

JOÃO HIPÓLITO XAVIER

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE UMA REDE LOCAL GPS SITUADA NO LITORAL PARANAENSE

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre.

Orientadores:

Prof. Dr. Anselmo Chaves Neto

Prof.^ª Dr.^ª Claudia Pereira Krueger

Prof. M Sc Carlos Roberto Soares

CURITIBA


2000


**“ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE UMA REDE LOCAL GPS SITUADA
NO LITORAL PARANAENSE”**

POR

JOÃO HIPÓLITO XAVEIR

Dissertação nº 147 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:


Prof. Dr.^a Cláudia Pereira Krueger (UFPR)
Orientadora


Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira - Membro (UFPR)


Prof. Dr. Jair Mendes Marques - Membro (UTP.)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho,

a Deus,
aos meus pais,
Elói Xavier e Maria Dalva Xavier
e à minha futura esposa,
Simone A. Enes Dias.

AGRADECIMENTOS

Reservo os meus sinceros agradecimentos,

- aos meus orientadores: Prof^a. Dr^a. Claudia Pereira Krueger, Prof. Dr. Anselmo Chaves Neto e Prof. MSc. Carlos Roberto Soares, sem os quais esse trabalho dificilmente seria realizado;
- ao Mestre em Ciências Geodésicas Carlito Vieira de Moraes pela boa vontade em contribuir para o enriquecimento do trabalho proposto;
- ao meu amigo Angelo Roberto Manfra pela ajuda oferecida na execução dos trabalhos de campo;
- ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas pertencente à Universidade Federal do Paraná pelo apoio oferecido e à todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

TERMO DE APROVAÇÃO.....	ii
DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
SUMÁRIO.....	v
LISTA DE SÍMBOLOS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE GRÁFICOS.....	xiv
LISTA DAS PRINCIPAIS SIGLAS.....	xv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1.0 INTRODUÇÃO.....	01
2.0 PRINCÍPIOS BÁSICOS.....	04
2.1 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS).....	04
2.1.1 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO.....	07
2.1.2 TÉCNICA ESTÁTICA.....	08
2.1.3 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA O PROCESSAMENTO DA MEDIDA DE FASE DA PORTADORA.....	09
2.2 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES.....	14
2.2.1 MÉTODO PARAMÉTRICO (FORMA MATRICIAL).....	15
2.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	17
2.3.1 VALOR PRÓPRIO.....	17
2.3.2 VETOR PRÓPRIO.....	20
2.3.3 PROPRIEDADES DAS COMPONENTES PRINCIPAIS.....	20
2.3.4 COMPONENTES PRINCIPAIS POPULACIONAIS.....	22
2.3.5 COMPONENTES PRINCIPAIS AMOSTRAIS.....	24
2.3.6 PROPRIEDADES DAS COMPONENTES PRINCIPAIS AMOSTRAIS OBTIDAS DE VARIÁVEIS PADRONIZADAS.....	26
2.3.7 ASPECTOS GEOMÉTRICOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	27
2.3.8 APLICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DA ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS EM REDES GEODÉSICAS.....	28
2.4 QUALIDADE DE REDES GEODÉSICAS.....	31
2.5 TESTES ESTATÍSTICOS APLICADOS NA ANÁLISE DE REDES GEODÉSICAS.....	33
2.5.1 TESTE GLOBAL.....	33
2.5.2 TESTE <i>DATA SNOOPING</i>	34
2.5.3 TESTE DE CONFIABILIDADE.....	35
2.6 ESTIMATIVA DOS DESLOCAMENTOS.....	38
2.7 CRITÉRIO DE SENSIBILIDADE.....	39
3.0 LEVANTAMENTO DE CAMPO.....	44
3.1 PLANEJAMENTO.....	44

3.2	METODOLOGIA DE CAMPO.....	45
3.2.1	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	45
3.2.2	TÉCNICA DE LEVANTAMENTO.....	46
4.0	PROCESSAMENTO E AJUSTAMENTO DOS DADOS.....	49
4.1	PROGRAMAS UTILIZADOS.....	49
4.1.1	BERNESE 4.0.....	49
4.1.1.1	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS.....	50
4.1.1.2	ESTRUTURA DO PROGRAMA.....	50
4.1.1.3	PROCESSAMENTO DOS DADOS (BERNESE).....	52
4.1.2	GEONAP-K.....	54
4.1.2.1	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS.....	54
4.1.2.2	PROCESSAMENTO DOS DADOS (GEONAP-K).....	55
4.2	PROCESSAMENTO E AJUSTAMENTO DOS DADOS.....	56
4.2.1	PROCESSAMENTO E AJUSTAMENTO DOS DADOS DAS ESTAÇÕES BASE.....	57
4.2.2	PROCESSAMENTO E AJUSTAMENTO DOS DADOS DAS ESTAÇÕES RELATIVAS.....	59
4.2.2.1	PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	59
4.2.2.2	AJUSTAMENTO DA REDE LOCAL.....	65
5.0	ANÁLISE DOS AJUSTAMENTOS.....	73
5.1	ANÁLISE DO AJUSTAMENTO DA REDE BASE.....	73
5.2	ANÁLISE DO AJUSTAMENTO DA REDE LOCAL.....	74
5.2.1	PLANTA DAS ELIPSES DE ERROS DA REDE PLANIMÉTRICA (1999).....	78
5.2.2	PLANTA DAS ELIPSES DE ERROS DA REDE PLANIMÉTRICA (2000).....	79
5.2.3	PLANTA DOS VETORES DE ERROS DA REDE ALTIMÉTRICA (1999).....	80
5.2.4	PLANTA DOS VETORES DE ERROS DA REDE ALTIMÉTRICA (2000).....	81
6.0	ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS ERROS E DOS DESLOCAMENTOS ESTIMADOS DA REDE LOCAL GPS.....	82
6.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ERROS.....	82
6.1.1	TESTE GLOBAL.....	82
6.1.2	TESTE <i>DATA SNOOPING</i>	85
6.1.3	TESTE DE CONFIABILIDADE INTERNA.....	86
6.2	ANÁLISES DOS DESLOCAMENTOS ESTIMADOS.....	92
6.2.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DESLOCAMENTOS.....	92
6.2.1.1	PLANTA DAS ELIPSES DE SENSIBILIDADE E DE ERROS DOS DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS ESTIMADOS DA REDE LOCAL GPS.....	96
6.2.1.2	PLANTA DOS VETORES DE SENSIBILIDADE E DOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS ESTIMADOS DA REDE LOCAL GPS.....	97
6.2.1.3	PLANTA DOS VETORES DE SENSIBILIDADE E DE ERROS DOS DESLOCAMENTOS ESTIMADOS.....	98
6.2.2	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DA REGIÃO EM ESTUDO.....	99
6.2.3	ANÁLISE FINAL DOS DESLOCAMENTOS ESTIMADOS.....	100
7.0	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	101
7.1	CONCLUSÕES.....	101

7.2	RECOMENDAÇÕES.....	102
	ANEXO.....	103
8.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

LISTA DE SÍMBOLOS

- 1 N_i^j _ ambigüidade
- 2 ψ _ ângulo de inclinação da elipse em relação plano cartesiano (X, Y)
- 3 R _ característica de uma matriz
- 4 $P(Y)$ _ código P criptografado, codificado pelo GPS
- 5 $\rho(Y_j, X_k)$ _ coeficiente de correlação entre a componente principal Y_j e a variável X_k
- 6 Y _ componente principal
- 7 $L_0, L_4, L_5, L_{12}, L_{34}, L_{54}, L_{97}$ _ combinações lineares entre as ondas portadoras
- 8 \hat{Y} _ componente principal normalizada
- 9 λ _ comprimento de onda
- 10 X_f, Y_f, Z_f _ coordenadas das estações base
- 11 $X_{r_i}, Y_{r_i}, Z_{r_i}$ _ coordenadas das estações relativas
- 12 $X_{r_i}^a, Y_{r_i}^a, Z_{r_i}^a$ _ coordenadas ajustadas das estações relativas
- 13 σ_{1n} ou σ_{n1} _ covariância
- 14 d_i _ deslocamento estimado
- 15 d_0 _ deslocamento mínimo detectável
- 16 σ _ desvio padrão
- 17 $\bar{\sigma}_0$ _ desvio padrão a posteriori único entre as campanhas
- 18 σ_i^b _ desvio padrão da observação medida
- 19 m_{di} _ dimensão do vetor correspondente ao deslocamento analisado
- 20 ρ_i^j _ distância geométrica entre o satélite e o receptor
- 21 F _ distribuição F de Snedecor
- 22 N _ distribuição normal
- 23 χ^2 _ distribuição qui-quadrado
- 24 N_{AB}^{jk} _ dupla diferença de ambigüidade
- 25 ρ_{AB}^{jk} _ dupla diferença de distância geométrica
- 26 ϕ_{AB}^{jk} _ dupla diferença de fase
- 27 $\varepsilon_{\phi(AB)}^{jk}$ _ dupla diferença dos ruídos
- 28 q_{di} _ elemento da matriz cofatora correspondente ao deslocamento analisado
- 29 $f^j \delta_i$ _ erro do relógio do receptor
- 30 $f^i \delta_i$ _ erro do relógio do satélite
- 31 $\nabla_{l_{0i}}$ _ erro mínimo detectável
- 32 ∇_{l_i} _ erro significativo
- 33 β _ erro tipo 2
- 34 E _ esperança matemática
- 35 F_A _ estatística aplicada à hipótese alternativa
- 36 F_0 _ estatística aplicada à hipótese nula

