utilização do Columbus. Este programa permite realizar o ajustamento sobre diversos elipsóides, entre eles o WGS 84. Ainda, de acordo com o manual do usuário, o número de pontos a serem ajustados é ilimitado. Assim, de posse do manual, foi possível elaborar o arquivo com os dados necessários para ajustamento. Este arquivo foi elaborado através do próprio programa. Há a opção de poder ser digitado fora do programa, em outro editor de texto e posteriormente, lido pelo programa.

Os dados de entrada constituíam-se das coordenadas preliminares das estações (apresentadas no item 11.3.1), dos valores das diferenças em relação aos eixos cartesianos X, Y e Z, dos vetores processados, ou seja, ΔX , ΔY e ΔZ (apresentados no item 11.3.2) e os respectivos valores das variâncias.

12.2 - Resultados dos Ajustamentos

Para se chegar aos resultados de ajustamentos apresentados a seguir, foram realizados aproximadamente trinta ajustamentos, em média seis para cada estratégia, com diferentes combinações de vetores.

Por combinações de vetores, realizada, deve-se entender a exclusão de determinados vetores com valor de desvio padrão alto, apontados pelo programa. A ordem de exclusão desses vetores foi determinante para se chegar aos melhores resultados de ajustamentos. Esta ordem de exclusão, no entanto, constituiu-se de diversas combinações entre os vetores apontados, para então, finalmente, chegar à exclusão dos vetores que, realmente, proporcionariam o melhor resultado. Esta tarefa foi extremamente laboriosa.

12.2.1 - Resultados dos ajustamentos da estratégia com tempo total

12.2.1.1 - Estratégia 1 - Injunções mínimas CHUA e CAPA

Na TABELA 36, apresenta-se os resultados do ajustamento da estratégia 1 (tempo total de observação, efemérides precisas e valores atmosféricos reais), em coordenadas geográficas geodésicas referentes ao sistema WGS 84.

As estações consideradas como injunção mínima foram CHUA e CAPA.

A visualização das elipses de erros e os valores obtidos para os semi-eixos maior e menor, encontram-se no CAPÍTULO 13.

TABELA 36 - Resultados do ajustamento da Estratégia 1, apresentados em coordenadas geodésicas (WGS 84)

Estação	Latitude	Longitude	h (m)
AVAN	-21° 07' 19.295"	-50° 12' 07.966"	345.301
AVER	-19° 50' 31.826"	-50° 20' 05.7561"	388.798
BELA	-23° 47' 33.444"	-45° 21' 31.307"	55.089
BOTU	-22° 48' 17.251"	-48° 25' 38.750"	745.487
BUNA	-23° 24' 41.188"	-45° 35' 37.105"	717.636
CAPA	-22° 41' 13.061"	-44° 59' 03.435"	620.302
CHUA	-19° 45' 43.346"	-48° 06' 05.673"	754.148
FERN	-20° 15' 08.866"	-50° 11' 00.6264"	426.444
FRCA	-20° 34' 54.872"	-47° 22' 51.420"	1003.984
IBIT	-21° 45' 17.713"	-48° 59' 33.932"	401.267
IEVA	-23° 56' 39.041"	-48° 52' 50.880"	707.121
ILHA	-20° 22' 16.370"	-51° 23' 52.409"	322.390
ITAP	-23° 31' 45.606"	-48° 00' 35.490"	746.898
JABO	-21° 14' 06.597"	-48° 17' 10.963"	604.878
LIMO	-21° 37' 30.592"	-47° 01' 04.8291"	578.798
MARI	-22° 11' 42.907"	-49° 55' 39.639"	637.576
PANO	-21° 23' 03.193"	-51° 50' 58.669"	333.266
PIRA	-21° 57' 54.333"	-47° 26' 35.651"	599.432
REGI	-24° 26' 31.757"	-47° 46' 58.620"	44.433
SAGR	-22° 54' 16.098"	-50° 00' 06.818"	386.841
SJRP	-20° 47' 04.771"	-49° 21' 29.440"	519.742
TAQU	-22° 33' 04.548"	-52° 00' 14.419"	288.502
UEPP	-22° 07' 11.661"	-51° 24' 30.691"	429.247
USPP	-23° 33' 03.0467"	-46° 43' 53.666"	718.346
VALI	-23° 00' 06.158"	-46° 57' 57.954"	856.968

A FIGURA 21, apresenta a configuração gráfica final da rede para a estratégia 1.

FIGURA 21 - Configuração gráfica vetorial da rede para a Estratégia 1
- Injunções CHUA e CAPA -

12.2.1.2 - Estratégia 1.1 - Injunções mínimas CAPA e UEPP

Na TABELA 37, apresenta-se os resultados do ajustamento da mesma estratégia 1, mas com as estações CAPA e UEPP consideradas como injunção mínima, denominada, então, de estratégia 1.1.

Os resultados são apresentados em coordenadas geográficas geodésicas, referentes ao sistema WGS 84.

A visualização das elipses de erros e os valores obtidos para os semi-eixos maior e menor, encontram-se no CAPÍTULO 13.

TABELA 37 - Resultados do ajustamento da Estratégia 1.1, apresentados em coordenadas geodésicas (WGS 84).

Estação	Latitude	Longitude	h (m)
AVAN	-21° 07' 19.288"	-50° 12' 07.991"	346.719
AVER	-19° 50' 31.814"	-50° 20' 05.780"	390.213
BELA	-23° 47' 33.450"	-45° 21' 31.308"	55.128
BOTU	-22° 48' 17.252"	-48° 25' 38.767"	745.645
BUNA	-23° 24' 41.193"	-45° 35' 37.108"	717.889
CAPA	-22° 41' 13.061"	-44° 59' 03.435"	620.302
CHUA	-19° 45' 43.334"	-48° 06' 05.689"	755.547
FERN	-20° 15' 08.856"	-50° 11' 00.650"	427.867
FRCA	-20° 34' 54.863"	-47° 22' 51.433"	1005.373
IBIT	-21° 45' 17.709"	-48° 59' 33.952"	402.665
IEVA	-23° 56' 39.047"	-48° 52' 50.899"	707.283
ILHA	-20° 22' 16.359"	-51° 23' 52.438"	323.844
ITAP	-23° 31' 45.611"	-48° 00' 35.505"	747.047
JABO	-21° 14' 06.591"	-48° 17' 10.979"	606.272
LIMO	-21° 37' 30.588"	-47° 01' 04.841"	580.180
MARI	-22° 11' 42.905"	-49° 55' 39.664"	637.735
PANO	-21° 23' 03.188"	-51° 50' 58.699"	334.796
PIRA	-21° 57' 54.331"	-47° 26' 35.664"	600.816
REGI	-24° 26' 31.766"	-47° 46' 58.633"	44.598
SAGR	-22° 54' 16.099"	-50° 00' 06.843"	387.012
SJRP	-20° 47' 04.762"	-49° 21' 29.460"	521.150
TAQU	-22° 33' 04.548"	-52° 00' 14.451"	290.132
UEPP	-22° 07' 11.659"	-51° 24' 30.721"	430.946
USPP	-23° 33' 03.051"	-46° 43' 53.674"	718.500
VALI	-23° 00' 06.160"	-46° 57' 57.963"	857.133

A FIGURA 22, apresenta a configuração gráfica final da rede para a estratégia 1.1.

FIGURA 22 - Configuração gráfica vetorial da rede para a Estratégia 1.1

12.2.2 - Resultados dos ajustamentos das estratégia com 2:30h

12.2.2.1 - Estratégia 2 - Injunções mínimas CHUA e CAPA

Processada com efemérides precisas e valores atmosféricos reais.

Na TABELA 38, apresenta-se os resultados do ajustamento da estratégia 2. Os resultados são apresentados em coordenadas geográficas geodésicas referentes ao sistema WGS 84.

A visualização das elipses de erros e os valores obtidos para os semi-eixos maior e menor, encontram-se no CAPÍTULO 13.

TABELA 38 - Resultados do ajustamento da Estratégia 2, apresentados em coordenadas geodésicas (WGS 84)

Estação	Latitude	Longitude	h (m)
AVAN	-21° 07' 19.299"	-50° 12' 07.974"	345.258
AVER	-19° 50' 31.825"	-50° 20' 05.763"	388.747
BELA	-23° 47' 33.449"	-45° 21' 31.315"	54.933
BOTU	-22° 48' 17.263"	-48° 25' 38.750"	744.394
BUNA	-23° 24' 41.192"	-45° 35' 37.115"	717.496
CAPA	-22° 41' 13.060"	-44° 59' 03.434"	620.302
CHUA	-19° 45' 43.345"	-48° 06' 05.673"	754.148
FERN	-20° 15' 08.867"	-50° 11' 00.633"	426.331
FRCA	-20° 34' 54.874"	-47° 22' 51.419"	1003.962
IBIT	-21° 45' 17.719"	-48° 59' 33.937"	401.182
IEVA	-23° 56' 39.057"	-48° 52' 50.882"	705.971
ILHA	-20° 22' 16.372"	-51° 23' 52.421"	322.250
ITAP	-23° 31' 45.621"	-48° 00' 35.489"	745.764
JABO	-21° 14' 06.601"	-48° 17' 10.964"	604.816
LIMO	-21° 37' 30.598"	-47° 01' 04.825"	578.755
MARI	-22° 11' 42.916"	-49° 55' 39.644"	636.448
PANO	-21° 23' 03.200"	-51° 50' 58.682"	332.137
PIRA	-21° 57' 54.341"	-47° 26' 35.649"	599.384
REGI	-24° 26' 31.776"	-47° 46' 58.618"	43.294
SAGR	-22° 54' 16.110"	-50° 00' 06.825"	385.652
SJRP	-20° 47' 04.774"	-49° 21' 29.445"	519.658
TAQU	-22° 33' 04.559"	-52° 00' 14.434"	287.291
UEPP	-22° 07' 11.670"	-51° 24' 30.704"	428.009
USPP	-23° 33' 03.062"	-46° 43' 53.656"	717.435
VALI	-23° 00' 06.171"	-46° 57' 57.947"	855.844

A FIGURA 23, apresenta a configuração gráfica final da rede para a estratégia 2.

FIGURA 23 - Configuração gráfica vetorial da rede para a Estratégia 2

12.2.2.2 - Estratégia 3 - Injunções mínimas CHUA e CAPA

Processada com efemérides precisas e valores do *default* do OMNI v4.0.

Na TABELA 39, apresenta-se os resultados do ajustamento da estratégia 3. Os resultados são apresentados em coordenadas geográficas geodésicas, referentes ao sistema WGS 84.

A visualização das elipses de erros e os valores obtidos para os semi-eixos maior e menor, encontram-se no CAPÍTULO 13.

TABELA 39 - Resultados do ajustamento da Estratégia 3, apresentados em coordenadas geodésicas (WGS 84)

Estação	Latitude	Longitude	h (m)
AVAN	-21° 07' 19.295"	-50° 12' 07.969"	346.965
AVER	-19° 50' 31.825"	-50° 20' 05.759"	388.666
BELA	-23° 47' 33.445"	-45° 21' 31.308"	55.382
BOTU	-22° 48' 17.252"	-48° 25' 38.751"	745.980
BUNA	-23° 24' 41.189"	-45° 35' 37.107"	718.000
CAPA	-22° 41' 13.060"	-44° 59' 03.434"	620.302
CHUA	-19° 45' 43.345"	-48° 06' 05.673"	754.148
FERN	-20° 15' 08.867"	-50° 11' 00.628"	428.055
FRCA	-20° 34' 54.871"	-47° 22' 51.422"	1003.987
IBIT	-21° 45' 17.713"	-48° 59' 33.937"	402.902
IEVA	-23° 56' 39.044"	-48° 52' 50.881"	707.513
ILHA	-20° 22' 16.371"	-51° 23' 52.411"	324.010
ITAP	-23° 31' 45.607"	-48° 00' 35.491"	747.288
JABO	-21° 14' 06.597"	-48° 17' 10.964"	604.791
LIMO	-21° 37' 30.592"	-47° 01' 04.830"	578.765
MARI	-22° 11' 42.907"	-49° 55' 39.640"	638.073
PANO	-21° 23' 03.194"	-51° 50' 58.670"	333.745
PIRA	-21° 57' 54.334"	-47° 26' 35.652"	599.391
REGI	-24° 26' 31.758"	-47° 46' 58.622"	44.833
SAGR	-22° 54' 16.098"	-50° 00' 06.819"	387.303
SJRP	-20° 47' 04.771"	-49° 21' 29.443"	519.613
TAQU	-22° 33' 04.549"	-52° 00' 14.419"	288.912
UEPP	-22° 07' 11.662"	-51° 24' 30.692"	429.679
USPP	-23° 33' 03.047"	-46° 43' 53.668"	718.764
VALI	-23° 00' 06.159"	-46° 57' 57.955"	857.367

A FIGURA 24, apresenta a configuração gráfica final da rede para a estratégia 3.

FIGURA 24 - Configuração gráfica vetorial da rede para a Estratégia 3

12.2.2.3 - Estratégia 4 - Injunções mínimas CHUA e CAPA

Processada com efemérides transmitidas e valores atmosféricos reais, no OMNI v4.0.

Na TABELA 40 apresenta-se os resultados do ajustamento da estratégia 4.

Os resultados são apresentados em coordenadas geográficas geodésicas, referentes ao sistema WGS 84.

A visualização das elipses de erros e os valores obtidos para os semi-eixos maior e menor, encontram-se no CAPÍTULO 13.

TABELA 40 - Resultados do ajustamento da Estratégia 4, apresentados em coordenadas geodésicas (WGS 84).

Estação	Latitude	Longitude	h (m)
AVAN	-21° 07' 19.291"	-50° 12' 07.960"	346.781
AVER	-19° 50' 31.824"	-50° 20' 05.751"	388.621
BELA	-23° 47' 33.431"	-45° 21' 31.315"	55.425
BOTU	-22° 48' 17.242"	-48° 25' 38.749"	745.844
BUNA	-23° 24' 41.177"	-45° 35' 37.111"	718.158
CAPA	-22° 41' 13.060"	-44° 59' 03.434"	620.302
CHUA	-19° 45' 43.345"	-48° 06' 05.673"	754.148
FERN	-20° 15' 08.867"	-50° 11' 00.622"	427.740
FRCA	-20° 34' 54.869"	-47° 22' 51.430"	1003.743
IBIT	-21° 45' 17.706"	-48° 59' 33.933"	402.720
IEVA	-23° 56' 39.029"	-48° 52' 50.885"	707.632
ILHA	-20° 22' 16.369"	-51° 23' 52.399"	323.858
ITAP	-23° 31' 45.597"	-48° 00' 35.493"	747.427
JABO	-21° 14' 06.592"	-48° 17' 10.970"	604.644
LIMO	-21° 37' 30.587"	-47° 01' 04.846"	578.460
MARI	-22° 11' 42.900"	-49° 55' 39.639"	637.907
PANO	-21° 23' 03.190"	-51° 50' 58.664"	333.762
PIRA	-21° 57' 54.328"	-47° 26' 35.667"	599.047
REGI	-24° 26' 31.744"	-47° 46' 58.626"	44.977
SAGR	-22° 54' 16.088"	-50° 00' 06.821"	387.195
SJRP	-20° 47' 04.767"	-49° 21' 29.439"	519.537
TAQU	-22° 33' 04.541"	-52° 00' 14.417"	288.807
UEPP	-22° 07' 11.655"	-51° 24' 30.690"	429.631
USPP	-23° 33' 03.035"	-46° 43' 53.670"	718.866
VALI	-23° 00' 06.150"	-46° 57' 57.955"	857.522

A FIGURA 25, apresenta a configuração gráfica final da rede para a estratégia 4.

FIGURA 25 - Configuração gráfica vetorial da rede para a Estratégia 4

CAPÍTULO 13

ELÍPSES DE ERROS

" Há grandes homens que fazem com que todos se sintam pequenos. Mas o verdadeiro grande homem é aquele que faz com que todos se sintam grandes. "

Gilbert Keith Chesterton (1874-1936),
Escritor inglês.

Sumário detalhado do Capítulo 13

13.1 - Elipses de Erros da Estratégia 1	113
13.2 - Elipses de Erros da Estratégia 1.1	115
13.3 - Elipses de Erros da Estratégia 2	117
13.4 - Elipses de Erros da Estratégia 3	119
13.4 - Elipses de Erros da Estratégia 4	121

13.1 - Elipses de Erros da Estratégia 1

A FIGURA 26 ilustra as elipses de erros do ajustamento da Estratégia 1, e a TABELA 41 apresenta os valores para os semi-eixos e para a altura.