- 37 χ^2 _ estatística qui-quadrado
- 38 ϕ_i^j _ fase da portadora
- 39 a _ fator de escala
- 40 a_{\min} _ fator de escala mínimo
- 41 ϕ _ forma quadrática fundamental
- 42 f^j e f^k _ freqüências dos satélites j e k
- 43 $\theta_{(\beta_0)}^{-1}$ _ função de probabilidade inversa da distribuição normal reduzida
- 44 f _ função matemática
- 45 w _ grau de liberdade
- 46 w_2 _ graus de liberdade do denominador
- 47 w_1 _ graus de liberdade do numerador
- 48 H_a _ hipótese alternativa
- 49 H_0 _ hipótese nula
- 50 t _ instante de tempo
- 51 Q_d _ matriz cofatora dos deslocamentos estimados
- 52 Q_v _ matriz cofatora dos resíduos
- 53 A _ matriz das derivadas parciais das equações de observação em relação aos parâmetros ajustados (avaliada com parâmetros aproximados)
- 54 Z _ matriz das variáveis padronizadas
- 55 C _ matriz de correlação amostral
- 56 Λ _ matriz diagonal dos valores próprios
- 57 N _ matriz dos coeficientes das incógnitas das equações normais
- 58 P _ matriz dos pesos das observações
- 59 P_d _ matriz dos pesos das observações única entre duas campanhas
- 60 S _ matriz dos vetores próprios
- 61 B _ matriz modelo de deslocamento
- 62 M _ matriz simétrica definida positiva
- 63 $\sum A^m$ _ matriz variância-covariância amostral
- 64 $\sum L^a$ _ matriz variância-covariância das observações ajustadas
- 65 $\sum L^b$ _ matriz variância-covariância das observações medidas
- 66 $\sum x$ _ matriz variância-covariância das variáveis aleatórias
- 67 \sum_d _ matriz variância-covariância dos deslocamentos estimados
- 68 $\sum x^a$ _ matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados
- 69 \sum_v _ matriz variância-covariância dos resíduos
- 70 μ _ média amostral
- 71 $(1-\alpha)$ _ nível de confiança
- 72 α _ nível de significância do erro tipo 1
- 73 α_0 _ nível de significância mínimo do erro tipo 1
- 74 $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$ _ observações (GPS)
- 75 $\Delta_{x_i}, \Delta_{y_i}, \Delta_{z_i}$ _ observações (GPS) das estações relativas

- 76 $\Delta_{X_i}^a, \Delta_{Y_i}^a, \Delta_{Z_i}^a$ _ observações (GPS) ajustadas das estações relativas
- 77 l_i^b _ observação medida
- 78 $L_1, L_2, P, C/A$ _ observáveis emitidas pelo sinal GPS
- 79 λ_0 _ parâmetro de não centralidade obtido pela distribuição F não central de Snedecor padronizada
- 80 δ_0 _ parâmetro de não centralidade obtido pela distribuição normal não central padronizada
- 81 c^2 _ parâmetro obtido em função da distribuição qui-quadrado
- 82 $(1-\beta)$ _ poder do teste
- 83 $\prod_{i=1}^n$ _ produtório
- 84 Pr_1 _ projeção do semi-eixo maior no eixo das variáveis originais
- 85 r_i _ redundância parcial
- 86 ω_i _ resíduo padronizado
- 87 $\varepsilon_{\phi_i}^j$ _ ruídos provenientes do multicaminho, do receptor e das observáveis.
- 88 a_1 _ semi-eixo maior da elipse
- 89 a_2 _ semi-eixo menor da elipse
- 90 ∞ _ símbolo matemático que indica infinito
- 91 $!$ _ símbolo matemático que indica o termo “deve ser”
- 92 N_{AB}^i _ simples diferença de ambigüidade
- 93 ρ_{AB}^j _ simples diferença de distância geométrica
- 94 ϕ_{AB}^j _ simples diferença de fase
- 95 $f^i \delta_{AB}$ _ simples diferença do erro do relógio do receptor
- 96 $\varepsilon_{\phi(AB)}^j$ _ simples diferença dos ruídos
- 97 $\sum_{i=1}^n$ _ somatório
- 98 tr _ traço de uma matriz
- 99 $\rho_{AB}^{jk}(t_{12})$ _ tripla diferença de distância geométrica
- 100 $\phi_{AB}^{jk}(t_{12})$ _ tripla diferença de fase
- 101 $\varepsilon_{\phi(AB)}^{jk}(t_{12})$ _ tripla diferença dos ruídos
- 102 $z_{\frac{\alpha}{2}}$ _ valor crítico que indica um dos limites do intervalo de confiança $(1-\alpha)$
- 103 h _ valor crítico utilizado no teste *Data Snooping*.
- 104 χ^2 _ valor estatístico extraído da tabela da distribuição qui-quadrado
- 105 β_0 _ valor mínimo do erro tipo 2
- 106 λ^* _ valor próprio
- 107 λ_{max}^* _ valor próprio máximo

- 108 λ_{\min}^* _ valor próprio mínimo
- 109 σ^2 _ variância
- 110 $\sigma_0^{\wedge 2}$ _ variância a posteriori
- 111 $\bar{\sigma}_0^2$ _ variância a posteriori única entre as campanhas
- 112 σ_0^2 _ variância a priori
- 113 σ_{di}^2 _ variância do deslocamento estimado
- 114 σ_{vi}^2 _ variância do resíduo
- 115 $\sigma_1^{\wedge 2}$ e $\sigma_2^{\wedge 2}$ _ variâncias a posteriori referentes à primeira e a segunda campanhas
- 116 X _ variável aleatória
- 117 y _ vetor das componentes principais
- 118 x^a _ vetor das coordenadas ajustadas
- 119 d_{obs} _ vetor das diferenças das observações ajustadas entre as duas campanhas analisadas
- 101 I^m _ vetor das diferenças entre os valores aproximados e os valores observados
- 120 \bar{z} _ vetor das médias amostrais
- 121 \bar{x} _ vetor das médias das variáveis aleatórias
- 122 I^a _ vetor das observações ajustadas
- 123 I_1^a e I_2^a _ vetores das observações ajustadas referente à duas campanhas
- 124 I^b _ vetor das observações medidas
- 125 I^0 _ vetor das observações aproximadas
- 126 \bar{i} _ vetor das observações sem erros significativos
- 127 x _ vetor das variáveis aleatórias
- 128 x^c _ vetor de correções aos parâmetros
- 129 ∇x _ vetor de medidas de confiabilidade externa
- 130 ∇I_0 _ vetor de medidas de confiabilidade interna
- 131 d _ vetor dos deslocamentos estimados
- 132 ∇I _ vetor dos erros significativos
- 133 x^0 _ vetor dos parâmetros aproximados
- 134 v _ vetor dos resíduos
- 135 u _ vetor dos termos independentes das equações normais
- 136 g _ vetor forma
- 137 s _ vetor próprio
- 138 \hat{s} _ vetor próprio normalizado (versor)

LISTA DE FIGURAS

1	POSICIONAMENTO ABSOLUTO GPS	04
2	CONSTELAÇÃO GPS	06
3	MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO	08
4	SIMPLES DIFERENÇA DE FASE	09
5	DUPLA DIFERENÇA DE FASE	11
6	TRIPLA DIFERENÇA DE FASE	13
7	ELIPSE DE ERROS DE DADOS BIDIMENSIONAIS CONTENDO AS COMPONENTES PRINCIPAIS	28
8	ELIPSE DE ERROS E COMPONENTES PRINCIPAIS PARA O PONTO C	29
9	ANÁLISE DA PRIMEIRA COMPONENTE PRINCIPAL EM REDE PLANIMÉTRICA	30
10	ANÁLISE DA PRIMEIRA COMPONENTE PRINCIPAL EM REDE ALTIMÉTRICA	31
11	DISTRIBUIÇÃO NORMAL CENTRAL E NÃO-CENTRAL	36
12	DISTRIBUIÇÃO F DE SNEDECOR CENTRAL E NÃO-CENTRAL	41
13	REDE LOCAL GPS	45
14	PAINEL PRINCIPAL DO BERNESE	51
15	REDE BASE	57
16	OBSERVAÇÕES OBTIDAS PELA REDE BASE	58
17	VETORES DE POSIÇÃO	65
18	POSSÍVEIS TRANSLAÇÕES OCORRIDAS NAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA	73

LISTA DE TABELAS

1	COORDENADAS CARTESIANAS E GEODÉSICAS DA ESTAÇÃO PARA.....	46
2	DISTÂNCIAS APROXIMADAS DA ESTAÇÃO PARA E DAS ESTAÇÕES RELATIVAS EM RELAÇÃO ÀS ESTAÇÕES BASE	47
3	COORDENADAS RELATIVAS DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA AJUSTADAS E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO	58
4	OBSERVAÇÕES AJUSTADAS E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO(1999)	68
6	OBSERVAÇÕES AJUSTADAS E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO(2000)	69
8	COORDENADAS RELATIVAS AJUSTADAS E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO (1999)	70
10	COORDENADAS RELATIVAS AJUSTADAS E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO (2000)	70
11	RESÍDUOS ESTIMADOS	71
12	VARIÂNCIA A POSTERIORI DE TODAS AS ESTAÇÕES RELATIVAS ENVOLVIDAS NOS AJUSTAMENTOS DE 1999 E 2000 (SIGMA A PRIORI = 225)	72
13	RESULTADOS DOS TESTES GLOBAIS (1999) E (2000)	83
14	RESULTADOS DO TESTE <i>DATA SNOOPING</i> (1999) E (2000).....	85
15	REDUNDÂNCIAS PARCIAIS	87
16	TESTE DE CONFIABILIDADE INTERNA (1999) em (m)	89
17	TESTE DE CONFIABILIDADE INTERNA (2000) em (m)	90
18	MEDIDAS DE CONFIABILIDADE EXTERNA DAS ESTAÇÕES REPROVADAS NO TESTE DE CONFIABILIDADE INTERNA.....	91
19	DESLOCAMENTOS ESTIMADOS	92
20	ESTATÍSTICA APLICADA NO PROCESSO DE ESTIMATIVA DOS DESLOCAMENTOS	93
21	ESTATÍSTICAS APLICADAS NA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	93
22	DESLOCAMENTOS MÍNIMOS DETECTÁVEIS	95
23	DIFERENÇAS ENTRE AS OBSERVAÇÕES AJUSTADAS REFERENTES ÀS CAMPANHAS DE 1999 E DE 2000	104
25	VARIÂNCIAS A POSTERIORI ESTIMADAS ENTRE 1999 E 2000	104
26	MATRIZES DOS PESOS ESTIMADAS ENTRE AS CAMPANHAS DE 1999 E DE 2000	105
27	MATRIZES COFATORAS DOS DESLOCAMENTOS ESTIMADOS	106
28	MATRIZES VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DOS DESLOCAMENTOS ESTIMADOS.....	107

LISTA DE GRÁFICOS

1	VISIBILIDADE DOS SATÉLITES, INFORMAÇÕES SOBRE O PDOP E AS PERDAS DE SINAL NA ESTAÇÃO PR01	59
2	VISIBILIDADE DOS SATÉLITES, INFORMAÇÕES SOBRE O PDOP E PERDAS DE SINAL NA ESTAÇÃO PR02	60
3	VISIBILIDADE DOS SATÉLITES, INFORMAÇÕES SOBRE O PDOP E PERDAS DE SINAL NA ESTAÇÃO PH04	60
4	VISIBILIDADE DOS SATÉLITES, INFORMAÇÕES SOBRE O PDOP E AS PERDAS DE SINAL NA ESTAÇÃO PH01	61
5	VISIBILIDADE DOS SATÉLITES, INFORMAÇÕES SOBRE O PDOP E PERDAS DE SINAL NA ESTAÇÃO PH10	73
6	DESVIOS PADRÃO DAS COORDENADAS RELATIVAS DE 1999 E 2000	74
7	HISTOGRAMA DOS RESÍDUOS ESTIMADOS EM 1999	82
8	HISTOGRAMA DOS RESÍDUOS ESTIMADOS EM 2000	82

LISTA DAS PRINCIPAIS SIGLAS

- 1 AS _ *Anti-Spoofing*
- 2 CEM _ Centro de Estudos do Mar
- 3 DDF _ **D**upla **D**iferença de **F**ase
- 4 DoD _ *US Department of Defense*
- 5 GEONAP _ *GEOdetic NAVSTAR Positioningssoftware*
- 6 GPS _ **G**lobal **P**ositioning **S**ystem -
- 7 IGS _ *International GPS Geodynamics Service*
- 8 LAGE _ Laboratório de Geodésia Espacial
- 9 PDOP _ *Position Dilution of Precision*
- 10 PPS _ *Precise Positioning Service*
- 11 RBMC _ Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
- 12 RINEX _ *Receiver Independent Exchange format*
- 13 RRNN _ Referências de Nível
- 14 SA _ **S**elective **A**vailability -Disponibilidade Seletiva
- 15 SCA _ Sistemas de Controles Ativos
- 16 SDF _ **S**imples **D**iferença de **F**ase
- 17 SIRGAS _ Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
- 18 SPS _ *Standard Positioning Service*
- 19 TDF _ **T**ripla **D**iferença de **F**ase
- 20 UFPR _ Universidade Federal do Paraná

RESUMO

Neste trabalho é apresentado uma metodologia empregada na análise da estabilidade de uma rede local GPS, bem como os resultados, conclusões e recomendações obtidas. A região em estudo está localizada no litoral paranaense, entre os municípios de Matinhos e Pontal do Paraná. A rede implantada para realizar os testes é composta por 18 estações, sendo: 2 estações base materializadas em locais externos à região passiva de deformações e 16 estações relativas compostas de marcos e RRNN existentes na região em estudo. Foram realizadas duas campanhas GPS intercaladas de aproximadamente 6 meses. As 2 estações base PR01 e PR02 foram posicionadas em função da estação PARA, pertencente a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), e as estações relativas foram posicionadas em relação a essas duas estações bases. Na fase de processamento, as estações de referência foram processadas e ajustadas com o programa BERNESE 4.0 e as estações relativas com o programa o GEONAP-K. Os respectivos ajustamentos das duas campanhas foram analisados estatisticamente, visando a detecção de possíveis erros embutidos nas observações. Posteriormente, através do processo dos mínimos quadrados foram estimados os deslocamentos das estações relativas, e a partir de testes estatísticos adequados, foram verificadas as significâncias destes deslocamentos. Em seguida, foi realizada uma análise conjunta dos resultados obtidos com as características geológicas da região em estudo.

ABSTRACT

This work presents a methodology applied to analysis of the stability of a GPS local network, as well as the results, conclusions and regards. The region of experiment is placed at the coast os State of Paraná, south of Brazil. A network, set in order to carry out the experiments, has 18 relative stations, being: 2 base stations framed in points out side of a region where land deformations could occur and 16 relative stations consisted to geodetic and banchmarks points which exist in that region. Two GPS campaings were carried out, separated by a 6 months term aproximately, each other. The both base stations, PR01 and PR02, were set with connection to PARA station which belongs to the RBMC (Brazilian Network of Continuous Monitoring), and the relative stations were positioned in connection to the both base stations. The BERNESE software 4.0 was used to carry the adjustament and processing of data obtained with the reference stations, whereas software GEONAP-K was used to process the data coming from relative stations. The adjustament for the GPS campaings were statistically analised, to detect likely blunder that could be inherent to observations made. The least squares method was subsequently used to estimate displacements occured in the relative stations, assessing their magnitude by using statistical tests. So the results could be compared with geological features of the region of experiment.

1.0 INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento da crosta terrestre vem sendo realizado a várias décadas, porém, somente nos últimos anos a comunidade científica vem obtendo resultados mais significativos. Um dos aspectos fundamentais para este avanço, foi a criação de sistemas espaciais de posicionamento terrestre mais versáteis e acurados. Um desses sistemas foi o GPS (*Global Positioning System*). Ele possibilita obter precisões superiores às obtidas por técnicas terrestres, tendo como outras vantagens, a fácil operacionalidade e alta rentabilidade. Em muitos casos, estas precisões podem chegar na ordem milimétrica.

As vantagens apresentadas pelo GPS, proporcionaram um aumento de estudos sobre o comportamento da crosta em várias regiões do mundo e conseqüentemente, um melhor entendimento da mesma. Em regiões locais, o estudo do comportamento da superfície terrestre vem sendo realizado através da análise da estabilidade de redes geodésicas locais monitoradas por este sistema (SEEBER, 1993).

Informações sobre o potencial tectônico de uma região, possíveis deslocamentos provocados pelo tipo e estrutura do solo e o comportamento geométrico das estações envolvidas ao longo dos anos podem ser fornecidos através do estudo da estabilidade de uma rede geodésica, juntamente com os dados geológicos locais. Dependendo do grau de estabilidade desta rede, ela pode ser utilizada para apoiar diversos tipos de projetos ligados a engenharia, a geodésia, a geologia e outras ciências.

Mesmo o GPS sendo considerado atualmente uma ferramenta fundamental para este tipo de estudo, ele é passivo de alguns efeitos sistemáticos e locais que podem degradar a precisão das observações e conseqüentemente falsificar os resultados finais da análise da estabilidade. Estes efeitos são gerados pelas influências das camadas atmosféricas (troposfera e ionosfera), pela instabilidade das órbitas dos satélites GPS e pelos atrasos do relógio dos satélites e dos receptores. Outros efeitos menores podem ser causados pelo defeito de fabricação dos equipamentos utilizados (receptor e antena) e por possíveis obstruções próximas da antena que podem interceptar ou

desviar os sinais emitidos pelos satélites. Para tentar minimizar ao máximo estes efeitos, normalmente são utilizados filtros, modelos matemáticos e metodologias de campo adequadas.

A nível internacional, os estudos sobre a análise de estabilidade de redes geodésicas estão bem avançados. Entre os principais autores internacionais, pode-se citar: Y. CHEN (1990), A. CHRZANOWSKI (1986), B. HECK (1986), J. M. SECORD (1985) e Z. ZHANG (1990). No Brasil verifica-se o desenvolvimento de redes geodésicas, contudo até o presente momento existem poucas publicações sobre os estudos anteriormente descritos.

No trabalho proposto, visa-se apresentar a metodologia empregada na análise da estabilidade de uma rede local GPS, localizada no litoral paranaense, bem como os resultados, conclusões e recomendações obtidas.

No capítulo 2, estão apresentados os princípios básicos sobre o Sistema Posicionamento Global (GPS), ajustamento de observações, análise de componentes principais, qualidade de redes geodésicas, testes estatísticos aplicados na análise de redes geodésicas, estimativa dos deslocamentos pelo processo dos mínimos quadrados e análise de sensibilidade.

A descrição do planejamento e dos levantamentos efetuados na região em estudo encontram-se no capítulo 3.

No capítulo 4, estão apresentados o processamento e o ajustamento dos dados referentes a cada campanha e os programas empregados no pós-processamento dos dados.

No capítulo 5, estão apresentadas as análises dos dados ajustados das redes base e local.

No capítulo 6, estão apresentadas as análises dos erros e dos deslocamentos estimados, juntamente com a análise geológica local.

As conclusões obtidas, bem como as recomendações a serem observadas estão apresentadas no capítulo 7.

Os dados empregados nas estimativas dos deslocamentos estão em anexo.

No capítulo 8 estão citadas as referências bibliográficas utilizadas no

embasamento do trabalho proposto.

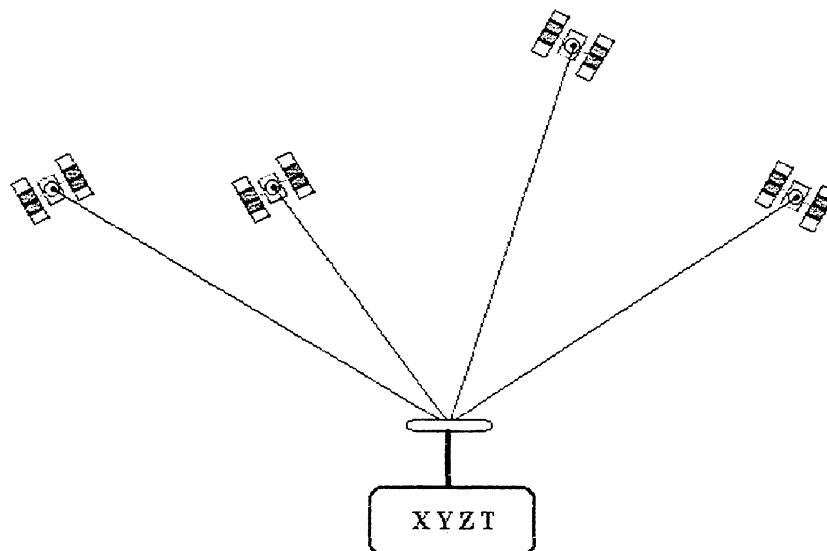
2.0 PRINCÍPIOS BÁSICOS

2.1 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) como um sistema de rádio-navegação. A princípio visava atender apenas aos interesses das forças armadas americanas.