FIGURA 26 - Elipses de Erros - Estratégia 1

TABELA 41 - Valores do Semi-Eixos Maior e Menor e Altura, das elipses - Estratégia 1

Estação	Semi-eixo Maior (m)	Semi-eixo Menor (m)	Altura (m)
AVAN	0.072	0.024	0.027
AVER	0.079	0.032	0.039
BELA	0.068	0.049	0.048
BOTU	0.102	0.051	0.060
BUNA	0.074	0.047	0.053
CAPA	0.000	0.000	0.000
CHUA	0.000	0.000	0.000
FERN	0.073	0.025	0.034
FRCA	0.035	0.024	0.022
IBIT	0.059	0.029	0.024
IEVA	0.115	0.055	0.058
ILHA	0.102	0.028	0.037
ITAP	0.099	0.055	0.058
JABO	0.039	0.023	0.018
LIMO	0.056	0.028	0.023
MARI	0.120	0.049	0.060
PANO	0.141	0.044	0.056
PIRA	0.059	0.029	0.022
REGI	0.104	0.054	0.055
SAGR	0.125	0.049	0.059
SJRP	0.050	0.021	0.023
TAQU	0.157	0.055	0.065
UEPP	0.142	0.048	0.059
USPP	0.082	0.047	0.053
VALI	0.083	0.044	0.055

13.2 - Elipses de Erros da Estratégia 1.1

A FIGURA 27 ilustra as elipses de erros do ajustamento da Estratégia 1.1, e a TABELA 42 apresenta os valores para os semi-eixos e para a altura.

FIGURA 27 - Elipses de Erros - Estratégia 1.1

TABELA 42 - Valores do Semi-Eixos Maior e Menor e Altura, das elipses da Estratégia 1.1

Estação	Semi-eixo Maior (m)	Semi-eixo Menor (m)	Altura (m)
AVAN	0.144	0.092	0.092
AVER	0.165	0.114	0.097
BELA	0.097	0.064	0.070
BOTU	0.130	0.068	0.086
BUNA	0.135	0.075	0.097
CAPA	0.000	0.000	0.000
CHUA	0.138	0.123	0.097
FERN	0.150	0.107	0.094
FRCA	0.135	0.101	0.096
IBIT	0.125	0.083	0.091
IEVA	0.145	0.068	0.084
ILHA	0.168	0.095	0.091
ITAP	0.127	0.065	0.083
JABO	0.122	0.092	0.093
LIMO	0.133	0.082	0.096
MARI	0.170	0.083	0.095
PANO	0.126	0.071	0.078
PIRA	0.128	0.079	0.095
REGI	0.130	0.073	0.082
SAGR	0.168	0.072	0.088
SJRP	0.130	0.102	0.092
TAQU	0.065	0.032	0.039
UEPP	0.000	0.000	0.000
USPP	0.110	0.059	0.079
VALI	0.112	0.059	0.081

13.3 - Elipses de Erros da Estratégia 2

A FIGURA 28 ilustra as elipses de erros do ajustamento da Estratégia 2, e a TABELA 43 apresenta os valores para os semi-eixos e para a altura.

FIGURA 28 - Elipses de Erros - Estratégia 2

TABELA 43 - Valores do Semi-Eixos Maior e Menor e Altura, das elipses - Estratégia 2

Estação	Semi-eixo Maior (m)	Semi-eixo Menor (m)	Altura (m)
AVAN	0.139	0.037	0.044
AVER	0.131	0.033	0.049
BELA	0.071	0.043	0.033
BOTU	0.159	0.102	0.077
BUNA	0.064	0.040	0.036
CAPA	0.000	0.000	0.000
CHUA	0.000	0.000	0.000
FERN	0.124	0.031	0.045
FRCA	0.067	0.044	0.038
IBIT	0.119	0.051	0.043
IEVA	0.216	0.099	0.075
ILHA	0.194	0.063	0.072
ITAP	0.189	0.103	0.076
JABO	0.081	0.046	0.034
LIMO	0.115	0.062	0.047
MARI	0.171	0.075	0.070
PANO	0.228	0.067	0.080
PIRA	0.120	0.054	0.038
REGI	0.235	0.104	0.075
SAGR	0.196	0.085	0.075
SJRP	0.097	0.033	0.040
TAQU	0.257	0.077	0.081
UEPP	0.222	0.071	0.077
USPP	0.259	0.178	0.175
VALI	0.171	0.103	0.077

13.4 - Elipses de Erros da Estratégia 3

A FIGURA 29 ilustra as elipses de erros do ajustamento da Estratégia 3, e a TABELA 44 apresenta os valores para os semi-eixos e para a altura.

FIGURA 29 - Elipses de Erros - Estratégia 3

TABELA 44 - Valores do Semi-Eixos Maior e Menor e Altura, das elipses - Estratégia 3

Estação	Semi-eixo Maior (m)	Semi-eixo Menor (m)	Altura (m)
AVAN	0.148	0.049	0.072
AVER	0.132	0.044	0.065
BELA	0.167	0.105	0.092
BOTU	0.137	0.097	0.085
BUNA	0.159	0.112	0.097
CAPA	0.000	0.000	0.000
CHUA	0.000	0.000	0.000
FERN	0.144	0.048	0.075
FRCA	0.082	0.049	0.058
IBIT	0.128	0.068	0.073
IEVA	0.174	0.106	0.088
ILHA	0.186	0.059	0.083
ITAP	0.147	0.112	0.088
JABO	0.070	0.049	0.041
LIMO	0.095	0.071	0.056
MARI	0.162	0.076	0.085
PANO	0.208	0.066	0.087
PIRA	0.095	0.072	0.051
REGI	0.176	0.117	0.088
SAGR	0.175	0.084	0.085
SJRP	0.103	0.040	0.056
TAQU	0.228	0.074	0.088
UEPP	0.203	0.070	0.086
USPP	0.140	0.122	0.094
VALI	0.125	0.120	0.092

13.4 - Elipses de Erros da Estratégia 4

A FIGURA 30 ilustra as elipses de erros do ajustamento da Estratégia 4, e a TABELA 45 apresenta os valores para os semi-eixos e para a altura.

FIGURA 30 - Elipses de Erros - Estratégia 4

TABELA 45 - Valores do Semi-Eixos Maior e Menor e Altura, das elipses - Estratégia 4

Estação	Semi-eixo Maior (m)	Semi-eixo Menor (m)	Altura (m)
AVAN	0.462	0.175	0.265
AVER	0.392	0.159	0.220
BELA	0.514	0.338	0.340
BOTU	0.430	0.278	0.294
BUNA	0.493	0.312	0.334
CAPA	0.000	0.000	0.000
CHUA	0.000	0.000	0.000
FERN	0.465	0.183	0.278
FRCA	0.233	0.133	0.166
IBIT	0.403	0.205	0.261
IEVA	0.481	0.325	0.297
ILHA	0.580	0.209	0.306
ITAP	0.435	0.327	0.305
JABO	0.256	0.169	0.180
LIMO	0.293	0.220	0.199
MARI	0.484	0.221	0.287
PANO	0.636	0.240	0.325
PIRA	0.283	0.249	0.200
REGI	0.463	0.406	0.323
SAGR	0.510	0.253	0.291
SJRP	0.315	0.141	0.195
TAQU	0.662	0.243	0.315
UEPP	0.600	0.230	0.308
USPP	0.483	0.339	0.349
VALI	0.433	0.292	0.317

CAPÍTULO 14

ANÁLISES DOS AJUSTAMENTOS

*"O que quer que você seja capaz de
fazer, ou imagina ser capaz,
comece. Ousadia contém
gênio, poder e magia."*

Johann Wolfgang von Goethe
(1749-1832),
Poeta alemão

Sumário detalhado do Capítulo 14

14.1 - Análise 1 - Verificação da Suficiência de Sessões com 2:30 horas de Observação	126
14.2 - Análise 2 - Verificação da Influência da utilização de valores atmosféricos reais	133
14.3 - Análise 3 - Verificação da Influência da utilização de efemérides precisas e das transmitidas	140
14.4 - Análise 4 - Verificação da Influência de vetores maiores que 150km processadas em conjunto com vetores menores que 150km.	147
14.5 - Análise 5 - Comparação das Coordenadas obtidas dos Ajustamentos realizados com Diferentes Injunções	155
14.5.1 - Comparações das coordenadas de CAPA	159
14.5.2 - Comparações das coordenadas de UEPP	160
14.5.3 - Comparações das coordenadas do Vértice CHUA	161

A análise dos ajustamentos das quatro estratégias de processamentos, em relação aos objetivos propostos, estão apresentadas abaixo. Como parâmetro de comparação entre os resultados obtidos, utilizaram-se os seguintes critérios sugeridos por SEGANTINE:

- O valor do erro médio das elipses de erros, calculado através da média dos erros obtidos para o semi-eixo maior, semi-eixo menor e altura. Elevou-se todos estes três termos ao quadrado e extraiu-se a raiz quadrada.

$$\text{erro médio das elipses} = \sqrt{\text{semi-eixo maior}^2 + \text{semi-eixo menor}^2 + \text{altura}^2} \text{ e}$$

- O valor da variância a *posteriori* do ajustamento.

Estes valores estão apresentados na TABELA 46, com a indicação da estratégia, entre parênteses o tempo de observação e as injunções.

Para as estratégias de duas horas e trinta minutos de dados observados, há a indicação sobre as efemérides e os dados meteorológicos, para facilitar a distinção e comparação.

TABELA 46 - Valores dos erros médios das elipses e variâncias a *posteriori*

Descrição da estratégia ajustada	Variância a <i>posteriori</i>	Erro médio das elipses (mm)
Estratégia 1 (total) - CHUA - CAPA	9,8	100
Estratégia 1 (total) - CAPA - UEPP	13,7	160
Estratégia 2 (2:30h) - CHUA - CAPA / Efemérides precisas e valores atmosféricos reais	10,0	150
Estratégia 3 (2:30h) - CHUA - CAPA / Efemérides precisas e valores atmosféricos do default	12,5	170
Estratégia 4 (2:30h) - CHUA - CAPA / Efemérides transmitidas e valores atmosféricos. reais	81,0	500

São apresentadas, também, comparações gráficas dos resultados dos ajustamentos, entre as estratégias analisadas.

As comparações gráficas, apresentadas a seguir, constituem-se das diferenças, deltas, entre a parte inteira das coordenadas UTM (nas direções N, E e altura) e as mesmas coordenadas consideradas em sua forma real, com três casas decimais. Assim, é possível visualizar melhor o que representam as discrepâncias entre os valores de variância a *posteriori*, das estratégias comparadas, bem como entre os valores dos erros médios das elipses, também entre as estratégias comparadas. Ainda, quando a parte inteira das coordenadas UTM apresentou diferenças no último algarismo, antes da parte decimal, tomou-se como referência a parte inteira da coordenada de maior valor.

As transformações de coordenadas geográficas geodésicas em coordenadas UTM foram realizadas do programa GeoBase VB50 versão 1.1.4 - Transformador de coordenadas, da empresa Base Aerofotogrametria e Projetos S.A.

Essas comparações foram realizadas com as coordenadas de alguns pontos escolhidos estrategicamente. Foram escolhidos o ponto USPP, que é muito utilizado e outros como o de Valinhos, Marília, Registro, Ilha Solteira e São José do Rio Preto, cobrindo as diversas regiões da rede GPS do Estado de São Paulo. Ainda, optou-se por não apresentar as comparações gráficas de todos os pontos das redes, entre as estratégias elaboradas, por se tornar uma apresentação demasiado extensa.

Assim, cada representação gráfica está acompanhada da respectiva tabela com as coordenadas do ponto, obtida nas estratégias, comparadas entre si.

14.1 - Análise 1 - Verificação da Suficiência de Sessões com 2:30 horas de Observação

Serão analisados os valores obtidos para as variâncias a posteriori e dos erros médio das elipses da estratégia 1 - CHUA e CAPA e da estratégia 2 - CHUA e CAPA.

Como pode ser observado na TABELA 47, ocorreram discrepâncias pequenas entre esses valores, sendo que entre os valores de erros médio das elipses, as discrepâncias foram de 50mm (5cm) entre as duas estratégias.

TABELA 47 - Estratégia 1 e estratégia 2

Descrição da estratégia Ajustada	Variância a <i>posteriori</i>	Erro médio das elipses (mm)
Estratégia 1 (total) - CHUA - CAPA / Efemérides precisas e Valores atmosféricos reais	9,8	100
Estratégia 2 (2:30h) - CHUA - CAPA / Efemérides precisas e Valores atmosféricos reais	10,0	150

Assim, fica provado, que quando da elaboração das estratégia para observação dos vetores da rede GPS do Estado de São Paulo, em 1994, não havia necessidade de sessões com 6 ou 8 horas de observação. Sessões com apenas 2:30h forneceriam resultados totalmente favoráveis.

Isto, também pode reafirmar a confiabilidade das propostas existentes hoje, de realizar sessões com apenas uma hora de observação, como as propostas do JPL. Se em 1994, duas horas e meia mostraram-se suficientes, hoje, com satélites mais sofisticados e em maior quantidade, provavelmente seriam obtidos resultados bons com menos horas de observação.

A seguir, são apresentadas as TABELAS com as coordenadas dos pontos que serão comparados, em UTM, e a visualização gráfica das diferenças (deltas), explicadas anteriormente.

TABELA 48 - Coordenadas UTM do Ponto USP-SP

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h (m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1 - USP - SP	7394432.244	323255.446	718.346	446	244	346
Estratégia 2 - USP - SP	7394431.740	323255.742	717.435	742	-260	-565

FIGURA 31 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto USPP

FIGURA 32 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto USPP

TABELA 49 - Coordenadas UTM do Ponto Valinhos

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h (m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1 - VALI	7454939.490	298486.122	856.969	122	490	968
Estratégia 2 - VALI	7454939.075	298486.299	855.844	299	75	-156

FIGURA 33 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto VALI **FIGURA 34** - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto VALI

TABELA 50 - Coordenadas UTM do Ponto Marília

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1 - Marília	7545170.342	610538.515	637.576	515	342	576
Estratégia 2 - Marília	7545170.043	610538.371	636.448	370	43	-552

FIGURA 35 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto MARI

FIGURA 36- Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto MARI

TABELA 51 - Coordenadas UTM do Ponto Ilha Solteira

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1 - ILHA	7747389.136	458476.658	322.390	658	136	390
Estratégia 2 - ILHA	7747389.027	458476.315	322.250	314	27	250

FIGURA 37 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto ILHA **FIGURA 38** - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto ILHA

TABELA 52 - Coordenadas UTM do Ponto São José do Rio Preto

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1 - S. J.do R. Preto	7700815.461	670893.791	519.742	791	461	742
Estratégia 2 - S. J.do R. Preto	7700815.351	670893.620	519.658	620	351	658

FIGURA 39 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto SJRP **FIGURA 40** - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto SJRP

TABELA 53 - Coordenadas UTM do Ponto Registro

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1- REGI	7293982.528	217845.199	44.433	199	528	433
Estratégia 2- REGI	7293981.940	217845.275	43.294	275	-60	-706

FIGURA 41 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto REGI **FIGURA 42** - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto REGI

14.2 - Análise 2 - Verificação da Influência da utilização de valores atmosféricos reais

Serão analisados os valores obtidos para as variâncias a posteriori e dos erros médio das elipses da estratégia 2 - CHUA e CAPA e da estratégia 3 - CHUA e CAPA.

Como pode ser observado na TABELA 54, o valor da estratégia 2 são ligeiramente melhores que os obtidos para a estratégia 3, indicando que utilização dos valores de temperatura, umidade e pressão no processamento, resultam em valores ajustados melhores, quando da utilização de valores do *default* do próprio software.

TABELA 54 - Estratégia 2 e estratégia 3

Descrição da estratégia ajustada	Variância a posteriori	Erro médio das elipses (mm)
Estratégia 2 (2:30h) - CHUA - CAPA / Efemérides precisas e Valores atmosféricos reais	10,0	150
Estratégia 3 (2:30h) - CHUA - CAPA / Efemérides precisas e valores atmosféricos do default	12,5	170

A diferença, nos erros médios das elipses, apesar de pequenas, 20mm (2 cm), ocorrem, não são nulas. Assim, em trabalhos que se deseja grande precisão, como rede geodésicas de alta precisão, sugere-se, sempre, a realização de coleta dos dados meteorológicos.