Este sistema possibilita a observação simultânea de pelo menos quatro satélites que podem ser rastreados simultaneamente, proporcionando ao usuário um posicionamento em tempo real. Na figura 2.1-1 está apresentado o posicionamento absoluto GPS.

Figura 2.1-1– POSICIONAMENTO ABSOLUTO GPS



As coordenadas da estação rastreada podem ser obtidas por observáveis derivadas, tais como: pseudodistâncias, diferenças de fase ou pseudodistâncias suavizadas pela portadora. Elas são obtidas a partir dos códigos C/A e P ou através de duas ondas portadoras L_1 e L_2 . A portadora L_1 possui uma frequência de 1.575,42 MHz e um comprimento de onda de 19,05 cm e a portadora L_2 possui uma frequência de

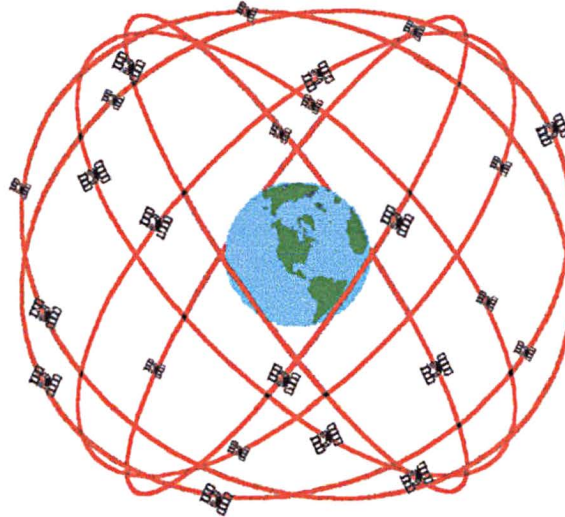
1.227,60 MHz e um comprimento de onda de 24,45 cm. Para maiores detalhes, consultar, SEEBER (1993).

Até o dia 01-05-2000, precisão obtida pelos usuários do sistema GPS era diretamente afetada pela política de segurança americana composta pelas técnicas denominadas: SA (*Selective Availability*) e AS (*Anti-Spoofing*). A técnica SA é a degradação do sinal GPS através da manipulação dos dados das efemérides e da frequência dos relógios dos satélites. O AS consiste na criptografia do código P sobre a fase das portadoras L_1 e L_2 , transformando-o em um código secreto P(Y). Porém, à meia-noite do dia 02-05-2000, a técnica SA foi desativada, proporcionando uma melhora significativa nos posicionamentos absolutos. Atualmente, os receptores GPS com dupla frequência podem operar com precisão melhor que 10 metros e os receptores que contêm somente código C/A estão alcançando precisões de 15 a 25 metros (DIVIS, 2000).

O GPS está dividido em três segmentos: espacial, de controle e de usuários.

O segmento espacial consiste atualmente de 24 satélites compostos de relógios atômicos de Césio ou Rubídio, distribuídos em seis planos orbitais espaçados entre si de 60 graus, com inclinação de 55 graus em relação ao equador, um período orbital de 12 horas siderais e excentricidades na ordem de 10^{-3} . A altitude média dos satélites está na ordem de 20.200 km. Devido ao período orbital de 12 horas, a posição de cada satélite tem um adiantamento de 4 minutos a cada dia, o que proporciona que a qualquer hora do dia no mínimo quatro satélites sejam visíveis em qualquer ponto do planeta. Os satélites que compõem a constelação GPS foram planejados e lançados em diferentes blocos. Atualmente a constelação é composta por satélites dos blocos II, II-A e alguns do II-R. A constelação GPS pode ser observada na figura 2.1-2.

Figura 2.1-2 – CONSTELAÇÃO GPS
(Fonte: DANA, 1998)



O segmento de controle ou terrestre tem como função:

- controlar e monitorar continuamente a constelação GPS;
- determinar e monitorar o tempo GPS;
- transmitir as efemérides dos satélites e calcular as correções dos relógios dos satélites e
- atualizar periodicamente as mensagens de navegação transmitidas pelos satélites.

Ele é composto por cinco estações de controle (Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia, Colorado Springs), sendo que a estação de controle central está localizada em Colorado Springs. Estas estações estão atreladas desde janeiro de 1987 ao sistema geocêntrico WGS-84.

O segmento dos usuários é representado pelos usuários civis ou militares e pelos fabricantes dos receptores.

Os receptores devem ser sempre utilizados em função da precisão e do tipo de levantamento a ser realizado. Normalmente a sua utilização está voltada para a navegação e para levantamentos geodésicos. Atualmente há uma grande quantidade de receptores no mercado civil, para as mais diversas aplicações. Para maiores

detalhes, consultar SEEBER (1993); LEICK (1995) e HOFMANN-WELLNHOF *et al.*, (1994).

2.1.1 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO

O posicionamento com o GPS pode ser realizado pelos métodos absoluto e relativo. No método absoluto, faz-se o posicionamento de uma estação isolada, ou seja, a antena do receptor fica centrada numa estação em que se deseja obter as coordenadas durante um determinado tempo. No método relativo, como o próprio nome diz, as coordenadas das estações são determinadas a partir de uma ou mais estações de referência (base) com coordenadas conhecidas. Os elementos (observações) que compõe a linha de base¹ (Δ_x , Δ_y , Δ_z) são determinados e ao serem acrescentados às coordenadas da própria base, geram as coordenadas das estações observadas (relativas), geralmente no sistema WGS-84. Para maiores detalhes, consultar MONICO (1997, p. 77).

Teoricamente o usuário tem que dispor de no mínimo dois receptores, mas na prática já existe uma forma de se trabalhar com apenas um receptor. Isto é possível devido aos Sistemas de Controles Ativos (SCA), onde o usuário trabalha com apenas um receptor atrelado ao sistema de referência destas estações. Para acessar os dados das estações SCA, o usuário pode utilizar um sistema de comunicação ou, através de disquetes. Para maiores detalhes, consultar MONICO (1997 p. 77).

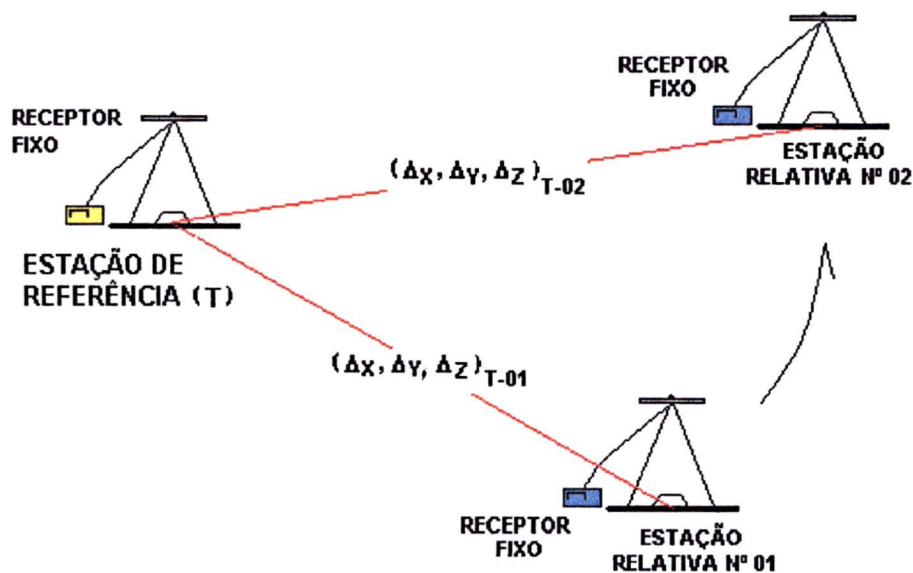
O método de posicionamento relativo pode ser dividido em três técnicas básicas, tais como: a estática, cinemática e diferencial. Para maiores detalhes, consultar KRUEGER (1996). Dentre as técnicas citadas, somente a técnica estática foi utilizada no trabalho proposto, sendo descrita na seqüência.

¹ linha de base: linha que liga duas estações geodésicas.

2.1.2 TÉCNICA ESTÁTICA

Nesta técnica de posicionamento relativo, dois ou mais receptores rastreiam os satélites por um determinado período de tempo, período este, definido em função do comprimento da linha de base. Na técnica estática, somente as posições discretas das estações relativas são levadas em consideração. A figura 2.1.2-1 mostra a situação dos receptores na técnica estática.

Figura 2.1.2-1– MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO



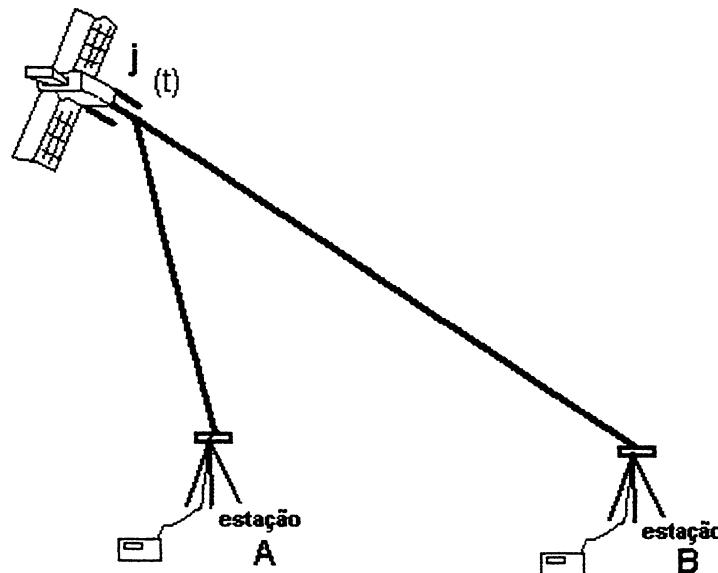
Dentro da tecnologia GPS, a técnica estática fornece as melhores precisões, porém, no campo a mesma possui a desvantagem de apresentar um menor rendimento em relação às outras técnicas de posicionamento relativo. Para maiores detalhes, consultar MONICO (1997, p. 78-80).

2.1.3 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA O PROCESSAMENTO DA MEDIDA DE FASE DA PORTADORA

Visando que os erros presentes nas observáveis sejam eliminados ou minimizados, empregar-se-á as diferentes técnicas para o processamento da medida de fase da portadora: **Simples Diferença de Fase (SDF)**, **Dupla Diferença de Fase (DDF)** e **Tripla Diferença de Fase (TDF)**.

Através de uma simples linha de base a um satélite, é possível definir uma SDF. Tem-se por exemplo, duas estações A e B sintonizadas no satélite (j) no mesmo instante de tempo (t), conforme observa-se na figura 2.1.1-1.

Figura 2.1.3-1– SIMPLES DIFERANÇA DE FASE



A partir da equação da medida de fase da portadora (HOFMANN-WELLNHOF *et al.*, 1994, p.183-186), expressa por:

$$\phi_i^j(t) - f^j \delta_i^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_i^j(t) + N_i^j - f^j \delta_i(t) + \varepsilon_{\phi_i}^j, \quad (2.1.3.1)$$

são obtidas as equações da medida de fase para as estações A e B, expressas por:

$$\phi_A^j(t) - f^j \delta^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_A^j(t) + N_A^j - f^j \delta_A(t) + \varepsilon_{\phi_A}^j(t), \quad (2.1.3.2)$$

$$\phi_B^j(t) - f^j \delta^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_B^j(t) + N_B^j - f^j \delta_B(t) + \varepsilon_{\phi_B}^j(t), \quad (2.1.3.3)$$

onde, ϕ_i^j representa a medida de fase da portadora para a estação i e o satélite j ; $f^j \delta^j$, o erro do relógio do satélite; ρ_i^j , a distância geométrica entre o satélite j e o receptor na estação i ; N_i^j a ambigüidade do satélite j em relação à estação i ; $f^j \delta_i(t)$, o erro do relógio do receptor na estação i ; t , o instante de tempo, λ , o comprimento de onda e $\varepsilon_{\phi_i}^j$, os ruídos provenientes do multicaminho, do receptor e das observáveis.

Através da diferença entre as equações (2.1.3.2) e (2.1.3.3), expressa por:

$$\phi_B^j(t) - \phi_A^j(t) = f^j \delta^j(t) - f^j \delta^j(t) - \frac{1}{\lambda} [\rho_B^j(t) - \rho_A^j(t)] + N_B^j - N_A^j - f^j [\delta_B(t) + \delta_A(t)] + \varepsilon_{\phi(B)}^j(t) - \varepsilon_{\phi(A)}^j(t), \quad (2.1.3.4)$$

verifica-se o cancelamento do efeito do erro do relógio do satélite ($f^j \delta^j(t)$).

Considerando as seguintes relações:

$$\phi_{AB}^j(t) = \phi_B^j(t) - \phi_A^j(t), \quad (2.1.3.5)$$

$$\rho_{AB}^j(t) = \rho_B^j(t) - \rho_A^j(t), \quad (2.1.3.6)$$

$$N_{AB}^j = N_B^j - N_A^j, \quad (2.1.3.7)$$

$$\delta_{AB}^j(t) = \delta_B^j(t) - \delta_A^j(t), \quad (2.1.3.8)$$

$$\varepsilon_{\phi(AB)}^j(t) = \varepsilon_{\phi(B)}^j(t) - \varepsilon_{\phi(A)}^j(t), \quad (2.1.3.9)$$

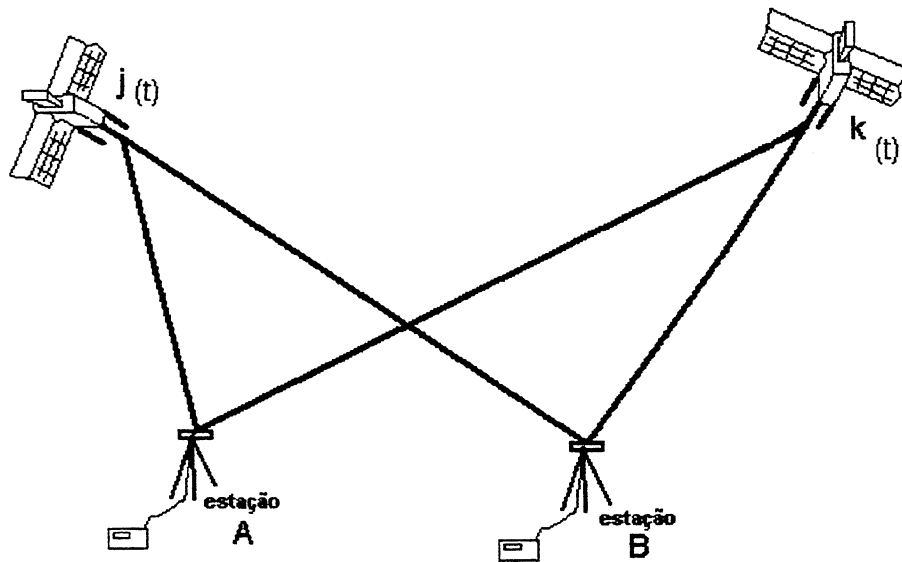
a forma final da equação da SDF é expressa por:

$$\phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - f^j \delta_{AB}^j(t) + \varepsilon_{\phi(AB)}^j(t), \quad (2.1.3.10)$$

onde: ϕ_{AB}^j , ρ_{AB}^j , N_{AB}^j , $\varepsilon_{\phi(AB)}^j$ e $f^j \delta_{AB}^j$ representam as respectivas diferenças de fase, de distância geométrica, de ambigüidade, dos ruídos e de atraso do relógio do satélite j entre as estações A e B. Para maiores detalhes, consultar HOFMANN-WELLNHOF *et al.*, (1994, p.183-186) e SEEBER (1993, p. 250-257).

Empregando-se agora duas estações A e B e dois satélites j e k com mesma frequência, ou seja, $f^j = f^k$, é possível formular a equação da DDF através da diferença das equações da SDF aplicada a cada satélite num mesmo instante (t). A figura 2.1.3-2 ilustra o comportamento dos satélites j e k em relação às estações A e B.

Figura 2.1.3-2 – DUPLA DIFERENÇA DE FASE



Através da subtração das equações das SDF para os respectivos satélites expressas j e k, expressas por:

$$\phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - f^j \delta_{AB}(t) + \varepsilon_{\phi(AB)}^j(t), \quad (2.1.3.11)$$

$$\phi_{AB}^k(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k - f^k \delta_{AB}(t) + \varepsilon_{\phi(AB)}^k(t), \quad (2.1.3.12)$$

obtém-se:

$$\phi_{AB}^k(t) - \phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} [\rho_{AB}^k(t) - \rho_{AB}^j(t)] + N_{AB}^k - N_{AB}^j - f^k \delta_{AB}(t) + f^j \delta_{AB}(t) + \varepsilon_{\phi(AB)}^k(t) - \varepsilon_{\phi(AB)}^j(t). \quad (2.1.3.13)$$

Verifica-se na equação (2.1.3.13) o cancelamento do efeito do erro do relógio do receptor representado por $(\delta_{AB}(t))$. Este cancelamento é possível desde que haja simultaneidade de observações. Considerando as seguintes relações:

$$\phi_{AB}^{jk}(t) = \phi_{AB}^k(t) - \phi_{AB}^j(t), \quad (2.1.3.14)$$

$$\rho_{AB}^{jk}(t) = \rho_{AB}^k(t) - \rho_{AB}^j(t), \quad (2.1.3.15)$$

$$N_{AB}^{jk} = N_{AB}^k - N_{AB}^j, \quad (2.1.3.16)$$

$$\varepsilon_{\phi(AB)}^{jk}(t) = \varepsilon_{\phi(AB)}^k(t) - \varepsilon_{\phi(AB)}^j(t), \quad (2.1.3.17)$$

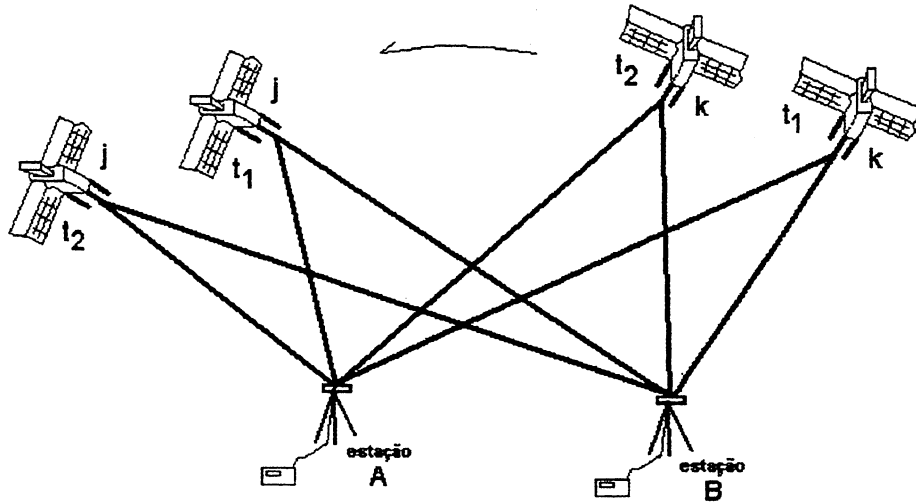
obtém-se a forma final da equação da DDF, expressa por:

$$\phi_{AB}^{jk}(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t) + N_{AB}^{jk} + \varepsilon_{\phi(AB)}^{jk}(t), \quad (2.1.3.18)$$

onde: ϕ_{AB}^{jk} , ρ_{AB}^{jk} , $\varepsilon_{\phi(AB)}^{jk}$ e N_{AB}^{jk} representam as respectivas duplas diferenças de fase, de distância geométrica, dos ruídos e de ambigüidade entre os satélites j e k aplicadas às estações A e B. Para maiores detalhes, consultar HOFMANN-WELLNHOF *et al.*, (1994, p.183-186) e SEEBER (1993, p. 250-257).