A seguir, são apresentadas as TABELAS com as coordenadas dos pontos que serão comparados, em UTM, as respectivas diferenças e em seguida a visualização gráfica destas diferenças.

TABELA 55 - Coordenadas UTM do USP - SP

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM			DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
	Norte (m)	Este (m)	h(m)			
Estratégia 2 / USP - SP	7394431.740	323255.742	717.435	742	-260	-565
Estratégia 3 / USP - SP	7394432.197	323255.400	718.764	400	197	764

FIGURA 43 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto USP - SP

FIGURA 44 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto REGI

TABELA 56 - Coordenadas UTM do Ponto Valinhos

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM			DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
	Norte (m)	Este (m)	h(m)			
Estratégia 2 / Valinhos	7454939.075	298486.299	855.844	299	75	-1156
Estratégia 3 / Valinhos	7454939.443	298486.077	857.367	77	443	366

FIGURA 45 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto VALI

FIGURA 46 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto VALI

TABELA 57 - Coordenadas UTM do Ponto Marília

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 2 / Marília	7545170.043	610538.371	636.448	370	43	-1552
Estratégia 3 / Marília	7545170.315	610538.471	638.073	471	315	73

FIGURA 47 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto MARI

FIGURA 48 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto MARI

TABELA 58- Coordenadas UTM do Ponto Ilha Solteira

Coordenadas UTM						
Descrição/Ponto	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 2 / Ilha	7747389.027	458476.315	322.250	314	27	-1750
Estratégia 3 / Ilha	7747389.070	458476.596	324.010	596	70	10

FIGURA 49 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto ILHA **FIGURA 50** - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto ILHA

TABELA 59- Coordenadas UTM do Ponto São José do Rio Preto

Coordenadas UTM						
Descrição/Ponto	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 2 / S. J. do R. Preto	7700815.351	670893.620	519.658	620	351	658
Estratégia 3 / S. J. do R. Preto	7700815.443	670893.688	519.622	688	443	622

FIGURA 51 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto SJRP **FIGURA 52** - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto SJRP

TABELA 60 - Coordenadas UTM do Ponto Registro

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 2 / REGI	7293981.940	217845.275	43.294	275	940	294
Estratégia 3 / REGI	7293982.496	217845.15	44.833	149	1496	1833

FIGURA 53 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto REGI **FIGURA 54** - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto REGI

14.3 - Análise 3 - Verificação da Influência da utilização de efemérides precisas e das transmitidas

Serão analisados os valores obtidos para as variâncias a posteriori e dos erros médio das elipses da estratégia 2 - CHUA e CAPA e da estratégia 4 - CHUA e CAPA.

Como pode ser observada na TABELA 61, a grande discrepância entre os valores de variância e erro médio das elipses, da estratégia 2 e os da estratégia 4, indicam a necessidade de utilização de efemérides precisas em trabalhos que se deseja grande precisão e principalmente, envolvem distância longas.

TABELA 61 - Comparação Estratégia 2 e Estratégia 4

Descrição da estratégia ajustada	Variância a <i>posteriori</i>	Erro médio das elipses (mm)
Estratégia 2 (2:30h) - CHUA - CAPA / Efemérides precisas e Valores atmosféricos reais	10,0	120
Estratégia 4 (2:30h) - CHUA - CAPA / Efemérides transmitidas e valores atmosféricos. reais	81,0	500

A seguir, são apresentadas as tabelas com as coordenadas dos pontos que serão comparados, em UTM, as respectivas diferenças e em seguida a visualização gráfica destas diferenças.

TABELA 62 - Coordenadas UTM do Ponto USP - SP

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 2 / USP - SP	7394431.740	323255.742	717.435	742	-260	-565
Estratégia 4 / USP - SP	7394432.566	323255.317	718.866	317	566	866

FIGURA 55 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto USPP **FIGURA 56** - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto USPP

TABELA 63 - Coordenadas UTM do Ponto VALI

Coordenadas UTM						
Descrição/Ponto	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 2 / Valinhos	7454939.075	298486.299	855.844	299	75	-1156
Estratégia 4 / Valinhos	7454939.727	298486.064	857.522	64	727	522

FIGURA 57 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto VALI

FIGURA 58 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto VALI

TABELA 64- Coordenadas UTM do Ponto MARI

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 2 / Marília	7545170.043	610538.371	636.448	370	43	-552
Estratégia 4 / Marília	7545170.558	610538.501	637.907	501	558	907

FIGURA 59 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto MARI

FIGURA 60 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto MARI

TABELA 65 - Coordenadas UTM do Ponto ILHA

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 2 / Ilha	7747389.027	458476.315	322.250	314	27	-750
Estratégia 4 / Ilha	7747389.110	458476.929	323.858	929	110	858

FIGURA 61 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto ILHA

FIGURA 62 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto ILHA

TABELA 66 - Coordenadas UTM do Ponto SJRP

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 2 / S. J. do R. Preto	7700815.351	670893.620	519.658	620	351	658
Estratégia 4 / S. J. do R. Preto	7700815.557	670893.801	519.537	801	557	537

FIGURA 63 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto SJRP

FIGURA 64 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto SJRP

TABELA 67 - Coordenadas UTM do Ponto REGI

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM			DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
	Norte (m)	Este (m)	h(m)			
Estratégia 2 / REGI	7293981.940	217845.275	43.294	275	940	294
Estratégia 4 / REGI	7293982.911	217845.017	44.977	17	1911	1977

FIGURA 65 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto REGI

FIGURA 66 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto REGI

14.4 - Análise 4 - Verificação da Influência de vetores maiores que 150 km processadas em conjunto com vetores menores que 150 km

Esta verificação será realizada através da comparação dos valores das coordenadas ajustadas de alguns pontos, em UTM, da estratégia 1, com os valores obtidos por SEGANTINE (1995), por FONSECA Jr. (1996) e os resultados publicados pelo IBGE.

SEGANTINE (1995) realizou o processamento de todos os vetores observados, com diversos comprimentos, incluindo vetores de até, aproximadamente, 500 km (USPP - UEPP), considerando CHUA como injunção. O mesmo foi realizado pelo IBGE. FONSECA (1996), por sua vez, processou vetores entre BUNA e Fortaleza (estação da rede IGS), entre FRCA e Kourou (estação da rede IGS, localizada na Guiana) e outros, considerando CHUA como injunção.

A descrição da estratégia 1, com todos os vetores encontra-se em 9.1.

A seguir, são apresentadas as tabelas com as coordenadas dos pontos que serão comparados, em UTM, as respectivas diferenças e em seguida a visualização gráfica destas diferenças.

Nos gráficos, os valores do IBGE estão representados pela letra I, os obtidos por FONSECA Jr. estão representados pela letra F e os obtidos por SEGANTINE estão representados pela letra S.

As coordenadas de todas as estações da rede, apresentadas por SEGANTINE (1995), FONSECA Jr. (1996) e as oficiais divulgadas pelo IBGE estão apresentadas no **ANEXO G**.

TABELA 68 - Coordenadas UTM do Ponto USP - SP

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM			DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
	Norte (m)	Este (m)	h(m)			
Estratégia 1 / USP - SP	7394432.244	323255.446	718.346	446	244	346
IBGE / USP - SP	7394431.893	323255.801	718.203	801	-107	203
FONSECA JR. / USP - SP	7394431.895	323255.734	718.345	733	-105	345
SEGANTINE / USP - SP	7394431.892	323255.669	718.314	669	-108	314

FIGURA 67 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto USPP **FIGURA 68** - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto USPP

TABELA 69 - Coordenadas UTM do Ponto Valinhos

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1 / Valinhos	7454939.490	298486.122	856.969	122	490	968
IBGE / Valinhos	7454939.193	298486.420	856.934	420	193	934
FONSECA JR. / Valinhos	7454939.202	298486.372	857.041	372	202	1041
SEGANTINE / Valinhos	7454939.204	298486.292	857.005	292	204	1005

FIGURA 69 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto VALI

FIGURA 70 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto VALI

TABELA 70 - Coordenadas UTM do Ponto Marília

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1 / Marília	7545170.342	610538.515	637.576	515	342	576
IBGE / Marília	7545170.150	610538.474	637.470	474	150	470
FONSECA JR. / Marília	7545170.137	610538.404	637.549	404	137	549
SEGANTINE / Marília	7545170.132	610538.412	637.488	412	132	488

FIGURA 71 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto MARI

FIGURA 72 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto VALI

TABELA 71 - Coordenadas UTM do Ponto Ilha Solteira

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1 / Ilha	7747389.136	458476.658	322.390	658	136	-610
IBGE / Ilha	7747389.096	458476.489	323.452	489	96	452
FONSECA JR. / Ilha	7747389.070	458476.434	323.554	434	70	554
SEGANTINE / Ilha	7747389.078	458476.372	323.530	372	78	530

FIGURA 73 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto ILHA

FIGURA 74 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto ILHA

TABELA 72 - Coordenadas UTM do Ponto São José do Rio Preto

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1 / S. J. do R. Preto	7700815.461	670893.791	519.742	791	461	-258
IBGE / S. J. do R. Preto	7700815.397	670893.727	520.850	727	397	850
FONSECA JR. / S. J. do R. Preto	7700815.381	670893.687	520.933	687	381	933
SEGANTINE / S. J. do R. Preto	7700815.384	670893.666	521.083	666	384	1083

FIGURA 75 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto SJRP

FIGURA 76 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto SJRP

TABELA 73 - Coordenadas UTM do Ponto Registro

Coordenadas UTM						
Descrição/Ponto	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1 / Registro	7293982.528	217845.199	44.433	199	528	433
IBGE / Registro	7293982.098	217845.409	44.282	409	98	282
FONSECA JR. / Registro	7293982.089	217845.340	44.460	340	89	459
SEGANTINE / Registro	7293982.077	217845.310	44.332	310	77	332

FIGURA 77 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto REGI **FIGURA 78** - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto REGI

Ainda, não se conseguiu junto ao IBGE, os valores de variância a posteriori do ajustamento realizados por seu corpo técnico. FONSECA Jr. (1996) nada relata, também, a respeito. Somente SEGANTINE (1995), publica os valores obtidos em seu ajustamento, da estratégia nomeada de MP1. Este valor está apresentado na TABELA 74, abaixo, junto com o obtido do ajustamento da estratégia 1.

TABELA 74 - Valores de variância a *posteriori* da estratégia 1

Descrição da estratégia Ajustada	Variância a <i>posteriori</i>
Estratégia 1 (total) - CHUA - CAPA / Efemérides precisas IGS e Valores atmosféricos reais	9,8
Solução SEGANTINE (1995) - CHUA / Efemérides precisas NGS e Valores atmosféricos default	10,7

Também, não se conseguiu junto ao IBGE os valores das elipses de erros e SEGANTINE (1995) e FONSECA Jr. (1996) nada relatam a respeito.

14.5 - Análise 5 - Comparação das Coordenadas obtidas dos Ajustamentos realizados com Diferentes Injunções

Realizou-se o ajustamento da estratégia 1 de duas maneiras:

- ✓ Na primeira, considerou-se CHUA e CAPA como injunções (estratégia 1) e
- ✓ Na segunda, considerou-se CAPA e UEPP como injunções (estratégia 1.1).

Em ambas considerou-se o tempo total de observação, efemérides precisas e valores atmosféricos reais.

Na TABELA 75, a seguir, são apresentados os valores obtidos para a variância *a posteriori* e o erro médio das elipses.

TABELA 75 - Comparação Estratégia 1 e Estratégia 1.1

Descrição da estratégia ajustada	Variância <i>a posteriori</i>	Erro médio das elipses (mm)
Estratégia 1 (total) - CHUA (IBGE) - CAPA (SIRGAS)	9,8	100
Estratégia 1.1 (total) - CAPA (SIRGAS) - UEPP (SIRGAS)	13,7	160

A seguir, são apresentadas as tabelas com as coordenadas dos pontos que serão comparados, em UTM, as respectivas diferenças e em seguida a visualização gráfica destas diferenças.

TABELA 76 - Coordenadas UTM do ponto USP - SP

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1 - CHUA - CAPA	7394432.244	323255.446	718.346	446	244	346
Estratégia 1.1 - CAPA - UEPP	7394432.087	323255.228	718.500	228	87	500

FIGURA 79 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto USP - SP **FIGURA 80** - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto USP - SP

TABELA 77 - Coordenadas UTM do ponto VALI

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM			DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
	Norte (m)	Este (m)	h(m)			
Estratégia 1 - CHUA - CAPA	7454939.490	298486.122	856.969	1122	490	-32
Estratégia 1.1 - CAPA - UEPP	7454939.413	298485.862	857.133	862	413	133

FIGURA 81 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto VALI

FIGURA 82 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto VALI

TABELA 78 - Coordenadas UTM do ponto Marília

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1 - CHUA - CAPA	7545170.342	610538.515	637.576	1515	342	576
Estratégia 1.1 - CAPA - UEPP	7545170.412	610537.813	637.735	813	412	735

FIGURA 83- Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto MARI

FIGURA 84 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto MARI

Realizou-se, também, as seguintes comparações entre as coordenadas das estações consideradas como injunção:

14.5.1 - Comparações das coordenadas de CAPA

A seguir, são apresentadas as tabelas com as coordenadas do ponto Cachoeira Paulista obtidas de SIRGAS, IBGE, SEGANTINE (1995) e FONSECA Jr. (1996), em UTM, as respectivas diferenças e em seguida a visualização gráfica destas diferenças.

TABELA 79- Coordenadas UTM do ponto Cachoeira Paulista

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM			DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
	Norte (m)	Este (m)	h(m)			
CAPA (SIRGAS)	7491132.763	501613.934	620.302	934	763	302
CAPA (IBGE)	7491132.526	501614.612	620.492	1611	526	492
CAPA (FONSECA)	7491132.561	501614.508	620.505	1508	561	505
CAPA (SEGANTINE)	7491132.556	501614.604	620.349	1604	556	349

FIGURA 85- Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto CAPA

FIGURA 86 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto CAPA

14.5.2 - Comparações das coordenadas de UEPP

Da Estratégia 1 (injunções CHUA (IBGE) e CAPA (SIRGAS)), comparou-se os valores das coordenadas obtidas para o ponto UEPP, com os valores do IBGE, FONSECA Jr. e SEGANTINE.

TABELA 80 - Coordenadas UTM do ponto UEPP

Coordenadas UTM						
Descrição/Ponto	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
Estratégia 1	7553844.490	457866.962	429.247	962	490	-753
UEPP (SIRGAS)	7553844.532	457866.090	430.946	90	532	946
UEPP (IBGE)	7553844.312	457866.738	431.037	737	312	1037
UEPP (SEGANTINE)	7553844.291	457866.673	431.081	673	291	1081
UEPP (FONSECA Jr.)	7553844.298	457866.675	431.064	675	298	1064

FIGURA 87 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto UEPP

FIGURA 88 - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto UEPP

14.5.3 - Comparações das coordenadas do Vértice CHUA

Da Estratégia 1.1 (injunções CAPA (SIRGAS) e UEPP (SIRGAS)), comparou-se os valores das coordenadas obtidas para o vértice CHUA, com os valores do IBGE.

TABELA 81 - Coordenadas UTM do Vértice CHUA

Descrição/Ponto	Coordenadas UTM					
	Norte (m)	Este (m)	h(m)	DELTA E (mm)	DELTA N (mm)	DELTA H (mm)
CHUA (IBGE)	7812251.730	803743.927	754.148	927	730	-852
Estratégia 1.1	7812252.113	803743.476	755.547	476	1112	547

FIGURA 89 - Gráfico dos valores das diferenças obtidas nas Direções N e E do ponto Vértice CHUA **FIGURA 90** - Gráfico dos valores das diferenças das alturas do ponto Vértice CHUA

CAPÍTULO 15

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

*"A ciência está sempre errada.
Nunca se resolve um problema
sem criar outros dez."*

George Bernard Shaw
(1856-1950),
Draumaturgo irlandês

Sumário detalhado do Capítulo 15

15.1- Conclusões sobre o Programa de Processamento	164
15.2 - Conclusões sobre os programas de ajustamento	165
15.3 - Conclusões sobre a qualidade dos dados coletados em 1994	166
15.4 - Conclusões sobre o Ajustamento das Estratégias 1 e 2	166
15.5 - Conclusões sobre os Ajustamentos das Estratégias 2 e 3	167
15.6 - Conclusões sobre os ajustamentos das estratégias 2 e 4	168
15.7 - Conclusões sobre os ajustamentos para verificação da influência de vetores maiores que 150km processadas em conjunto com vetores menores que 150km.	168
15.8 - Conclusões sobre os Ajustamentos das Estratégias 1 e 1.1	169
15.8.1 - Conclusões sobre comparações das coordenadas de CAPA	169
15.9 - Recomendações	171

Baseando-se nos estudos, nos resultados obtidos e nas análises executadas neste trabalho, apresentam-se algumas conclusões para este trabalho:

15.1- Conclusões sobre o Programa de Processamento

O programa OMNI v4.0, usado para a realização dos processamentos, apesar de exigir iteração constante com o usuário é um programa excelente, no sentido que permite conhecer as influências dos satélites no processamento dos dados, verificar a qualidade dos sinais dos satélites, bem como as respectivas visualizações gráficas;

- ✓ O manual do programa, no entanto, é pobre nas explicações sobre os critérios e valores escolhidos para a realização das etapas dos processamentos a priori e a posteriori para a portadora L1, L2 e a combinação L3;
- ✓ A interface gráfica deste programa, apesar de ser em DOS, é muito agradável.