Visando a eliminação do termo das ambigüidades (N) e a busca de perdas de sinais, recorre-se agora a TDF. Esta técnica consiste na determinação de duplas diferenças de fases das portadoras geradas por duas estações A e B, também sintonizadas à dois satélites j e k, porém, agora em dois instantes distintos t_1 e t_2 . Na figura 2.1.3-3 observa-se as duas estações A e B, e os dois satélites j e k em instantes distintos (t_1 e t_2).

Figura 2.1.3-3 – TRIPLA DIFERENÇA DE FASE



Através da equação (2.1.3.16) aplicada à dois instantes distintos, tem-se:

$$\phi_{AB}^{jk}(t_1) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t_1) + N_{AB}^{jk} + \varepsilon_{\phi(AB)}^{jk}(t_1), \quad (2.1.3.19)$$

$$\phi_{AB}^{jk}(t_2) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t_2) + N_{AB}^{jk} + \varepsilon_{\phi(AB)}^{jk}(t_2), \quad (2.1.3.20)$$

A partir da subtração das equações (2.1.3.20) e (2.1.3.21), expressa por :

$$\phi_{AB}^{jk}(t_2) - \phi_{AB}^{jk}(t_1) = \frac{1}{\lambda} [\rho_{AB}^{jk}(t_2) - \rho_{AB}^{jk}(t_1)] + N_{AB}^{jk} - N_{AB}^{jk} + \varepsilon_{\phi(AB)}^{jk}(t_2) - \varepsilon_{\phi(AB)}^{jk}(t_1), \quad (2.1.3.21)$$

observa-se que há o cancelamento das ambiguidades. Considerando as seguintes relações:

$$\phi_{AB}^{jk}(t_{12}) = [\phi_B^k(t_2) - \phi_B^j(t_2)] - [\phi_A^k(t_2) - \phi_A^j(t_2)] - [\phi_B^k(t_1) - \phi_B^j(t_1)] - [\phi_A^k(t_1) - \phi_A^j(t_1)], \quad (2.1.3.22)$$

$$\rho_{AB}^{jk}(t_{12}) = [\rho_B^k(t_2) - \rho_B^j(t_2)] - [\rho_A^k(t_2) - \rho_A^j(t_2)] - [\rho_B^k(t_1) - \rho_B^j(t_1)] - [\rho_A^k(t_1) - \rho_A^j(t_1)], \quad (2.1.3.23)$$

$$\varepsilon_{\phi(AB)}^{jk}(t_{12}) = [\varepsilon_{\phi(B)}^k(t_2) - \varepsilon_{\phi(B)}^j(t_2)] - [\varepsilon_{\phi(A)}^k(t_2) - \varepsilon_{\phi(A)}^j(t_2)] - [\varepsilon_{\phi(B)}^k(t_1) - \varepsilon_{\phi(B)}^j(t_1)] - [\varepsilon_{\phi(A)}^k(t_1) - \varepsilon_{\phi(A)}^j(t_1)], \quad (2.1.3.24)$$

onde: $\phi_{AB}^{jk}(t_{12})$, $\rho_{AB}^{jk}(t_{12})$ e $\varepsilon_{\phi(AB)}^{jk}(t_{12})$ são as respectivas triplas diferenças de fase, de distância geométrica e dos ruídos entre os satélites j e k aplicadas às estações A e B nos instantes de tempo t_1 e t_2 . A forma final da equação da TDF é expressa por:

$$\phi_{AB}^{jk}(t_{12}) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t_{12}) + \varepsilon_{\phi(AB)}^{jk}(t_{12}). \quad (2.1.3.25)$$

Partindo da utilização destas técnicas de modelagem, é necessário observar que nem todos os erros oriundos de observações GPS são eliminados. Existem outros tipos de efeitos, tais como, atraso troposférico e ionosférico e desvio do centro de fase da antena. Tais efeitos, devem ser eliminados ou minimizados por modelos matemáticos e metodologias de campo adequadas para que as observações GPS tenham um maior grau de confiabilidade. Para maiores detalhes, consultar HOFMANN-WELLNHOF *et al.*, (1994, p.183-186) e SEEBER (1993, p. 250-257).

2.2 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES

O ajustamento é uma ferramenta matemática, que através de uma pluralidade de observações de mesma natureza, visa estimar, mediante a aplicação de modelos matemáticos adequados e do processo dos Mínimos Quadrados, um valor único para cada uma das incógnitas envolvidas no problema, as suas respectivas precisões, e se possível, as correlações entre elas.

Os três métodos básicos de ajustamento são os seguintes:

- **Método Paramétrico:** as observações ajustadas são obtidas em função de parâmetros ajustados, ou seja, $I^a = f(x^a)$, onde I^a e x^a representam respectivamente os vetores de observações e parâmetros ajustados;
- **Método dos Correlatos:** as observações ajustadas devem satisfazer o modelo matemático, ou seja, $f(I^a) = 0$, não envolvendo desta forma parâmetros;
- **Método Combinado:** os parâmetros e as observações ajustadas devem satisfazer o modelo matemático, ou seja, $f(I^a, x^a) = 0$.

No trabalho proposto será discutido somente o método paramétrico, pois, é o método normalmente utilizado no ajustamento de redes GPS. Para maiores detalhes, consultar GEMAEL (1994, p. 115-172).

2.2.1 MÉTODO PARAMÉTRICO (FORMA MATRICIAL)

Como descrito na seção 2.2, as observações ajustadas no método paramétrico são obtidos em função dos parâmetros ajustados.

Para obter os parâmetros ajustados, deve-se ter à disposição o vetor dos parâmetros aproximados (\mathbf{x}^0), caso o modelo matemático não seja linear, e o vetor de correção dos parâmetros (\mathbf{x}^c). Este vetor é obtido em função da forma quadrática fundamental minimizada, através da matriz dos coeficientes das incógnitas das equações normais (\mathbf{N}) e do vetor dos termos independentes das equações normais (\mathbf{u}). A dedução para obter o vetor \mathbf{x}^c em função da forma quadrática segue como (GEMAEEL, 1994, p.115-122):

$$\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} = (\mathbf{A} \mathbf{x}^c + \mathbf{I}^m)^T \mathbf{P} (\mathbf{A} \mathbf{x}^c + \mathbf{I}^m) = \min, \quad (2.2.1.2)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{x}^c} = \mathbf{x}^{cT} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} \mathbf{x}^c + \mathbf{x}^c \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{I}^{mT} + \mathbf{I}^{mT} \mathbf{P} \mathbf{A} \mathbf{x}^c + \mathbf{I}^{mT} \mathbf{P} \mathbf{I}^m = \min,$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{x}^c} = 2 \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} \mathbf{x}^c + 2 \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{I}^{mT} = \min,$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{x}^c} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} \mathbf{x}^c + \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{I}^{mT} = \min,$$

$$\mathbf{x}^c = (-\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{I}^{mT}) = (-\mathbf{N})^{-1} (\mathbf{u}), \quad (2.2.1.3)$$

onde: \mathbf{v} é o vetor dos resíduos, \mathbf{P} é a matriz dos pesos, \mathbf{A} é a matriz das derivadas parciais das equações de observação em relação aos parâmetros ajustados (avaliada com parâmetros aproximados) e \mathbf{I}^m é o vetor das diferenças entre os valores aproximados e os valores observados. A matriz dos pesos das observações (\mathbf{P}) é definida em função da matriz variância-covariância das observações medidas (\sum_{L^b}) e da variância a priori (σ_0^2), conforme observa-se na equação (2.2.1.4):

$$\mathbf{P} = \sigma_0^2 \sum_{L^b}^{-1}. \quad (2.2.1.4)$$

A partir do vetor correção aos parâmetros (\mathbf{x}^c) e dos parâmetros aproximados (\mathbf{x}^0), obtém-se os parâmetros ajustados, expresso por:

$$\mathbf{x}^a = \mathbf{x}^0 + \mathbf{x}^c. \quad (2.2.1.5)$$

Os modelos matemáticos não lineares são linearizados pela fórmula de Taylor, conforme indica-se na seqüência. Dado o vetor das observações ajustadas, representado por:

$$I^a = I^b + v, \quad (2.2.1.6)$$

também expresso por:

$$I^a = f(\mathbf{x}^a) \Rightarrow I^a = f(\mathbf{x}^0 + \mathbf{x}^c) \Rightarrow I^a = f(\mathbf{x}^0) + \left. \frac{\partial f}{\partial \mathbf{x}^a} \right|_{\mathbf{x}^a = \mathbf{x}^0} \mathbf{x}^c, \quad (2.2.1.7)$$

onde: $f(\mathbf{x}^0) = I^0$. Através de I^0 e $\left. \frac{\partial f}{\partial \mathbf{x}^a} \right|_{\mathbf{x}^a = \mathbf{x}^0} = \mathbf{A}$, a fórmula linearizada por Taylor pode ser representada por:

$$I^b + v = I^0 + \mathbf{A}\mathbf{x}^c. \quad (2.2.1.8)$$

O vetor (v) é obtido em consequência do isolamento do mesmo no primeiro membro da equação (2.2.1.8), obtendo-se:

$$v = \mathbf{A}\mathbf{x}^c + I^0 - I^b. \quad (2.2.1.9)$$

Sabendo-se que $I^m = I^0 - I^b$, a fórmula final do modelo paramétrico linearizado é expressa por:

$$v = \mathbf{A}\mathbf{x}^c + I^m. \quad (2.2.1.10)$$

A variância a posteriori, que é o índice que indica a qualidade do ajustamento, é expressa por:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{w}. \quad (2.2.1.11)$$

Para determiná-la, há a necessidade de se conhecer a matriz dos pesos, o vetor dos resíduos e o grau de liberdade (w), que é o número de observações menos o número de incógnitas no sistema de equações.