Quanto ao programa comercial SKI, da Leica, nos processamentos que foram realizados, verificou-se que é um programa fácil de ser executado e com interface em ambiente Windows agradável;

- ✓ No entanto, como o programa realiza o processamento em uma única etapa, não foi possível saber quais os critérios internos utilizados.

»» Quanto ao programa comercial, PRISMA da Ashtech foi possível constatar que é um programa fácil de ser executado também. Em virtude dos problemas apresentados no item 10.1.1, não foi possível

comparar os resultados que este programa geraria, com os obtidos pelo OMNI v4.0.

- Ⓟ De acordo com o exposto no item 10.1.1, seria imprescindível que as empresas, evitassem incluir ou excluir linhas nos cabeçalhos dos arquivos de navegação e orbitais gerados por seus receptores, para não eliminar o caráter universal do formato RINEX.

15.2 - Conclusões sobre os programas de ajustamento

💾 De acordo com o explicado em 12.1, não foi possível utilizar os programas comerciais SKI e PRISMA para ajustamento, sem ter sido realizado o processamento nos mesmos previamente. Isto, porque não havendo instruções disponíveis, não se pôde organizar um arquivo, em formato texto, com a configuração dos dados de ajustamentos exigidos por esses programas.

💾 O programa STAR NET PLUS não é indicado para ajustar pontos em áreas que ultrapassem 3º a leste do Meridiano Central ou 3º a oeste do mesmo.

💾 O programa COLUMBUS é fácil de ser executado. Requer iteração com o usuário para se obter o melhor resultado de ajustamento. O manual do usuário sugere os valores mínimos e condições que podem ser aceitas para uma resultado ser considerado o melhor;

✓ No entanto, a iteração com o programa, para se chegar ao melhor resultado, é extremamente exaustiva: após cada combinação de vetores (explanada no item 11.1) é preciso verificar:

📖 se ela passa nos testes estatísticos do programa, aplicados para X, Y e Z;

📖 verificar os valores das elipses de erros;

📖 verificar os valores dos resíduos nos valores dos deltas ajustados.

15.3 - Conclusões sobre a qualidade dos dados coletados em 1994

Durante os processamentos, observou-se a ocorrência de grande número de perdas de ciclos e *outliers*, o que exigiu a necessidade de inúmeras tentativas de eliminação estas perdas com os critérios do software e até mesmo manualmente, quando os critérios não eram suficiente. Estas correções tornaram esta etapa do processamento exaustiva.

Assim, pode se dizer que os dados coletados em 1994 são de qualidade ruim e comportamento não homogêneo, o que foi verificado pelos diferentes satélites que tiveram que ser excluídos.

15.4 - Conclusões sobre o Ajustamento das Estratégias 1 e 2

A partir da análise das FIGURAS 31 a 42, do CAPÍTULO 14, conclui-se que o processamento das linhas bases com duas horas e trinta minutos é viável, revelando que não havia necessidade de sessões de observação com seis ou oito horas.

As diferenças observadas, da ordem de 1m para a altura em alguns pontos e bem menores nas direções N e E podem ser resultantes de períodos com dados ruins, quando se considerou, no processamento, o período total de observação.

Já, o período de observação de duas horas e trinta minutos foi extraído do período em que se verificou menos ocorrência de perdas de ciclos, do período total, apresentando, portanto, dados com menos perdas de ciclos e com comportamento geodésico mais homogêneo.

15.5 - Conclusões sobre os Ajustamentos das Estratégias 2 e 3

A partir da análise das FIGURAS 43 a 54, do CAPÍTULO 14, observou-se que o processamento das linhas bases com valores meteorológicos do *default* do programa, apresentam diferenças de mais de 1m no valor da altura, para a maioria dos pontos analisados, em relação aos obtidos de processamento com valores reais.

Estes resultados são um forte indicativo que ocorrem diferenças nas coordenadas finais, quando se consideram todos os pontos ou extremidades dos vetores com os mesmos valores de temperatura, pressão e umidade, em relação à quando se aplica o valor real registrado nestes pontos. O que vem de encontro com o exposto por FABRI (1999) e DANA (1999), no item 5.5 deste trabalho.

Assim, partindo-se do princípio que para linhas bases maiores que 20km, as condições atmosféricas já não são consideradas as mesmas, há necessidade da realização de medidas atmosféricas nas bases, bem como a inserção destes valores nos processamentos.

Menciona-se, também, que assim como há necessidade da inserção dos valores meteorológicos reais nos processamento, há a necessidade, também, do desenvolvimento de modelos atmosféricos confiáveis para as diversas regiões do Brasil.

Provavelmente, quando houver a combinação de uso, num processamento futuro, de um modelo atmosférico para o estado de São Paulo, por exemplo, juntamente com dados atmosféricos coletados *in loco*, os valores obtidos para as coordenadas finais ajustadas serão diferentes dos apresentados.

Não se pode ignorar as limitações imposta pela atmosfera, à utilização do sistema GPS, quando a mesma não está modelada com parâmetros da região em que se está trabalhando.

15.6 - Conclusões sobre os ajustamentos das estratégias 2 e 4

A partir da análise das FIGURAS 55 a 66, do CAPÍTULO 14, observou-se que o processamento das linhas bases com efemérides transmitidas apresentam diferenças por volta de 1,5m para a altura para a maioria dos pontos analisados; diferenças de mais 0,60m na direção N e E para alguns dos pontos analisados, em relação aos obtidos de processamento com efemérides precisas.

Isto deixa claro que para trabalhos que envolvam linhas bases grandes é imprescindível a utilização de efemérides precisas.

15.7 - Conclusões sobre os ajustamentos para verificação da influência de vetores maiores que 150 km processadas em conjunto com vetores menores que 150 km.

As diferenças encontradas, apresentadas nas TABELAS 68 a 73 e nas FIGURAS 67 a 78, no CAPÍTULO 14, podem evidenciar que a realização de processamento com vetores de comprimentos semelhantes, mas $\leq 150\text{km}$, na disposição vetorial apresentada no item 9.5, com valores atmosféricos reais, geram resultados diferentes quando, os mesmos dados GPS são processados em conjunto com vetores de diversos tamanhos, variando de comprimentos entre 80 km e 390 km e sem a utilização de valores atmosféricos reais.

Estes resultados mostram, também, que apesar do caráter da tecnologia GPS independer das distâncias entre as estações observadas (não requer intervisibilidade entre as estações), há necessidade de impor

limites à estas distâncias, quando não se têm conhecimentos suficientes em relação à influência atmosférica, ou ainda, quando ela não está modelada para a região em que se está trabalhando.

15.8 - Conclusões sobre os Ajustamentos das Estratégias 1 e 1.1

A partir da análise das FIGURAS 79 a 84, do CAPÍTULO 14, observou-se que o processamento das linhas bases que constituem a rede, com as injunções CAPA e UEPP apresentam diferenças de coordenadas ajustadas por volta de 16cm para a altura, para a maioria dos pontos analisados; diferenças de 20 a 70 cm na direção E e diferenças de 10 a 15cm na direção N para alguns dos pontos analisados, em relação aos obtidos de com as injunções CAPA e CHUA. Estas diferenças não são grandes, mas ocorrem.

Ainda, na tentativa de encontrar maiores explicações, se realizou as comparações das coordenadas das injunções utilizadas neste trabalho, e apresentadas a seguir.

15.8.1 - Conclusões sobre comparações das coordenadas de CAPA

As coordenadas de CAPA, obtidas de SIRGAS, diferem das do IBGE, SEGANTINE e FONSECA Jr., da ordem de aproximadamente 60cm, na direção E e da ordem de aproximadamente, 24cm na direção N. Já, em relação à altura, as diferenças são de aproximadamente 10cm.

As coordenadas de UEPP, por sua vez, obtidas de SIRGAS, diferem das do IBGE, SEGANTINE e FONSECA Jr., da ordem de aproximadamente 60cm, na direção E e da ordem de aproximadamente 20 cm na direção N. Já, em relação à altura, as diferenças são de aproximadamente 9cm.

Assim, CAPA e UEPP, obtidas de SIRGAS, apresentando diferenças semelhantes nas direções Ne E e na altura, em relação ao IBGE, verificou-se, se estas diferenças se mantinham em outros pontos. Através de comparações realizadas pelas FIGURAS 79 a 84 e pelas TABELAS 75 a 78, encontrou-se resposta positiva. No entanto, quando da mesma verificação para o vértice CHUA, em relação ao IBGE, observou-se que este difere de 45 cm na direção E, 40 cm na direção N e 130cm na altura. O que chamou atenção.

Da estratégia 1, com CHUA e CAPA como injunção, comparou-se as coordenadas obtidas para UEPP com as do IBGE e de SIRGAS, como ilustrado nas FIGURAS 87 e 88. As coordenadas de UEPP diferem, em relação ao IBGE de 23cm na direção E, 48cm na direção N e na altura 180cm. Em relação à SIRGAS, as diferenças são de 87cm na direção E, 4cm na direção N e na altura 170cm.

Diante deste fato, pode-se concluir que as coordenadas do vértice CHUA precisam ser revistas.

Esta afirmação vem em concordância com os relatos de SEGANTINE (1995) e FONSECA Jr. (1996). SEGANTINE, em seu trabalho, realizou inicialmente, o ajustamento considerando como fixos os pontos CHUA, USPP e UEPP, mas só chegou à valores de coordenadas para os demais pontos próximos aos divulgados pelo IBGE, quando ajustou a rede considerando apenas CHUA como ponto fixo. Relata ainda, a necessidade de verificação das coordenadas do ponto USPP. FONSECA Jr. por sua vez, cita que a realizou ajustamentos da rede considerando várias estações como fixas, mas apresenta como melhor resultado, o ajustamento com apenas CHUA fixo, que resultou nas coordenadas mais próximas do IBGE. Relata também a necessidade da verificação das coordenadas do vértice CHUA, uma vez que encontrou diferenças entre as coordenadas oficiais do IBGE, deste vértice e as obtidas através de testes que realizou, de 1044,53mm.

Diante das análises apresentadas, pode-se concluir que as coordenadas dos pontos da rede, estabelecidas pelo IBGE, a partir dos dados coletados nas campanhas realizadas em 1994, apresenta problemas. Dos ajustamentos de redes realizados, esperava-se que independente do

ponto que fosse considerado como fixo, desde que escolhido de estações oficiais, se encontrasse para os demais pontos (não fixos), coordenadas bem próximas. O que não ocorreu, não só neste trabalho, mas nos trabalhos de SEGANTINE (1995) e FONSECA Jr. (1996).

Assim, este trabalho, torna também, clara a necessidade de reocupação dos pontos da rede GPS do Estado de São Paulo. E esta necessidade é urgente, uma vez que as coordenadas do IBGE, sendo que as oficiais são as utilizadas por empresas e profissionais autônomos, nos diversos tipos de trabalhos existentes na área de Geodésia, E ainda, sendo pequeno o número de pessoas atuantes na área, que realmente têm condições de desconfiar e questionar os resultados obtidos, acaba por gerar uma propagação de erros e resultados de trabalhos distantes do real.

15.9 - Recomendações

Baseando-se nos conhecimentos e experiência adquirida na execução deste trabalho, apresenta-se, a seguir, algumas recomendações que podem ser úteis em futuros projetos de pesquisa.

Aprofundar pesquisas, no Brasil, dos efeitos atmosféricos sobre as observações com GPS;

Desenvolver pesquisas com a objetivo de elaborar um modelo atmosférico para o Brasil, ou até mesmo para o Estado de São Paulo;

Na implantação de redes geodésicas:

- determinar pontos com distâncias entre si, que não ultrapassem, pelo menos 200km, devido às limitações impostas pela atmosfera e ao fato de não haver modelos atmosféricos desenvolvidos especialmente para as regiões do Brasil;
- coletar dados atmosféricos dos pontos no dia da observação;
- escolher como pontos de inunção, estações que façam parte de projetos oficiais;

- elaborar sessões de observações entre os pontos adjacentes mais próximos, evitando, assim, vetores longos, e por outro lado, obter uma rede homogênea do ponto de vista geométrico;
- ✓ Utilizar efemérides precisas do IGS. Estas envolvem dados de estações de monitoramento no território brasileiro, permitindo calcular com maior precisão as órbitas dos satélites quando passam sobre o Brasil;
- ✓ Antes de planejar e realizar observações com GPS, em linhas bases longas, verificar o comportamento das atividades solares e previsões de explosões solares, o que pode ser feito, hoje, através da Internet;
- ✓ Realizar uma nova campanha de observação da rede GPS do Estado de São Paulo, sob a constelação atual de satélites, que tem maior número de satélites em relação à 1994;
- ✓ Estabelecer pontos mais próximos do vértice CHUA, para evitar as atuais linhas bases de comprimentos da ordem de 230 km (CHUA - AVER), de 235km (CHUA - LIMO), de 250km (CHUA - PIRA), de 173km (CHUA - SJRP), etc;
- ✓ Estabelecer mais um ponto na interseção do quadrilátero formado pelas estações de ILHA, MARI, IBIT E PANO, para também diminuir as distâncias dos vetores de observação entre as estações ILHA - MARI, de 253km; ILHA - IBIT, de 293km e PANO - MARI, de 218km;
- ✓ Realizar campanhas para verificações das coordenadas do vértice CHUA;
- ✓ Considerar como injunções, em próximos ajustamentos da rede GPS do estado de São Paulo, as estações de Cachoeira Paulista e Presidente Prudente, que fazem parte da rede SIRGAS;
- ✓ Realizar coleta dos dados meteorológicos e incluí-los nos processamentos.

ANEXO A

Transformação de Coordenadas ITRF94 para ITRF92

X, Y, e Z são as coordenadas em ITRF94,
XS, YS e ZS são as coordenadas em outro sistema,

Coordenadas de **Cachoeira Paulista** no ITRF94, de acordo com o IBGE - SIRGAS:

Coordenadas em m:

$$X := 4164684.609 \cdot 100$$

$$Y := -4162401.036 \cdot 100$$

$$Z := -2445011.067 \cdot 100$$

Coordenadas em cm:

$$X = 416468460.9$$

$$Y = -416240103.6$$

$$Z = -244501106.7$$

$$T1 := 0.8$$

$$T2 := 0.2$$

$$T3 := -0.8$$

$$R1 := 0$$

$$R2 := 0$$

$$R3 := 0$$

$$D := -0.08 \cdot 10^{-8}$$

$$\text{ITRF94} := \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad T := \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{bmatrix}$$

$$M := \begin{bmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{bmatrix}$$

$$\text{ITRF94} = \begin{bmatrix} 416468460.9 \\ -416240103.6 \\ -244501106.7 \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} 0.8 \\ 0.2 \\ -0.8 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} -8 \cdot 10^{-10} & 0 & 0 \\ 0 & -8 \cdot 10^{-10} & 0 \\ 0 & 0 & -8 \cdot 10^{-10} \end{bmatrix}$$

$$\text{ITRF92} := \text{ITRF94} + T + M \cdot \text{ITRF94}$$

$$\text{ITRF92} = \begin{bmatrix} 416468461.366825 \\ -416240103.067008 \\ -244501107.304399 \end{bmatrix} \text{ cm}$$

$$\text{FITRF92} := \text{ITRF92} \cdot 10^{-2}$$

Coordenadas de CAPA - ITRF92:

$$\text{FITRF92} = \begin{bmatrix} 4164684.614 \\ -4162401.031 \\ -2445011.073 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Diferenças entre :

$$\text{ITRF94} - \text{ITRF92} = \begin{bmatrix} -0.467 \\ -0.533 \\ 0.604 \end{bmatrix} \text{ cm}$$

$$\text{WGS 84 (G730)} = \text{ITRF92} \pm 10 \text{ cm}$$

Transformação de Coordenadas ITRF94 para ITRF92

X, Y, e Z são as coordenadas em ITRF94,
XS, YS e ZS são as coordenadas em outro sistema,

Coordenadas de **Presidente Prudente** no ITRF94, de acordo com o IBGE - SIRGAS

Coordenadas em m:

$$\begin{aligned} X &:= 3687624.310 \cdot 100 \\ Y &:= -4620818.571 \cdot 100 \\ Z &:= -2386880.407 \cdot 100 \end{aligned}$$

$$T1 := 0.8 \quad T2 := 0.2$$

$$R1 := 0 \quad R2 := 0$$

$$D := -0.08 \cdot 10^{-8}$$

Coordenadas em cm:

$$\begin{aligned} X &= 368762431 \\ Y &= -462081857.1 \\ Z &= -238688040.7 \end{aligned}$$

$$T3 := -0.8$$

$$R3 := 0$$

$$\text{ITRF94} := \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad T := \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{bmatrix}$$

$$M := \begin{bmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{bmatrix}$$

$$\text{ITRF94} = \begin{bmatrix} 368762431 \\ -462081857.1 \\ -238688040.7 \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} 0.8 \\ 0.2 \\ -0.8 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} -8 \cdot 10^{-10} & 0 & 0 \\ 0 & -8 \cdot 10^{-10} & 0 \\ 0 & 0 & -8 \cdot 10^{-10} \end{bmatrix}$$

$$\text{ITRF92} := \text{ITRF94} + T + M \cdot \text{ITRF94}$$

$$\text{ITRF92} = \begin{bmatrix} 368762431.50499 \\ -462081856.530335 \\ -238688041.30905 \end{bmatrix} \text{ cm}$$

$$\text{FITRF92} := \text{ITRF92} \cdot 10^{-2}$$

Coordenadas de UEPP- ITRF92:

$$\text{FITRF92} = \begin{bmatrix} 3687624.315 \\ -4620818.565 \\ -2386880.413 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Diferenças entre :

$$\text{ITRF94} - \text{ITRF92} = \begin{bmatrix} -0.505 \\ -0.57 \\ 0.609 \end{bmatrix} \text{ cm}$$

$$\text{WGS 84 (G730)} = \text{ITRF92} \pm 10 \text{ cm}$$

ANEXO B

A seguir encontram-se as TABELAS de dados meteorológicos fornecidos pelo INMET e pelo IAC, utilizados para processamentos dos dados GPS no programa OMNI V4.0.

TABELA 82 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 069

DOY 069 - 10/03/1994				
Ponto observado	Nome abreviado	Dados Meteorológicos		
		Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
15	USPP	22,9	78	924,4
05	PIRA	26,2	50	941,9
16	BELA	25,0	50	1006,0
17	BUNA	25,0	50	929,3
18	VALI	24,8	50	913,5

TABELA 83– Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 070

DOY 070 - 11/03/1994				
Ponto Observado	Nome abreviado	Dados Meteorológicos das estações		
		Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
015	USPP	22,2	78,0	924,4
05	PIRA	25,4	50,0	941,9
06	LIMO	25,4	50,0	944,4
07	FRCA	23,3	50,0	899,1
16	BELA	25,0	50,0	1006,0
17	BUNA	25,0	50,0	929,3
18	VALI	23,6	50,0	913,5

TABELA 84 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 071

DOY 071 - 12/03/1994				
Ponto observado	Nome abreviado	Dados Meteorológicos		
		Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
05	PIRA	23,9	50	941,9
06	LIMO	24,1	50	944,4
07	FRCA	23,6	50	899,1

TABELA 85 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 072

DOY 072 - 13/03/1994				
Ponto Observados	Nome abreviado	Dados Meteorológicos		
		Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
01	CHUA	25,3	82	925,0
02	AVER	25,0	50	966,2
03	SJRP	28,5	50	951,3
04	JABO	23,3	50	941,4
05	PIRA	24,0	50	941,9
06	LIMO	24,1	50	944,4
07	FRCA	23,7	50	899,1

TABELA 86– Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 073

DOY 076 - 14/03/1994				
Ponto Observado	Nome abreviado	Dados Meteorológicos		
		Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
01	CHUA	26,3	82	925,0
02	AVER	25,0	50	966,2
03	SJRP	27,0	50	951,3
04	JABO	23,2	50	941,4

TABELA 87 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 074

DOY 074 - 15/03/1994				
Ponto Observado	Nome abreviado	Dados Meteorológicos		
		Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
01	CHUA	26,0	82	925,0
02	AVER	25,0	50	966,2
03	SJRP	27,5	50	951,3
04	JABO	24,3	50	941,4
08	FERN	25,0	50	961,9
09	AVAN	27,5	50	971,4
10	IBIT	25,0	50	964,6

TABELA 88 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 075

DOY 075 - 16/03/1994				
Ponto Observado	Nome Abreviado	Dados Meteorológicos		
		Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
08	FERN	25,0	50	961,9
09	AVAN	27,5	70	971,4
10	IBIT	25,0	50,0	964,6

TABELA 89 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 076

DOY 076 - 17/03/1994				
Ponto Observado	Nome Abreviado	Dados Meteorológicos		
		Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
11	UEPP	26,4	71	962,1
08	FERN	25,0	50	961,9
09	AVAN	27,7	50	971,4
10	IBIT	25	50	964,6
12	TAQU	25	50	972,0
13	SAGR	25	50	967,0
14	ILHA	25	50	971,0

TABELA 90 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 327

DOY 327 - 23/11/1994				
Ponto Observado	Nome Abreviado	Dados Meteorológicos da		
		Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
18	VALI	20,7	50	913,5
16	BELA	25	50	1006,0
17	BUNA	25	50	929,3
19	CAPA	25	50	940,2

TABELA 91 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 328

DOY 328 - 24/11/1994				
Ponto Observado	Nome abreviatura	Dados Meteorológicos		
		Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
15	USPP	18,1	72	924,4
18	VALI	21,2	70	913,5
19	CAPA	25,0	50	940,2
20	REGI	21,5	50	1007,5

TABELA 92 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 329

DOY 329 - 25/11/1994				
Ponto Observado	Nome abreviado	Dados Meteorológicos		
		Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
21	ITAP	23,0	50	925,9
18	VALI	25,0	50	913,5
20	REGI	23,8	50	1007,5
22	IEVA	22,5	50	930,7

TABELA 93 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 332

DOY 332 - 28/11/1994				
Ponto Observado	Nome abreviado	Dados Meteorológicos		
		Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
11	UEPP	25,4	59	962,1
13	SAGR	25,0	50	967,0
21	ITAP	23,0	50	925,9
22	IEVA	23,5	50	930,7
23	BOTU	21,2	50	925,6

TABELA 94 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 333

DOY 333 - 29/11/1994				
Ponto	Nome	Dados Meteorológicos		
Observado	abreviado	Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
11	UEPP	21,8	59	962,1
10	IBIT	25,0	50	964,6
13	SAGR	25	50	967,0
23	BOTU	22,6	50	925,6
24	MARI	22,5	50	938,1

TABELA 95 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 334

DOY 334 - 30/11/1994				
Ponto	Nome	Dados Meteorológicos		
Observados	Observado	Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
14	ILHA	25,1	50	971,0
25	PANO	25	50	973,.

TABELA 96 – Dados Meteorológicos dos pontos observados no DOY 335

DOY 335 - 01/12/1994				
Ponto	Nome	Dados Meteorológicos		
Observado	Abreviado	Temperatura. Média Diária (°C)	Umidade Média Mensal (%)	Pressão Média Mensal (mb)
11	UEPP	24,5	59	960,9
12	TAQU	25,0	50	972
13	SAGR	25,0	50	967
24	MARI	23,0	50	938,1
25	PANO	25,0	50	973,3

ANEXO C

Há dois tipos de informações orbitais distintas, as efemérides transmitidas (pré determinadas) e as efemérides precisas, pós processadas (SEEBER, 1993).

1 - Efemérides Transmitidas

As efemérides transmitidas são sinais na forma de mensagem de navegação. São geradas pelo processo de integração orbital baseado em observações de 4 estações do OPNET³⁵: Maine, Minnesota, Califórnia, Hawaii. O cálculo é feito diariamente, duas vezes baseado em 36 horas de observação. Os dados orbitais são extrapolados para 36 horas e são carregados na memória do satélite pelas estações de controle terrestres (SEEBER, 1993).

NA FIGURA 91 está ilustrado um exemplo de parte de um arquivo de efemérides transmitidas.

```
2          NAVIGATION DATA          RINEX VERSION / TYPE
RINGO      CIGNET INFO CNTR    98/11/20  8:51    PGM / RUN BY / DATE
.1118D-07   .7451D-08   -.5960D-07   -.5960D-07    ION ALPHA
.9011D+05   .0000D+00   -.1966D+06   -.6554D+05    ION BETA
-.186264514923D-08 -.204281036531D-13    32768    -27 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
9          LEAP SECONDS
          END OF HEADER
20 94  3 11 12  0   .0   .479980371892D-04   .136424205266D-11   .000000000000D+00
.150000000000D+03 -.554375000000D+02   .425803450710D-08   -.189767586850D+01
-.291690230371D-05 .461349403486D-02   .114478170872D-04   .515362149811D+04
.475200000000D+06 .135973095894D-06   .274847702207D+01   .149011611939D-07
.960839832667D+00 .159625000000D+03   .141607893875D+01   -.785211278633D-08
-.547522806524D-09 .100000000000D+01   .739000000000D+03   .000000000000D+00
.400000000000D+01 .000000000000D+00   .372529029846D-08   .150000000000D+03
.474840000000D+06
5 94  3 11 12  0   .0   .299797393382D-04   .204636307899D-11   .000000000000D+00
.660000000000D+02 -.538125000000D+02   .440304054718D-08   .240319070570D+01
-.296160578729D-05 .211550539825D-02   .116527080536D-04   .515365326118D+04
.475200000000D+06 .745058059695D-08   .275379417484D+01   -.465661287309D-07
.957278275217D+00 .151125000000D+03   -.231427731122D+01   -.795175979417D-08
-.524307553802D-09 .100000000000D+01   .739000000000D+03   .000000000000D+00
.320000000000D+02 .000000000000D+00   .139698386192D-08   .660000000000D+02
.474810000000D+06.....
```

FIGURA 91 - Parte de um arquivo de efemérides transmitidas

2 - Efemérides Precisas

³⁵ OPNET: Operational Network

As órbitas precisas oficiais dos satélites são produzidas pelo NSWC³⁶ e pela NIMA³⁷ e são baseadas nas observações de dados de diversas estações de controle terrestres. Atualmente, as efemérides precisas são calculadas por diversas instituições e estão disponíveis para os usuários através da Internet.

As efemérides precisas utilizadas neste trabalho foram obtidas junto ao IGS no formato chamado de SP3 e os programas para transformá-las para o formato SP1, bem como as instruções foram obtidos nos seguintes endereços eletrônicos, respectivamente:
ftp://www.ngs.noaa.gov/cors/utilities/Dos/ e
http://www.ngs.noaa.gov/GPS/Utilities/utility.doc.

No IGS, os dados de efemérides podem ser obtidas através do endereço ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/product. No NGS, podem ser obtidos através do endereço eletrônico ftp://www.ngs.noaa.gov/cors/dist.

São apresentados a seguir, partes de arquivos de diversos tipos de formatos de efemérides precisas.

Formato SP1

```
# 1994 3 11 0 0 0.0000000 900.0000000 49422 0.0000000000000 96F
NGS
+ 26 1 2 3 4 5 7 912131415161718192021222324252627282931 0 0 0 0 0 0 0 089
739
* 1994 3 11 0 0 0.0000000
SV 1 11302.01040 19666.41305 13867.76795 -1.57111937 -0.79903008
2.43845912
SV 2 -801.79590 -16372.60535 20972.65935 2.37735043 -1.14301489 -
0.86219650
SV 3 -233.26070 17475.60280 -20047.24620 -1.21705927 -2.19481022 -
1.96666536
SV 4 -7249.81775 -22158.78035 -12593.11360 0.34469656 -1.59556618
2.59273213
SV 5 -24125.59680 11090.77490 1604.76105 0.04501401 -0.34512666
3.15454246
SV 7 -9742.38055 -19327.06755 15653.54500 1.74164998 0.92049590
2.20563330
SV 9 -15116.81465 7679.11130 20468.00590 0.06804486 -2.59495747
1.03569504
SV12 -15262.66310 11645.02150 18080.62620 0.95430407 -2.09105154
2.22356569
SV13 -16058.43995 -21102.85175 -2823.66080 -0.41103353 -0.16637817
3.43904763
SV14 23726.67575 -12048.71815 -1437.54985 0.27459002 0.16444463
3.16037343
SV15 14485.03015 -10807.74510 19280.67245 -0.13140641 2.48887911
1.46955562
SV16 -22076.33910 -1391.91420 -14668.71840 1.61682365 -0.95929346 -
2.33968352
```

³⁶ NSWC: Naval Surface Warfare Center

³⁷ NIMA: National Imagery and Mapping Agency

```

SV17 -7983.78160 24444.68940 -6663.11260 -0.13819045 -0.84494962 -
3.04582986
SV18 6767.78640 -14207.45130 -21575.33165 2.30018106 1.42192516 -
0.20938422
SV19 6652.58315 -24574.63305 -7587.40750 0.29546734 0.98003495 -
2.91494173
SV20 -17208.00910 17288.75745 -10613.30350 -1.29097567 0.39352480
2.77627448
* 1994 3 11 0 15 0.00000000
SV 1 9769.94690 18920.31885 15937.20660 -1.83085557 -0.85139727
2.15374207
SV 2 1269.52885 -17431.48675 20019.38705 2.21935953 -1.20382275 -
1.25351039
SV 3 -1455.68675 15469.94835 -21640.64735 -1.49782169 -2.25102756 -
1.56957714
SV 4 -6981.61725 -23465.77765 -10157.24405 0.25704737 -1.30386462
2.81239597
SV 5 -23954.12945 10701.35085 4421.96240 0.33158276 -0.52568606
3.09699364
SV 7 -8061.75615 -18486.13925 17500.58235 1.98959852 0.94092680
1.89300597
SV 9 -15113.63465 5297.66385 21221.80175 -0.06310587 -2.68847661
0.63705275
SV12 -14433.55405 9634.97060 19917.28520 0.87973045 -2.36895696
1.85229377
SV13 -16328.68655 -21098.39740 286.66730 -0.18154483 0.17121112
3.46302418
SV14 23834.73620 -11834.40310 1410.94290 -0.03141445 0.31804119
3.16061511
SV15 14421.66785 -8496.09780 20430.95920 -0.00605300 2.63979884
1.08274897
SV16 -20541.82895 -2343.33315 -16641.96560 1.78515501 -1.15638719 -
2.03891787

```

.....