Após o ajustamento das observações e dos parâmetros, é possível calcular as suas correspondentes matrizes variância-covariância, expressas por :

$$\sum_{\mathbf{x}^a} = \sigma_0^2 \mathbf{N}^{-1} \quad \text{e} \quad \sum_{L^a} = \sigma_0^2 \mathbf{A} \mathbf{N}^{-1} \mathbf{A}^T, \quad (2.2.1.12)$$

onde: $\sum_{\mathbf{x}^a}$ e \sum_{L^a} significam respectivamente as matrizes variância-covariância dos parâmetros e das observações ajustadas.

A partir das matrizes variância-covariância das observações medidas e ajustadas, é possível calcular a matriz variância-covariância dos resíduos, expressa por:

$$\sum v = \sum L^a - \sum L^b = \sigma_0^2 [\mathbf{A}(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T] - \sigma_0^2 (\mathbf{P}^{-1}). \quad (2.2.1.13)$$

As matrizes citadas nas equações (2.2.1.12) e (2.2.1.13) são fundamentais na análise de detecção de possíveis erros que possam estar embutidos nas observações. Para maiores detalhes, consultar GEMAEL (1994, p. 115-122).

2.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A análise de componentes principais visa interpretar e explicar a estrutura da matriz variância-covariância através de combinações lineares não-correlacionadas de n variáveis originais correlacionadas. Para reproduzir a variabilidade total do sistema, teoricamente é necessário utilizar todas as componentes, entretanto, a maior parte desta variabilidade pode ser explicada por um pequeno número de componentes e algumas vezes por somente uma componente. Desta forma, este reduzido número de combinações lineares pode substituir o conjunto de variáveis originais sem grande perda de informação. O conjunto de dados multivariados é representado geometricamente através de um novo sistema de coordenadas (Y_1, Y_2, \dots, Y_n) , obtido pela rotação do sistema original (X_1, X_2, \dots, X_n) , sendo n , o número de elementos de uma matriz, de um vetor, ou mesmo de um conjunto de variáveis. Para maiores detalhes, consultar JOHNSON & WICHERN (1988, p.341).

2.3.1 VALOR PRÓPRIO

Valores próprios (λ^*) são escalares (reais ou complexos) gerados normalmente pela decomposição espectral de matrizes positivas definidas. Por exemplo: matrizes variância-covariância. Estatisticamente, estes escalares representam as variâncias das componentes principais e geometricamente, as dimensões dos semi-eixos do hiperelipsóide de confiança.

Os valores próprios possuem as seguintes propriedades:

- eles podem ser nulos;
- os valores próprios de uma matriz simétrica com elementos reais possuem somente números reais;
- os valores próprios de uma matriz positiva definida² são todos positivos;
- se uma matriz simétrica $n \times n$ é positiva semidefinida³ de característica R , então, ela terá exatamente R valores próprios positivos e $n-R$ valores próprios nulos;
- os valores próprios não-nulos de um produto \mathbf{AB} são iguais aos valores próprios não-nulos do produto \mathbf{BA} , ou seja, $\text{tr}(\mathbf{AB}) = \text{tr}(\mathbf{BA})$;
- os valores próprios de uma matriz diagonal são considerados elementos da diagonal, somente se λ_i^* e λ_j^* forem considerados valores próprios distintos e se seus vetores próprios \mathbf{s}_i e \mathbf{s}_j forem considerados ortogonais entre si;
- se a matriz dos vetores próprios \mathbf{S} é obtida a partir da matriz simétrica \mathbf{M} , então $\mathbf{S}^T \mathbf{M} \mathbf{S} = \Lambda$, onde Λ é a matriz diagonal cujos elementos são valores próprios de \mathbf{M} ;
- se λ_j^* é o valor próprio da matriz \mathbf{M} e \mathbf{s}_j , o vetor próprio correspondente, então $\lambda_j^* = \mathbf{s}_j^T \mathbf{M} \mathbf{s}_j$;
- se a matriz \mathbf{M} é triangular, então os elementos da sua diagonal principal são constituídos de valores próprios;
- a soma dos valores próprios de \mathbf{M} é igual ao seu próprio traço;
- os valores próprios de uma matriz idempotente⁴ são nulos ou unitários;
- o produto dos valores próprios de \mathbf{M} é igual a $\det(\mathbf{M})$;

² matriz positiva definida: Uma matriz (\mathbf{A}) é considerada uma matriz positiva definida quando a sua forma quadrática for maior que zero, ou seja, $\mathbf{A}^T \mathbf{x} \mathbf{A} > 0$, sendo \mathbf{x} um vetor qualquer não nulo (GEMAEL, 1994).

³ matriz positiva semidefinida: Uma matriz (\mathbf{A}) é considerada uma matriz positiva semidefinida quando a sua forma quadrática for maior ou igual a zero, ou seja, $\mathbf{A}^T \mathbf{x} \mathbf{A} \geq 0$ (GEMAEL, 1994).

⁴ matriz idempotente: uma matriz (\mathbf{M}) é dita idempotente somente quando $\mathbf{M} = \mathbf{M}^2$ (GEMAEL, 1994).

- se λ_j^* é o valor próprio obtido da matriz \mathbf{M} , sendo \mathbf{M} inversível, então λ_j^{*-1} é o valor próprio de \mathbf{M}^{-1} e \mathbf{s}_j é o seu vetor próprio correspondente, ou seja, $\mathbf{M} \Rightarrow \lambda_j^*(\mathbf{s}_j)$, $\mathbf{M}^{-1} \Rightarrow \lambda_j^{*-1}(\mathbf{s}_j)$;
- as matrizes \mathbf{M} e \mathbf{M}^T têm valores próprios iguais e
- os valores próprios de uma matriz não variam com relação à transformação ortogonal. Para maiores detalhes, consultar MORRISON (1976, p.64-67) e BARSOTTI (1984, p. 103-105).

Na análise de redes geodésicas, a precisão está ligada diretamente com o valor máximo do valor próprio obtido a partir da matriz variância-covariância das observações ou dos parâmetros. Quanto menor for o valor máximo do valor próprio, maior será a precisão da rede. Porém, para melhorar a precisão de uma rede geodésica, os valores próprios deverão seguir algumas exigências criteriosas citadas por DUPRAZ & NIEMEIER (1981, p. 387-389), tais como:

- $\prod_{j=1}^n \lambda_j^* = \det(\sum \mathbf{x}^a) = \min_{j=1, 2, \dots, n}$ (o volume do elipsóide de confiança deve ser mínimo);
- $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* = \text{tr}(\sum \mathbf{x}^a) = \min_{j=1, 2, \dots, n}$ (o somatório dos quadrados dos semi-eixos deve ser mínimo);
- $\lambda_j^* = \min$ (o quadrado do semi-eixo maior deve ser mínimo);
- $\frac{\lambda_{\max}^*}{\lambda_{\min}^*} = 1$ (condição de isotropia), sendo, λ_{\max}^* e λ_{\min}^* os respectivos valores próprios máximos e mínimos;
- $\lambda_{\max}^* - \lambda_{\min}^* = \min$ (condição de homogeneidade) e

- $Pr_1 = \mathbf{s}_1 \sqrt{\lambda_{\max}^*}$ (Pr_1 representa a projeção do semi-eixo maior no eixo das variáveis originais e \mathbf{s}_1 , o seu vetor próprio correspondente).

2.3.2 VETOR PRÓPRIO

Um vetor $\mathbf{s}_j \neq 0$ gerado por uma matriz positiva definida será um vetor próprio, somente se existir um escalar (real ou complexo) correspondente, que obedeça a seguinte condição:

$$\mathbf{M}\mathbf{s}_j = \lambda^* \mathbf{s}_j. \quad (2.3.2.1)$$

A condição indicada em (2.3.2.1) também pode ser definida na forma de um sistema de equações lineares homogêneas expresso por:

$$(\mathbf{M} - \lambda^* \mathbf{I})\mathbf{s}_j = 0, \quad (2.3.2.2)$$

onde, \mathbf{I} representa a matriz identidade. Este sistema contém n equações algébricas lineares com n componentes do vetor (\mathbf{s}_j) . Para maiores detalhes, consultar BOLDRINI (1978, p.187) e BRONSON (1993, p.79).

Enquanto os valores próprios representam uma medida quantitativa de uma rede geodésica, os vetores próprios representam as orientações destas quantidades. (JAGER, 1988, p. 83). Estes vetores são compostos de cosenos diretores que indicam a orientação dos eixos do hiperelipsóide de confiança.