Formato SP3 'P'

```

aP1994 3 11 0 0 .00000000 96 ORBIT IER92 HLM IGS
## 739 432000.00000000 900.00000000 49422 .00000000000000
+ 26 1 2 3 4 5 7 9 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
+ 22 23 24 25 26 27 28 29 31 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 6 6 6 7 5 6 6 5 6 6 7 6 6 7 6 6 6
++ 7 7 7 7 6 6 7 6 6 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc ccccc
%f .00000000 .000000000 .000000000000 .000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/* IGS FINAL ORBIT COMBINATION FROM WEIGHTED AVERAGE OF:
/* cod emr esa gfz jpl ngs sio
/* REFERENCED TO GPS CLOCK AND TO ITRF ALIGNED BULL. B POLE:
/* IERS Bulletin B Final Value
* 1994 3 11 0 0 .0000
P 1 11302.010421 19666.413067 13867.767966 -11.446611
P 2 -801.795886 -16372.605362 20972.659361 -75.534951
P 3 -233.260696 17475.602817 -20047.246179 4.889527
P 4 -7249.817759 -22158.780357 -12593.113581 17.071179
P 5 -24125.596786 11090.774883 1604.761055 29.872467
P 7 -9742.380542 -19327.067569 15653.545013 61.228499
P 9 -15116.814637 7679.111322 20468.005912 -13.253034
P 12 -15262.663117 11645.021481 18080.626192 14.533643
P 13 -16058.439950 -21102.851764 -2823.660783 -135.047346
P 14 23726.675774 -12048.718160 -1437.549842 4.401394

```



```

P 15 14485.030139 -10807.745094 19280.672442 66.628046
P 16 -22076.339102 -1391.914209 -14668.718408 -71.623691
P 17 -7983.781583 24444.689397 -6663.112590 -45.710277
P 18 6767.786380 -14207.451282 -21575.331634 -5.365846
P 19 6652.583174 -24574.633055 -7587.407521 13.561208
P 20 -17208.009092 17288.757466 -10613.303497 47.926459
P 21 2362.630625 15558.134507 21202.647399 -21.865495
P 22 18007.614390 5690.099267 -18736.522988 103.703478
P 23 -11291.402937 17704.034332 16270.558703 4.297977
P 24 -12560.924507 -12823.475576 -19481.266787 8.453685
P 25 8446.069427 21771.809371 -12961.818938 -4.282798
P 26 -23495.776635 -5874.358587 11348.240104 -44.150222
P 27 980.877611 -26327.105836 629.914473 21.958394
P 28 22869.565935 12983.007803 2524.618318 1.313622
P 29 17100.652270 -5528.884846 -19420.351971 10.499655
P 31 22752.557090 3818.423764 13238.249719 80.430688
      * 1994 3 11 0 15 .0000
P 1 9769.946906 18920.318829 15937.206604 -11.577067
P 2 1269.528841 -17431.486766 20019.387032 -75.427337
P 3 -1455.686725 15469.948334 -21640.647354 4.888493
P 4 -6981.617227 -23465.777660 -10157.244068 17.245992
P 5 -23954.129462 10701.350835 4421.962398 29.907756
P 7 -8061.756174 -18486.139271 17500.582326 61.116115
P 9 -15113.634652 5297.663840 21221.801762 -13.411396
P 12 -14433.554067 9634.970580 19917.285179 14.532780
P 13 -16328.686543 -21098.397406 286.667295 -135.071082
P 14 23834.736193 -11834.403118 1410.942875 4.357069
P 15 14421.667858 -8496.097821 20430.959185 66.631058
P 16 -20541.828963 -2343.333151 -16641.965591 -71.579753
      .....

```

Formato SP3 'V'

```

#aV1994 8 22 20 40 0.00000000 47 d ITR92 FIT NGS
## 763 160800.00000000 2400.00000000 49586 0.86111111111111
+ 25 1 2 4 5 6 7 9 12 14 15 16 17 18 19 20 21 22
+ 23 24 25 26 27 28 29 31 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 5 6 6 5 6 6 5 5 5 5 6 5 5 5 5 5 7
++ 5 7 6 6 8 7 5 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/* The NGS post-fit satellite positions have been combined
/* with Broadcast ephemeris clock values at the epochs shown
/* (Use these Broadcast clock values at your own risk.)
/* CCCC-----CCCC
      * 1994 8 22 20 40 0.00000000
P 1 -15041.238000 -3055.847900 -21565.680550 -40.355300
V 1 2832.186081 -27521.185484 1973.965959 -44.114488
P 2 23869.334950 11146.051900 -5050.436400 -108.906900
V 2 4162.709935 5691.603872 30367.317261 -0.102380
P 4 24250.758700 -3536.972750 -10203.363750 39.843800
V 4 -10821.534577 7717.983969 -28091.912138 -0.054564
P 5 -544.817500 -17351.846050 -20026.692950 57.220300
V 5 21950.595956 13199.125789 -12069.342692 -0.010972
P 6 -5416.298150 -23364.172050 11111.582450 157.789800
V 6 4114.350273 -13817.911603 -27426.905289 0.372575
P 7 14557.827350 5686.018100 -21418.072450 697.447900
V 7 -2179.172462 27280.440870 5457.018535 -0.236559
P 9 8911.431000 -17937.389850 -17333.674600 -4.791900
V 9 20884.093502 -7745.195191 18809.371497 2.254773

```

```

P 12 9598.509850 -12051.309800 -21363.470250 -20.523200
V 12 27296.496208 -2490.529773 14258.128315 0.815397
P 14 5819.189750 19214.349200 -17327.045600 6.408300
V 14 -18817.068110 -11592.768942 -19329.775931 4.698226
P 15 -7115.281400 17327.758200 -19081.523300 109.593400
V 15 -22264.397470 8258.174455 15911.580253 95.445542
P 16 14555.189750 -7457.115350 20952.403900 -74.639000
V 16 20801.133202 16525.170022 -8572.184658 0.606526
P 17 -12557.771200 -10397.605200 20762.934100 -58.532800
V 17 24754.616507 -10406.614514 9518.060421 0.509295
P 18 8195.516500 21703.003400 12810.743250 -2.125600
V 18 -3554.103611 16411.646626 -25113.749095 0.241834
P 19 10833.212700 11994.003950 21085.722900 47.823700
V 19 -23693.964927 12666.294294 4951.952844 -0.062872
P 20 -13218.216750 -19351.394500 -12679.387400 144.561600
V 20 14483.900724 6828.478258 -25801.216177 0.262269
P 21 -23814.346250 -9631.303150 -7847.583700 -2.322400
V 21 -6670.898549 -7402.945953 29217.043735 -1.366468
P 22 -19559.080950 2329.544100 18030.444000 148.603700
V 22 -18036.736484 -13828.734780 -17493.498444 -0.026829
P 23 -19012.633750 -18194.179000 4811.209200 0.417300
V 23 6173.775778 1425.551351 30767.512539 -0.238280
P 24 22914.680050 -13019.206600 2692.160050 768.464900
V 24 4014.297353 860.229579 -31897.068269 -0.084506
P 25 -24329.449250 4924.711550 -9091.430200 -13.112700

```

.....

Formato SP2

```

#aP1994 8 22 20 40 0.00000000 47 d ITR92 FIT NGS
## 763 160800.00000000 2400.00000000 49586 0.86111111111111
+ 25 1 2 4 5 6 7 9 12 14 15 16 17 18 19 20 21 22
+ 23 24 25 26 27 28 29 31 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 5 6 6 5 6 6 5 5 5 5 6 5 5 5 5 5 7
++ 5 7 6 6 8 7 5 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc ccccc
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc ccccc
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/* The NGS post-fit satellite positions have been combined
/* with Broadcast ephemeris clock values at the epochs shown
/* (Use these Broadcast clock values at your own risk.)
/* CCCC-----CCCC
* 1994 8 22 20 40 0.00000000
P 1 -15041.237977 -3055.847877 -21565.680528 -40.355303
P 2 23869.334938 11146.051908 -5050.436382 -108.906960
P 4 24250.758677 -3536.972731 -10203.363735 39.843811
P 5 -544.817481 -17351.846065 -20026.692944 57.220332
P 6 -5416.298152 -23364.172073 11111.582446 157.789839
P 7 14557.827360 5686.018087 -21418.072452 697.447904
P 9 8911.430984 -17937.389867 -17333.674582 -4.791949
P 12 9598.509872 -12051.309800 -21363.470253 -20.523202
P 14 5819.189743 19214.349183 -17327.045623 6.408390
P 15 -7115.281379 17327.758184 -19081.523278 109.593460
P 16 14555.189763 -7457.115355 20952.403923 -74.639004
P 17 -12557.771209 -10397.605195 20762.934124 -58.532871
P 18 8195.516490 21703.003387 12810.743234 -2.125615
P 19 10833.212721 11994.003948 21085.722924 47.823729
P 20 -13218.216765 -19351.394514 -12679.387390 144.561641
P 21 -23814.346234 -9631.303147 -7847.583694 -2.322484
P 22 -19559.080972 2329.544105 18030.444006 148.603729
P 23 -19012.633733 -18194.179008 4811.209177 0.417367

```

```

P 24 22914.680032 -13019.206597 2692.160056 768.464964
P 25 -24329.449265 4924.711539 -9091.430221 -13.112743
P 26 8865.006772 -22837.902689 10197.021861 -10.827720
P 27 20662.199012 3020.844039 16423.188293 40.464426
P 28 -12882.062463 15867.351073 17054.004974 32.742237
P 29 386.132444 26422.816540 2462.348121 16.696899
P 31 -7285.230482 24106.916172 8028.350698 39.316615
      * 1994 8 22 21 20 0.00000000
P 1 -14807.681972 -9483.247963 -19780.177337 -40.360299
P 2 23978.127069 11932.908547 2391.531902 -108.912157
P 4 20981.542980 -1018.512380 -16187.593622 39.846921
P 5 5194.435458 -14408.128790 -21642.270943 57.226151
.....

```

A seguir, é apresentado um documento que permite a identificação de cada parâmetro que compõe o arquivo de efeméride precisa, no formato SP3, obtido no endereço <ftp://igscb.jp/nasa.gov/igscb/data/format/sp3>. Ainda, uma descrição com maiores explicações sobre o formato SP3 pode ser encontrada no endereço <ftp://igscb.jp/nasa.gov/igscb/data/format/sp3.docu>.

```

# @(#) sp3      1.3      03/08/95
#aV1993 1 29 0 0 0.00000000      96      d ITR91 FIT JPL
## 681 432000.00000000 900.00000000 49016 0.00000000000000
+ 19 1 2 3 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 23 24 25 26
+ 27 28 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
++ 10 11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc cccc
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/* cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
/* cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
/* cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
/* cccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccccc
* 1993 1 29 0 0 0.00000000
P 1 14722.638510 6464.319150 -21020.844810 -8.059218
V 1 -1196.628800 26950.022500 7502.277100 0.000000
P 2 -24023.155300 -11843.563990 -1675.647210 -10.813964
V 2 -769.152700 -3247.508000 31255.023300 0.000000
P 3 2074.555420 19025.998840 17928.366120 -430.859048
V 3 -6873.932300 22421.664200 -23147.529600 0.000000
P 12 -6236.325580 13153.271260 -21964.100040 -108.945737
V 12 -27384.917100 6805.632800 12337.728800 0.000000
P 13 -13306.857100 4790.062110 -22360.523490 628.240251
V 13 9739.738600 -26864.612400 -11662.222500 0.000000
. . . .
. . . .
. . . .

```

```

P 27 -19350.820260 -4003.111190 17582.690790 14.651464
V 27 19491.879100 -11990.042400 18156.904400 0.000000
P 28 13316.378500 -13959.644490 18317.660940 52.520005
V 28 258.246400 23316.420800 17208.928500 0.000000
EOF

```

SP3 LINE 1

```

col 1      symbol      #
col 2      version id  a
col 3      P/V mode flag V
col 4- 7   year start  1993
col 9-10   month start _1
col 12-13  day of month start 29
col 15-16  hour start  _0
col 18-19  minute start _0
col 21-31  second start _0.00000000
col 33-39  number of epochs ____96
col 41-45  data used    ____d
col 47-51  coordinate system ITR91
col 53-55  orbit type   FIT
col 57-60  agency name  _JPL

```

SP3 LINE 2

```

col 1- 2   symbols      ##
col 4- 7   GPS week     _681
col 9-23   seconds of week 432000.00000000
col 25-38  epoch interval __900.00000000
col 40-44  mod. julian day start 49016
col 46-60  fractional day  0.00000000000000

```

SP3 LINE 3

```

col 1- 2   symbols      +_
col 5- 6   number of satellites 19
col 10-12  sat #1 id      __1
col 13-15  sat #2 id      __2
.
.
.
col 58-60  sat #17 id     _26

```

SP3 LINES 4-7

```

col 1- 2   symbols      +_
col 10-12  sat #18(35,52,69) id _27
col 13-15  sat #19(36,53,70) id _28
.
.
.
col 58-60  sat #34(51,68,85) id __0

```

SP3 LINES 8-12

```

col 1- 2   symbols      ++
col 10-12  sat #1(18,35,52,69) acc _10
col 13-15  sat #2(19,36,53,70) acc _10
.
.
.
col 58-60  sat #17(34,51,68,85) acc _10

```

SP3 LINES 13-14

```

col 1- 2   symbols      %c
col 4- 5   2 characters  cc
col 7- 8   2 characters  cc
col 10-12  3 characters  ccc
col 14-16  3 characters  ccc
col 18-21  4 characters  cccc
col 23-26  4 characters  cccc
col 28-31  4 characters  cccc
col 33-36  4 characters  cccc
col 38-42  5 characters  ccccc
col 44-48  5 characters  ccccc
col 50-54  5 characters  ccccc

```

```

col 56-60    5 characters          ccccc

SP3 LINES 15-16
col 1- 2     symbols                %f
col 4-13     10-column float        _0.0000000
col 15-26    12-column float        _0.000000000
col 28-41    14-column float        _0.00000000000
col 43-60    18-column float        _0.000000000000000

SP3 LINES 17-18
col 1- 2     symbols                %i
col 4- 7     4-column int           ____0
col 9-12     4-column int           ____0
col 14-17    4-column int           ____0
col 19-22    4-column int           ____0
col 24-29    6-column int           ____0
col 31-36    6-column int           ____0
col 38-43    6-column int           ____0
col 45-50    6-column int           ____0
col 52-60    9-column int           _____0

SP3 LINES 19-22
col 1- 2     symbols                /*
col 4-60     comment                CC...CC

SP3 LINE 23 (epoch header record)
col 1- 2     symbols                *_
col 4- 7     year start              1993
col 9-10     month start             _1
col 12-13    day of month start      29
col 15-16    hour start              _0
col 18-19    minute start            _0
col 21-31    second start            _0.00000000

SP3 LINE 24 (position and clock record)
col 1        symbol                 P
col 2- 4     satellite id            __1
col 5-18     x-coordinate (km)       __14722.638510
col 19-32    y-coordinate (km)       __6464.319150
col 33-46    z-coordinate (km)       _-21020.844810
col 47-60    clock (microsec)        _____-8.059218

SP3 LINE 25 (velocity and clock record)
col 1        symbol                 V
col 2- 4     satellite id            __1
col 5-18     x-dot (decim/sec)       __-1196.628800
col 19-32    y-dot (decim/sec)       __26950.022500
col 33-46    z-dot (decim/sec)       __7502.277100
col 47-60    cl rate (10e-4 msec/sec) _____0.000000
.
.
.

SP3 LINE 22+numeps*(numsats+1)+1 (last line)
col 1- 3     symbols                EOF.

```

ANEXO D

Exemplo de um arquivo Sumário.

STATION NAME: USP SP

PHASE & PSEUDORANGE DATA FILE(S) INFO
BINARY INPUT FILE(S) : 16070701.DAT
ASCII OUTPUT FILE : USPP070A.94O

NAVIGATION MESSAGE FILE(S) INFO
BINARY INPUT FILE(S) : 16070701.EPH
ASCII OUTPUT FILE : USPP070A.94N

OBSERVATION INFO
OBSERVING DATE : 1994/ 3/11
GPS WEEK # : 739

RECEIVER INITIALIZATION & PRELIMINARY POSITION
LAT, ELON, HT(M) : -23.5506595 -46.7313160 761.5590820
X, Y, Z : 4010195.634 -4260178.989 -2533044.658
NORTH, EAST, UP (M) : .000 .000 .069
TEMP(C), PRES(MB), HUM(%): 15.000 980.000 75.000
NAVIGATION SOFTWARE VER : 4.81
SIGNAL SOFTWARE VERSION : 1.15

TRACKING SUMMARY:

SV	START TIME	STOP TIME	#OBS	#REJ
1 94/ 3/11 15: 1: .01 (486060.01)	94/ 3/11 20: 4:30.04 (504270.04)	1215	1	
5 94/ 3/11 11:59:45.00 (475185.00)	94/ 3/11 13:11:15.01 (479475.01)	287	1	
14 94/ 3/11 18:58:15.03 (500295.03)	94/ 3/11 20: 4:30.04 (504270.04)	266	1	
15 94/ 3/11 18:12:45.03 (497565.03)	94/ 3/11 20: 4:30.04 (504270.04)	448	1	
16 94/ 3/11 11:59:45.00 (475185.00)	94/ 3/11 13: 6:45.00 (479205.01)	269	1	
17 94/ 3/11 11:59:45.00 (475185.00)	94/ 3/11 17: 4:45.02 (493485.02)	1221	1	
20 94/ 3/11 11:59:45.00 (475185.00)	94/ 3/11 14:29:15.01 (484155.01)	599	1	
21 94/ 3/11 13:11:15.01 (479475.01)	94/ 3/11 19:35:30.04 (502530.04)	1538	1	
22 94/ 3/11 13:16:45.01 (479805.01)	94/ 3/11 17: 5:45.03 (493545.03)	917	1	
23 94/ 3/11 11:59:45.00 (475185.00)	94/ 3/11 17:29:30.03 (494970.03)	1320	1	
25 94/ 3/11 11:59:45.00 (475185.00)	94/ 3/11 20: 4:30.04 (504270.04)	839	3	
26 94/ 3/11 13:56:30.01 (482190.01)	94/ 3/11 14:12: .01 (483120.01)	63	1	
28 94/ 3/11 14:46:45.01 (485205.01)	94/ 3/11 19:46:45.04 (503205.04)	1201	1	
29 94/ 3/11 19:19:45.03 (501585.04)	94/ 3/11 20: 4:30.04 (504270.04)	180	1	
31 94/ 3/11 16:14:30.02 (490470.02)	94/ 3/11 20: 4:30.04 (504270.04)	921	1	

TRACKING START TIME: 94/ 3/11 16:14:30.02 (475185.00)
STOP TIME: 94/ 3/11 20: 4:30.04 (504270.04)
OF EPOCHS : 1940
OF SATELLITES TRACKED : 15

ANEXO E

As coordenadas preliminares para a Estratégia 1, com as seguintes característica:

- ✓ injunções VT-CHUA e CAPA,
- ✓ valores atmosféricos reais,
- ✓ efemérides precisas,
- ✓ tempo total de observação, estão apresentadas na TABELA 97.

TABELA 97 - Coordenadas preliminares para a Estratégia 1

ESTAÇÃO	X(m)	Y(m)	Z(m)
AVAN	3810096.804	-4573379.606	-2284127.532
AVER	3831167.203	-4620392.303	-2151402.361
BELA	4103079.534	-4154778.183	-2557306.246
BOTU	3903909.173	-4401321.075	-2457094.497
BUNA	4098261.350	-4184077.861	-2518883.831
CAPA	4164684.614	-4162401.031	-2445011.073
CHUA	4010548.440	-4470076.610	-2143179.020
FERN	3833416.831	-4598317.902	-2194086.836
FRCA	4045413.897	-4396419.837	-2228473.677
IBIT	3889007.398	-4472649.603	-2349378.810
IEVA	3836011.324	-4394329.043	-2572920.989
ILHA	3732193.398	-4674885.455	-2206380.672
ITAP	3914761.763	-4349288.224	-2530873.372
JABO	3958010.971	-4440248.391	-2295902.832
LIMO	4044554.153	-4339987.201	-2336093.274
MARI	3803904.880	-4521713.938	-2394685.994
PANO	3670533.996	-4672740.215	-2311180.069
PIRA	4002793.694	-4359603.636	-2371053.002
REGI	3903906.728	-4302834.990	-2622964.200
SAGR	3778535.527	-4503385.859	-2467128.200
SJRP	3885859.072	-4527017.954	-2249305.416
TAQU	3628144.712	-4644483.158	-2431011.166
UEPP	3687624.348	-4620817.985	-2386880.661
USPP	4010143.192	-4260160.934	-2533046.258
VALI	4009161.997	-4294202.580	-2477228.599

As coordenadas preliminares para a Estratégia 2, com as seguintes características:

- ✓ injunções VT-CHUA e CAPA,
- ✓ valores atmosféricos reais,
- ✓ efemérides precisas
- ✓ tempo de 2:30h de observação, estão apresentadas na TABELA 98.

TABELA 98 - Coordenadas preliminares para a Estratégia 2

ESTAÇÃO	X (m)	Y(m)	Z(m)
AVAN	3810096.785	-4573379.565	-2284127.506
AVER	3831167.173	-4620392.280	-2151402.330
BELA	4103079.723	-4154778.095	-2557306.285
BOTU	3903909.515	-4401321.614	-2457094.693
BUNA	4098261.277	-4184077.907	-2518883.817
CAPA	4164684.614	-4162401.031	-2445011.073
CHUA	4010548.440	-4470076.610	-2143179.020
FERN	3833416.837	-4598317.878	-2194086.842
FRCA	4045413.870	-4396419.831	-2228473.665
IBIT	3889007.347	-4472649.582	-2349378.787
IEVA	3836011.930	-4394329.982	-2572921.332
ILHA	3732193.780	-4674885.988	-2206380.892
ITAP	3914762.365	-4349289.061	-2530873.698
JABO	3958010.918	-4440248.333	-2295902.813
LIMO	4044554.097	-4339987.154	-2336093.268
MARI	3803904.991	-4521714.032	-2394686.044
PANO	3670534.346	-4672740.660	-2311180.255
PIRA	4002793.654	-4359603.581	-2371052.992
REGI	3903907.406	-4302836.333	-2622964.596
SAGR	3778535.851	-4503386.337	-2467128.372
SJRP	3885859.001	-4527017.904	-2249305.389
TAQU	3628144.970	-4644483.594	-2431011.322
UEPP	3687623.494	-4620816.657	-2386879.791
USPP	4010143.826	-4260162.303	-2533046.613
VALI	4009161.454	-4294202.533	-2477228.791

As coordenadas preliminares para a Estratégia 3, com as seguintes características:

- ✓ injunções VT-CHUA e CAPA,
- ✓ valores atmosféricos reais,
- ✓ efemérides transmitidas,
- ✓ tempo de 2:30h de observação, estão apresentadas na TABELA 99.

TABELA 99 - Coordenadas preliminares para a Estratégia 3

ESTAÇÃO	X (m)	Y (m)	Z (m)
AVAN	3810097.552	-4573380.185	-2284131.64
AVER	3831167.572	-4620392.623	-2151406.258
BELA	4103079.708	-4154777.566	-2557306.158
BOTU	3903909.154	-4401321.326	-2457095.224
BUNA	4098261.784	-4184077.287	-2518883.824
CAPA	4164684.614	-4162401.031	-2445011.073
CHUA	4010548.44	-4470076.61	-2143179.02
FERN	3833417.267	-4598318.272	-2194087.064
FRCA	4045413.61	-4396419.346	-2228473.522
IBIT	3889007.894	-4472650.016	-2349381.58
IEVA	3836011.098	-4394329.418	-2572920.828
ILHA	3732193.677	-4674886.092	-2206380.797
ITAP	3914761.746	-4349288.42	-2530873.26
JABO	3958010.527	-4440247.713	-2295902.61
LIMO	4044553.71	-4339986.916	-2336093.095
MARI	3803905.421	-4521714.192	-2394686.902
PANO	3670534.598	-4672741.283	-2311180.276
PIRA	4002793.327	-4359602.396	-2371052.803
REGI	3903906.564	-4302836.102	-2622964.268
SAGR	3778536.79	-4503386.131	-2467128.081
SJRP	3885858.765	-4527017.451	-2249305.214
TAQU	3628144.542	-4644483.818	-2431011.04
UEPP	3687623.636	-4620816.999	-2386879.69
USPP	4010143.388	-4260161.991	-2533046.418
VALI	4009161.555	-4294202.237	-2477228.686

As coordenadas preliminares para a Estratégia 4, com as seguintes características:

- ✓ injunções VT-CHUA e CAPA,
- ✓ valores atmosféricos do *default* do programa,
- ✓ efemérides precisas,
- ✓ tempo de 2:30h de observação, estão apresentadas na TABELA 100.

TABELA 100 - Coordenadas preliminares para a Estratégia 4

ESTAÇÃO	X(m)	Y(m)	Z(m)
AVAN	3810097.634	-4573380.602	-2284128.026
AVER	3831167.634	-4620392.844	-2151402.610
BELA	4103079.574	-4154778.143	-2557306.227
BOTU	3903909.315	-4401321.798	-2457094.584
BUNA	4098261.465	-4184077.780	-2518883.823
CAPA	4164684.614	-4162401.031	-2445011.073
CHUA	4010548.440	-4470076.610	-2143179.020
FERN	3833417.781	-4598318.966	-2194087.423
FRCA	4045413.655	-4396419.726	-2228473.611
IBIT	3889008.088	-4472650.456	-2349379.232
IEVA	3836011.246	-4394329.669	-2572920.917
ILHA	3732194.283	-4674886.467	-2206381.238
ITAP	3914761.672	-4349288.731	-2530873.279
JABO	3958010.914	-4440248.335	-2295902.813
LIMO	4044553.996	-4339987.097	-2336093.241
MARI	3803905.032	-4521714.670	-2394686.095
PANO	3670533.849	-4672741.069	-2311180.027
PIRA	4002793.682	-4359603.597	-2371052.997
REGI	3903906.657	-4302836.098	-2622964.201
SAGR	3778535.474	-4503386.640	-2467128.168
SJRP	3885858.972	-4527017.846	-2249305.362
TAQU	3628144.601	-4644483.963	-2431011.134
UEPP	3687623.141	-4602817.051	-2386879.610
USPP	4010143.158	-4260162.222	-2533046.324
VALI	4009160.931	-4294202.255	-2477228.449

ANEXO F

TABELA 101 - Valores de ΔX , ΔY e ΔZ

	VETOR DE	VETOR PARA	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)
1	AVAN	FERN	23320.011	-24938.258	90040.730
2	AVAN	IBIT	78910.574	100730.035	-65251.279
3	AVAN	IBIT	78910.635	100730.029	-65251.302
4	AVAN	ILHA	-77903.370	-101505.885	77746.846
5	BELA	BUNA	-4818.173	-29299.707	38422.407
6	BELA	USPP	-92936.153	-105384.127	24259.816
7	BELA	USPP	-92936.108	-105384.156	24259.788
8	BOTU	ITAP	10852.576	52033.039	-73778.853
9	BOTU	MARI	-100004.270	-120392.869	62408.495
10	BUNA	BELA	4818.165	29299.672	-38422.425
11	BUNA	BELA	4818.117	29299.644	-38422.412
12	BUNA	USPP	-88118.063	-76084.414	-14162.587
13	BUNA	USPP	-88117.992	-76084.548	-14162.634
14	BUNA	VALI	-89100.240	-110124.596	41655.278
15	BUNA	VALI	-89099.653	-110125.517	41654.817
16	BUNA	VALI	-89100.050	-110124.665	41655.267
17	CAPA	BELA	-61604.945	7622.873	-112295.153
18	CAPA	BUNA	-66423.293	-21676.808	-73872.760
19	CHUA	FRCA	34865.475	73656.793	-85294.656
20	CHUA	JABO	-52537.475	29828.214	-152723.808
21	FERN	AVAN	-23320.030	24938.280	-90040.667
22	FERN	AVER	-2249.675	-22074.392	42684.515
23	FERN	ILHA	-101223.470	-76567.518	-12293.821
24	FRCA	LIMO	-859.750	56432.639	-107619.598
25	IBIT	AVAN	-78910.599	-100729.985	65251.273
26	IBIT	BOTU	14901.615	71328.774	-107715.601
27	IBIT	MARI	-85102.604	-49064.079	-45307.141
28	IEVA	BOTU	67897.888	-6992.154	115826.460
29	IEVA	SAGR	-57475.759	-109056.936	105792.752
30	ITAP	IEVA	-78750.423	-45040.893	-42047.632
31	ITAP	IEVA	-78750.431	-45040.925	-42047.638
32	JABO	FRCA	87402.893	43828.556	67429.166
33	JABO	IBIT	-69003.571	-32401.205	-53475.973
34	JABO	LIMO	86543.194	100261.193	-40190.445
35	JABO	SJRP	-72151.903	-86769.562	46597.416
36	JABO	SJRP	-72151.900	-86769.542	46597.416
37	JABO	SJRP	-72151.880	-86769.576	46597.406
38	LIMO	PIRA	-41760.466	-19616.433	-34959.729
39	MARI	SAGR	-25369.405	18328.099	-72442.183

TABELA 101 - Valores de ΔX , ΔY e ΔZ

40	MARI	UEPP	-116281.633	-99102.345	7806.340
41	PANO	ILHA	61658.852	-2144.616	104799.726
42	PIRA	FRCA	42620.224	-36816.219	142579.307
43	PIRA	JABO	-44782.718	-80644.750	75150.166
44	PIRA	VALI	6367.097	65402.121	-106175.446
45	REGI	IEVA	-67895.421	-91493.592	50043.279
46	REGI	ITAP	10855.041	-46452.685	92090.885
47	SAGR	BOTU	125373.587	102064.813	10033.729
48	SAGR	MARI	25369.330	-18328.072	72442.215
49	SAGR	UEPP	-90912.277	-117430.429	80248.532
50	SJRP	AVAN	-75762.274	-46361.637	-34822.101
51	SJRP	AVER	-54691.866	-93374.365	97903.058
52	SJRP	AVER	-54691.852	-93374.314	97903.053
53	SJRP	IBIT	3148.299	54368.325	-100073.386
54	TAQU	PANO	42389.268	-28257.016	119831.115
55	UEPP	PANO	-17089.236	-51923.971	75699.574
56	UEPP	TAQU	-59478.547	-23666.911	-44131.522
57	UEPP	TAQU	-59478.527	-23666.832	-44131.481
58	USPP	REGI	-106236.444	-42673.909	-89917.938
59	USPP	VALI	-982.050	-34040.182	55817.826
60	USPP	VALI	-983.566	-34040.780	55818.044
61	VALI	ITAP	-94399.316	-55086.326	-53644.822
62	VALI	REGI	-105254.302	-8633.663	-145735.732
63	VALI	REGI	-105254.270	-8633.644	-145735.740
64	VALI	USPP	982.132	34040.241	-55817.817

ANEXO G

As coordenadas ajustadas da rede GPS do Estado de São Paulo, oficiais do IBGE, estão apresentadas na TABELA 102.

TABELA 102 - Coordenadas geodésicas - IBGE (WGS 84)

Estação	Latitude	Longitude	h (m)
AVAN	-21° 07' 19.29745"	-50° 12' 07.97015"	346.443
AVER	-19° 50' 31.82443"	-50° 20' 05.75989"	390.385
BELA	-23° 47' 33.45700"	-45° 21' 31.28945"	55.043
BOTU	-22° 48' 17.26005"	-48° 25' 38.74548"	745.473
BUNA	-23° 24' 41.20002"	-45° 35' 37.08891"	717.575
CAPA	-22° 41' 13.06838"	-44° 59' 03.41112"	620.492
CHUA	-19° 45' 43.34590"	-48° 06' 05.67319"	754.150
FERN	-20° 15' 08.86650"	-50° 11' 00.62710"	427.616
FRCA	-20° 34' 54.87338"	-47° 22' 51.41592"	1004.883
IBIT	-21° 45' 17.71754"	-48° 59' 33.93369"	402.453
IEVA	-23° 56' 39.05342"	-48° 52' 50.87603"	707.007
ILHA	-20° 22' 16.37035"	-51° 23' 52.41503"	323.452
ITAP	-23° 31' 45.61796"	-48° 00' 35.48208"	746.774
JABO	-21° 14' 06.60022"	-48° 17' 10.96202"	606.034
LIMO	-21° 37' 30.59642"	-47° 01' 04.82185"	580.068
MARI	-22° 11' 42.91330"	-49° 55' 39.64049"	637.470
PANO	-21° 23' 03.19693"	-51° 50' 58.67638"	333.248
PIRA	-21° 57' 54.33850"	-47° 26' 35.64730"	600.721
REGI	-24° 26' 31.77123"	-47° 46' 58.61318"	44.282
SAGR	-22° 54' 16.10678"	-50° 00' 06.81968"	386.816
SJRP	-20° 47' 04.77279"	-49° 21' 29.44212"	520.850
TAQU	-22° 33' 04.55534"	-52° 00' 14.42958"	288.643
UEPP	-22° 07' 11.65957"	-51° 24' 30.72136"	430.946
USPP	-23° 33' 03.05751"	-46° 43' 53.65408"	718.203
VALI	-23° 00' 06.16757"	-46° 57' 57.94358"	856.934

As coordenadas ajustadas da rede GPS do Estado de São Paulo, apresentadas por SEGANTINE (1995), estão apresentadas na TABELA 103.

TABELA 103 - Coordenadas geodésicas - SEGANTINE (1995)
(WGS 84)

Estação	Latitude	Longitude	h (m)
AVAN	-21° 07' 19.29840"	-50° 12' 07.97194"	346.583
AVER	-19° 50' 31.82550"	-50° 20' 05.76243"	390.711
BELA	-23° 47' 33.45637"	-45° 21' 31.29329"	55.163
BOTU	-22° 48' 17.26039"	-48° 25' 38.74939"	745.364
BUNA	-23° 24' 41.19942"	-45° 35' 37.09374"	717.670
CAPA	-22° 41' 13.06739"	-44° 59' 03.41144"	620.349
CHUA	-19° 45' 43.34588"	-48° 06' 05.67324"	754.150
FERN	-20° 15' 08.86737"	-50° 11' 00.63004"	427.738
FRCA	-20° 34' 54.87322"	-47° 22' 51.41916"	1004.996
IBIT	-21° 45' 17.71844"	-48° 59' 33.93521"	402.507
IEVA	-23° 56' 39.05327"	-48° 52' 50.88098"	706.982
ILHA	-20° 22' 16.37093"	-51° 23' 52.41910"	323.530
ITAP	-23° 31' 45.61824"	-48° 00' 35.48670"	746.796
JABO	-21° 14' 06.60023"	-48° 17' 10.96519"	606.167
LIMO	-21° 37' 30.59679"	-47° 01' 04.82828"	580.313
MARI	-22° 11' 42.91389"	-49° 55' 39.64264"	637.488
PANO	-21° 23' 03.19748"	-51° 50' 58.67980"	333.275
PIRA	-21° 57' 54.33867"	-47° 26' 35.65129"	600.895
REGI	-24° 26' 31.77184"	-47° 46' 58.61671"	44.332
SAGR	-22° 54' 16.10706"	-50° 00' 06.82340"	386.807
SJRP	-20° 47' 04.77323"	-49° 21' 29.44422"	521.083
TAQU	-22° 33' 04.55621"	-52° 00' 14.43115"	288.746
UEPP	-22° 07' 11.66746"	-51° 24' 30.70102"	431.081
USPP	-23° 33' 03.05748"	-46° 43' 53.65875"	718.314
VALI	-23° 00' 06.16713"	-46° 57' 57.94806"	857.005

As coordenadas ajustadas da rede GPS do Estado de São Paulo, apresentadas por FONSECA Jr. (1996), estão apresentadas na TABELA 104.

TABELA 104 - Coordenadas geodésicas - FONSECA Jr. (1996)
(WGS 84)

Estação	Latitude	Longitude	h (m)
AVAN	-21° 07' 19.29828"	-50° 12' 07.97154"	346.543
AVER	-19° 50' 31.82523"	-50° 20' 05.76071"	390.447
BELA	-23° 47' 33.45641"	-45° 21' 31.29222"	55.179
BOTU	-22° 48' 17.26022"	-48° 25' 38.74809"	745.545
BUNA	-23° 24' 41.19962"	-45° 35' 37.09181"	717.701
CAPA	-22° 41' 13.06726"	-44° 59' 03.41475"	620.505
CHUA	-19° 45' 43.34590"	-48° 06' 05.67319"	754.150
FERN	-20° 15' 08.86727"	-50° 11' 00.63002"	427.643
FRCA	-20° 34' 54.87330"	-47° 22' 51.41805"	1005.164
IBIT	-21° 45' 17.71831"	-48° 59' 33.93509"	402.468
IEVA	-23° 56' 39.05342"	-48° 52' 50.87603"	707.007
ILHA	-20° 22' 16.37119"	-51° 23' 52.41695"	323.554
ITAP	-23° 31' 45.61772"	-48° 00' 35.48632"	746.883
JABO	-21° 14' 06.60033"	-48° 17' 10.96365"	606.055
LIMO	-21° 37' 30.59655"	-47° 01' 04.82610"	580.154
MARI	-22° 11' 42.91374"	-49° 55' 39.64295"	637.549
PANO	-21° 23' 03.19743"	-51° 50' 58.68031"	333.317
PIRA	-21° 57' 54.33869"	-47° 26' 35.64984"	600.781
REGI	-24° 26' 31.77147"	-47° 46' 58.61562"	44.460
SAGR	-22° 54' 16.10720"	-50° 00' 06.82253"	386.834
SJRP	-20° 47' 04.77333"	-49° 21' 29.44347"	520.933
TAQU	-22° 33' 04.55620"	-52° 00' 14.42985"	288.746
UEPP	-22° 07' 11.66722"	-51° 24' 30.70095"	430.064
USPP	-23° 33' 03.05740"	-46° 43' 53.65646"	718.345
VALI	-23° 00' 06.16724"	-46° 57' 57.94527"	857.041

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBER, C.; JOHNSON, J.; ROCKEN, C.; HOVE, T.V.; SOLHEIM, F.; WARE, R. (1995). GPS Sensing of Atmospheric Water Vapor. *Geoscientific Research and the Global Positioning System*, v.17, n.5.30, Agu.

ALTAMIMI, Z. (1999). *Explanations about WGS 84 and ITRF92*. altamini@ensg.ign.fr (27/10/99).

BERNESE GPS SOFTWARE. Transformation of Trimble Navigation data into RINEX - Format v1.1. Astronomical Institute, University of Berne.

BOUCHER, B (199). *Transformation parameters*. boucher@ensg.ign (27/10/99).

CANNON, M.E., LACHAPELLE, G., LU, G. (1992). *Ambiguity Resolution without Static Initialization using a High Performance C/A Code Receiver*. In: Proceedings of 48th Annual Meeting, The Institute of Navigation, Washington, DC. p.161-166.

COLUMBUS BEST-FIT (1996). Windows User's Manual, version 1.1. Beaverton, Oregon 97006, USA.

COMBS, L.; VIERECK, R., eds. (1996). *Aurora*. Space Environment Center. 325 Broadway, Boulder. <http://sec.noaa.gov>.

CORNMAN, J. (1999). *Explanations about WGS 84 and ITRF92*. cornmanJ@nima.mil (13/10/99).

DANA, P. H. (1999). *Researches using the real values*. pdana@mail.utexas.edu (09/03/99).

DEPARTMENT OF DEFENSE AND DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (1996). *Federal Radionavigation Plan*. Washington, D.C.

DEPARTMENT OF THE AIR FORCE – HEADQUARTES AIR FORCE SPACE COMMAND (1995). *Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification - Global Positioning System*. 2 ed. Coast Guard Liaison.

EFEMÉRIDES PRECISAS. Endereços eletrônicos para download: <ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/product/> - IGS Central Bureau Information System; <ftp://www.ngs.noaa.gov/cors/dist/> - NGS.

EFEMÉRIDES. In. NOVO DICIONÁRIO AURÉLIO (1995). Rio de Janeiro, p.234.
EPUSP. ESCOLA POLITÉCNICA DA USP (1998). Descrição dos vértices da rede GPS do Estado de São Paulo. *Relato GPS –Revista Latino Americana de GPS*. n.7, p.04-19, mar/abr.

- EVANS, D. (1999). *Auroral activity* devans@sec.noaa.gov (20/12/99).
- FABRY, F. (1999). *Real values with GPS*. frederic@radar.mcgill.ca (11/03/99).
- FONSECA Jr., E. S. (1996). *Estudo e avaliação Metodológica da Rede GPS do Estado de São Paulo*. 120p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- GEMAEL, C. (1981). *Referenciais cartesianos utilizados e geodésia*. Apostila. Curitiba, PR, Publicação Departamento de Geociências - UFPr.
- GISPERT, Jr., J. S. (1999). *Números de PRN do satélite do GPS*. Joseph.Gispert@peterson.af.mil (30/08/99).
- GREER, S. (1999). *Solar activity of year 1994*. sgreer@sec.noaa.gov (17/12/99).
- GUTMAN, S. I. (1997). Prototype GPS water vapor monitoring network for NOAA.
http://www.unavco.ucar.edu/community/activities/science_snap/gutman-1.html (15 abr/99).
- HECKMAN, G., ed. (1999). *Solar Maximum*. Space Environment Center. 325 Broadway, Boulder. <http://sec.noaa.gov>.
- HILLA, S. (1999). *A more recent version of OMNI on the NGS anonymous ftp server. (OMNI version 4.0x)*. steveh@ngs.noaa.gov (25/03/99).
- HOFMANN-WELLMAN, B. et al. (1997). *Global Positioning System - Theory and Practice*. 4 ed. Springer-Verlag Wien New York.
- HUDNUT, K. W. (1999). *GPS*. hudnut@usgs.gov (05/02/99).
- IBGE (1994). *Especificação e Normas gerais para levantamentos GPS. Parte 1*. Revista Fator GIS, v.2, n.5, p.29-32.
- IBGE (1994). *Especificação e Normas gerais para levantamentos GPS. Parte 2*. Revista Fator GIS, v.2, n.6, p.31-34.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (1997). *Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul - SIRGAS*. Relatório Final. Rio de Janeiro.
- INTERAGENCY GPS OF EXECUTIVE BOARD (1999). *Implementation of a Third Civil GPS Signal - Final Report*, Oct.
- ITRF94. Transformation Parameters from ITRF94 to individual frames.
<ftp://lareg.ensg.ign.fr/pub/itrf/old/itrf94.tp>.
- JOHANSSON, J. M.; EMARDSON, T. R.; JARLEMARK, P. O. J.; GRADINARSKY, L. P.; ELGERED, G. (1998). The Atmospheric Influence on the Results from the Swedish GPS Network. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.23, n.1, p.107-112.

KNIGHT, M.; FINN, A. (1997). The effects of Ionospheric Scintillations on GPS. In: ION GPS 97. - The 10th International Technical Meeting of the satellite Division of The Institute of Navigation. Kansas City, Missouri.

KOVALESKY, J.; MUELER, I.I.; KOLACZEK, B. (1989). Reference frames astronomy and geophysics. Dordrecht, Kluwer Academic.

KRAKIWSKY, E. J. et al. (1986). *Geodesy: The Concepts*. 2.ed. Fredericton, N.B., Canada, Elsevier Science Publishers B. V.

LAROCCA, A P. C. (1996). Estudo da Resolução da Ambigüidade. In: IV SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO., São Carlos, 1996. *Anais*. v.2, p.44.

LARSON, K. M. (1999). *Researches that compare the real values with values of default.*. kristine.larson@Colorado.edu (10/03/99).

LEICK, A. (1995). *GPS Satellite Surveying*. 2.ed. Orono, Maine, John Wiley & Sons, Inc.

LUNT, N.; Kersleu, L.; Bailey, G. J. (1998). The influence of the protonosphere on GPS observations: Simulations using the SUPIM model. *Journal of Geophysical Research*.

MADER, G. et al. (1999). *OMNI4.0 - UPDATE*. <ftp://www.ngs.noaa.gov/pub/omni/update>.

MADER, G.; SCHNEWERK, M.; CHIN, M.; KELECY, T.; HILLA, S.; ADAMS, G. (1998). OMNI 4.0 - UPDATE OF USER'S GUIDE- NEW MERGE. Rockville, Maryland.

MALYS, S. (1999). *Explanations about WGS 84 and ITRF92*. malyss@nima.mil (21/10/99).

MALYS, S.; SLATER, J.A.; SMITH, R.W., KUNZ, L.E.; KENYON, S.C. (1997). Refinements to The World Geodetic System 1984. NIMA. In: ION GPS 97 - The 10th International Technical Meeting of the satellite Division of The Institute of Navigation. Kansas City, Missouri.

MCCARTHY, D.D (1992). *IERS Conventions (1992)*. U.S. Naval Observatory. (Technical Note 13).

MCCARTHY, D.D (1996). *IERS Conventions (1996)*. U.S. Naval Observatory. (Technical Note 21).

MENZORI, M. (1999). Marcos GPS / Correspondência/. Campinas.

NIMA - NATIONAL IMAGERY AND MAPPING AGENCY. (1997).. Department of Defense World Geodetic System 1984. *Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems*. 3.ed. Jul. (Technical Report 8350.2).

PARKINSON, B.W. et al. (1996). *Global Positioning System - Theory and Applications*. Volume II. Washington, DC, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.

PEREIRA, K. D. (2000). *Informação:RBMC*. Katiaduarte@ibge.gov.br (09/02/2000).

PESSOA, P. (1999). Marcos GPS. diretoria@aerocartq.com.br (10/11/99).

PETERSON, A.F.B., ed. (1997). *Space Environmental Impacts on DoD Operations*. Published by Air Weather Service. Colorado. (FYI 37).

REMONDI, B. W. (1994). *The NGS GPS Orbital Formats*. <http://www.ngs.noaa.gov/GPS/Utilities/format.txt> (01/09/1999).

RIGHETTO, A. M. (1998). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. 1 ed. São Carlos, SP, Publicação EESC-USP.

ROCKEN, C.; SOLHEIM, F. S.; WARE, R. H.; EXNER, M.; MARTIN, D. (1997). *Application of IGS Data to GPS Sensing of the Atmosphere for Weather and Climate Research*. http://www.unavco.ucar.edu/science_tech/technology/publications/pots_pap/index.html (3 Mar/99).

SANTOS, J. L. (1998). *Implantação de Redes Geodésicas sub-regionais e locais com o sistema NAVSTAR/GPS: metodologia e aplicações*. São Paulo. 92p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SCHAAL, R. E. (1998). *Medições de deslocamentos em obras civis de grande porte com GPS. Proposta de Metodologia de Análise dos Resultados e Tratamento dos Dados*. São Paulo. 113p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SCHENEWERK, M.; VANDAM, T.M.; SASAGAWA, G.; PHILIPSEN, S.; LARSON, K. (1998). A Detailed Analysis of Tropospheric Effects on Geodetic Observations at TMGO. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.23, n.1, p.103-106.

SCHERNECK, H.G. (1999). *GPS and meteorology*. hgs@oso.chalmers.se (12/03/99).

SEEBER, G. (1993). *Satellite Geodesy: foundations, methods, and applications*. Berlin, Walter de Gruyter.

SEGANTINE, P. C. L. et al. (1996). ITRF: Definição, Realizações e Aplicações. *Cartografia e Cadastro*, n.5, p.31-36, dez.

SEGANTINE, P. C. L. et al. (1997). Considerações A respeito do Processamento de Dados GPS. *Cartografia e Cadastro*, n.6, p.13-17, jun.

SEGANTINE, P. C. L. et al. (1999). Testing JPL's PPP Service. *GPS Solutions*, v.3, n.1, p.73-76, summer 1999.

SEGANTINE, P.C.L. (1995). *Estabelecimento e ajuste de uma rede geodésica no Estado de São Paulo com o sistema de posicionamento NAVSTAR/GPS*. São Paulo. 216p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SEGANTINE, P.C.L. (1998). *GPS - Sistema de Posicionamento Global*. Apostila. São Carlos, SP, Publicação EESC-USP.

SHUM, C.K. (1999). *GPS meteorology*. ckshum@osu.edu (07/01/99).

SNIGS ORBIT UTILITIES. Instructions to translate orbital files from one format to another. <http://www.ngs.noaa.gov/GPS/Utilities/utility.doc> (01/09/1999).

SOFTWARES. Programs to translate orbital files from one format to another.
PROGRAM EF18_SP3.EXE version 1.1.0b
<ftp://www.ngs.noaa.gov/cors/utilities/Dos/> (01/09/1999).

STAR *NET - Least Square Survey Adjustment Programs (1995). User's Manual Addendum. International Editions - version 5. Boulevard Way, Oakland, CA 94610.

THOMSON, D.B. (1976). *Combination of Geodetic Networks*. Universit of New Brunswick. Technical Report No. 30.

TRIMBLE NAVIGATION (1989). Model 4000 SST GPS Surveyor – Operation Manual. Revision A. Sunnyvale, Trimble Navigation Limited. Part Number 14907. 585 Noth Mary Avenue Sunnyvale, CA 94086-3642.

WARE, R.; ALBER, C.; SOLHEIM, F.; RICKEN, C.; JOHNSON, J.; VAN HOVE, T. (1995). GPS Sensing of Atmospheric Water. *Geoscientific Research and the Global Positioning System*, v.17, n. 5.30, Agu.

WARNANT, R. (1997). Influence of the Ionosphere Refraction on the Repeatability of Distance Computed by GPS. In: ION GPS 97. - The 10th International Technical Meeting of the satellite Division of The Institute of Navigation. Kansas City, Missouri.

WELLS, D. et al. (1986). *Guide to GPS Positining*. 2 ed. Fredericton, N.B., Canada. Printed by the University of New Bruswick Graphic Services.

ZUMBERGE, J. F. (1999). Automated GPS Data Analysis Service. *GPS Solutions*, v.2, n.3, p.76-78.

APÊNDICE I

Na TABELA a seguir estão apresentados os satélites excluídos antes do processamento.

TABELA 105 - Satélites Excluídos (com menos de 15% do total de épocas registradas)

DOY	Satélites Excluídos (SV)
069	14 29
070	5 14 16 29
071	5 14 16 29
072	5 14 16 29
073	5 16 29
074	5 16 29
075	5 14 16 29
076	14 16
327	4 7 18
328	12 16 18 24
329	5 12 19
332	17 18 19
334	06 07 14
335	06 07 17