2.3.3 PROPRIEDADES DAS COMPONENTES PRINCIPAIS

Dado o vetor aleatório n -dimensional $\mathbf{x}^T = [X_1 \ X_2 \ \dots \ X_n]$ e a correspondente matriz variância-covariância $(\sum \mathbf{x})$ tem-se, através da decomposição espectral dessa matriz, os pares de valores e vetores próprios correspondentes, expressos na equação (2.3.3.1):

$$(\lambda_1^*, \mathbf{s}_1), (\lambda_2^*, \mathbf{s}_2), \dots, (\lambda_n^*, \mathbf{s}_n) \Rightarrow \text{sendo } \lambda_1^* \geq \lambda_2^* \geq \dots \geq \lambda_n^* \geq 0. \quad (2.3.3.1)$$

A partir da condição indicada em (2.3.3.1), são elaboradas as propriedades das componentes. As propriedades são as seguintes:

- a j -ésima componente principal é definida algebricamente por:

$$Y_j = \mathbf{s}_j^T \mathbf{x} = s_{1j}X_1 + s_{2j}X_2 + \dots + s_{nj}X_n \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (2.3.3.2)$$

- as n -componentes principais podem ser representadas matricialmente por:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{S}^T \mathbf{x}; \quad (2.3.3.3)$$

- $E\{Y_j\} = \mathbf{s}_j^T \boldsymbol{\mu} = \mathbf{s}_j^T E\{\mathbf{x}\},$ (2.3.3.4)

onde: E representa a esperança matemática e $\boldsymbol{\mu}$, o vetor das médias amostrais;

- $\text{var}(Y_j) = \lambda_j^*$ (2.3.3.5)

sendo var , a variância da componente principal Y_j ;

- $\text{var}(Y_1) \geq \text{var}(Y_2) \geq \dots \geq \text{var}(Y_n) \geq 0;$ (2.3.3.6)

- $\text{cov}(Y_i, Y_j) = 0, \quad i \neq j,$ (2.3.3.7)

sendo cov , a covariância entre as componentes principais;

- o traço da matriz variância-covariância ($\sum \mathbf{x}$) é igual ao traço da matriz diagonal dos valores próprios (Λ);

- $\prod_{j=1}^n \text{var}(Y_j) = \det \sum \mathbf{x} \quad j = 1, 2, \dots, n;$ (2.3.3.8)

- a partir da matriz $\sum \mathbf{x}$, é possível obter os coeficientes de correlação (ρ) entre as componentes Y_j e as variáveis originais X_k , representados na equação (2.3.3.9):

$$\rho(Y_j, X_k) = \frac{s_{jk} \sqrt{\lambda_j^*}}{\sigma_k} \quad j, k = 1, 2, \dots, n, \quad (2.3.3.9)$$

onde: σ representa o desvio padrão da variável X_k ;

- a proporção da variância da j -ésima componente principal em relação a todas as componentes é definida pela equação (2.3.3.10), expressa por:

$$\frac{\lambda_j^*}{\lambda_1^* + \lambda_2^* + \dots + \lambda_n^*} = \frac{\lambda_j^*}{\text{tr}(\sum \mathbf{x})} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{e} \quad (2.3.3.10)$$

- as variáveis originais podem ser definidas em função das componentes principais representadas na equação (2.3.3.11):

$$X_k = s_{k1}Y_1 + s_{k2}Y_2 + \dots + s_{kn}Y_n. \quad (2.3.3.11)$$

Para maiores detalhes, consultar MORRISON (1976, p. 266-299) e JOHNSON & WICHERN (1988, p. 357-374).

2.3.4 COMPONENTES PRINCIPAIS POPULACIONAIS

Dado o vetor aleatório n-dimensional $\mathbf{x}^T = [X_1 \ X_2 \ \dots \ X_n]$ com média (μ) e valores próprios (λ_j^*) correspondentes a matriz variância-covariância ($\sum \mathbf{x}$). Considere as seguintes combinações lineares:

$$\begin{aligned} Y_1 &= s_{11}X_1 + s_{21}X_2 + \dots + s_{n1}X_n = \mathbf{s}_1^T \mathbf{x}, \\ Y_2 &= s_{12}X_1 + s_{22}X_2 + \dots + s_{n2}X_n = \mathbf{s}_2^T \mathbf{x}, \\ &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ Y_n &= s_{1n}X_1 + s_{2n}X_2 + \dots + s_{nn}X_n = \mathbf{s}_n^T \mathbf{x}. \end{aligned} \quad (2.3.4.1)$$

A representação matricial do sistema indicado em (2.3.4.1) é dada por:

$$\mathbf{y} = \mathbf{S}^T \mathbf{x}, \quad (2.3.4.2)$$

onde, os vetores \mathbf{x} , \mathbf{y} e a matriz dos vetores próprios (\mathbf{S}) são representados respectivamente por:

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad \mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{21} & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{nn} \end{bmatrix}. \quad (2.3.4.3)$$

Sendo:

$$\text{cov}(Y_j, Y_j) = \text{var}(Y_j) = \mathbf{s}_j^T \sum \mathbf{x} \mathbf{s}_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{e} \quad (2.3.4.4)$$

$$\text{cov}(Y_j, Y_k) = 0 \quad j \neq k, \quad j, k = 1, 2, \dots, n. \quad (2.3.4.5)$$

Para cada equação contida no sistema (2.3.4.3) existe um fator de escala arbitrário. Desta forma, para cada equação (Y_j) impõe-se a seguinte condição: o somatório dos cossenos diretores elevados ao quadrado do vetor \mathbf{s}_j deve ser igual a 1. Esta condição resultará em componentes principais normalizadas expressas, conforme indicado na equação (2.3.4.6)

$$\hat{Y}_j = \hat{\mathbf{s}}_j^T \mathbf{x} = \hat{s}_{1j} X_1 + \hat{s}_{2j} X_2 + \dots + \hat{s}_{nj} X_n \quad j = 1, 2, 3, \dots, n; \quad (2.3.4.6)$$

onde: \hat{Y}_j significa a j -ésima componente principal normalizada e $\hat{\mathbf{s}}$, o vetor próprio normalizado (versor).

Utilizando a solução normalizada, pode-se definir a primeira componente principal como combinação linear $\hat{\mathbf{s}}_1^T \mathbf{x}$ que maximiza a variância de $\hat{\mathbf{s}}_1^T \mathbf{x}$, sujeita à restrição $\mathbf{s}_1^T \mathbf{s}_1 = 1$, a segunda componente como combinação linear $\hat{\mathbf{s}}_2^T \mathbf{x}$ que maximiza a variância de $\hat{\mathbf{s}}_2^T \mathbf{x}$, sujeita às restrições $\mathbf{s}_2^T \mathbf{s}_2 = 1$ e $\text{cov}(\hat{\mathbf{s}}_1^T \mathbf{x}, \hat{\mathbf{s}}_2^T \mathbf{x}) = 0$ e a j -ésima componente principal como combinação linear $\hat{\mathbf{s}}_j^T \mathbf{x}$ que maximiza a variância de $\hat{\mathbf{s}}_j^T \mathbf{x}$, sujeita às restrições $\mathbf{s}_j^T \mathbf{s}_j = 1$ e $\text{cov}(\hat{\mathbf{s}}_j^T \mathbf{x}, \hat{\mathbf{s}}_i^T \mathbf{x}) = 0$, para todo $i < j$. Para maiores detalhes, consultar JOHNSON & WICHERN (1988, p. 357).

2.3.5 COMPONENTES PRINCIPAIS AMOSTRAIS

Se o vetor aleatório n -dimensional $\mathbf{x}^T = [X_1 \ X_2 \ \dots \ X_n]$ representa uma amostra proveniente de uma população com distribuição normal, então, as componentes principais amostrais ($\hat{Y}_j = \hat{\mathbf{s}}_j^T (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})$) representam a estimativa das componentes principais populacionais ($Y_j = \mathbf{s}_j^T (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})$). Estas componentes possuem distribuição normal, tendo como parâmetros o vetor nulo das médias e a matriz diagonal dos valores próprios (Λ).

As escalas das componentes principais amostrais são invariantes. Isto é devido a padronização das diferentes escalas pertencentes as variáveis originais. Esta padronização é representada pela matriz (\mathbf{Z}), expressa por:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad (2.3.5.1)$$

desmembrada em:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \frac{X_{11} - \bar{X}_1}{\sigma_1} & \frac{X_{12} - \bar{X}_2}{\sigma_2} & \dots & \frac{X_{1n} - \bar{X}_n}{\sigma_n} \\ \frac{X_{21} - \bar{X}_1}{\sigma_1} & \frac{X_{22} - \bar{X}_2}{\sigma_2} & \dots & \frac{X_{2n} - \bar{X}_n}{\sigma_n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{X_{n1} - \bar{X}_1}{\sigma_1} & \frac{X_{n2} - \bar{X}_2}{\sigma_2} & \dots & \frac{X_{nn} - \bar{X}_n}{\sigma_n} \end{bmatrix}, \quad (2.3.5.2)$$

onde: \bar{x} representa a média das variáveis aleatórias.

Através da matriz das variáveis padronizadas (\mathbf{Z}), obtém-se o vetor das médias amostrais $\bar{\mathbf{z}}$ padronizado (2.3.5.3), expresso por:

$$\bar{\mathbf{z}} = \frac{1}{n} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \frac{x_{i1} - \bar{x}_1}{\sigma_1} \\ \sum_{i=1}^n \frac{x_{i2} - \bar{x}_2}{\sigma_2} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n \frac{x_{in} - \bar{x}_n}{\sigma_n} \end{bmatrix} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2.3.5.3)$$

sendo a sua respectiva matriz variância-covariância amostral (\sum_{A^m}), expressa por:

$$\sum_{A^m} = \begin{bmatrix} \frac{(n-1)\sigma_1^2}{\sigma_1^2} & \frac{(n-1)\sigma_{12}}{\sigma_1\sigma_2} & \dots & \frac{(n-1)\sigma_{1n}}{\sigma_1\sigma_n} \\ \frac{(n-1)\sigma_{21}}{\sigma_2\sigma_1} & \frac{(n-1)\sigma_2^2}{\sigma_2^2} & \dots & \frac{(n-1)\sigma_{2n}}{\sigma_2\sigma_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{(n-1)\sigma_{n1}}{\sigma_n\sigma_1} & \frac{(n-1)\sigma_{n2}}{\sigma_n\sigma_2} & \dots & \frac{(n-1)\sigma_n^2}{\sigma_n^2} \end{bmatrix}, \quad (2.3.5.4)$$

onde, σ_n^2 e $(\sigma_1\sigma_n$ ou $\sigma_n\sigma_1)$ representam respectivamente as variâncias e covariâncias contidas na matriz (2.3.5.4). A matriz de correlação amostral (\mathbf{C}) é representada por:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & \hat{\rho}_{12} & \dots & \hat{\rho}_{1n} \\ \hat{\rho}_{21} & 1 & \dots & \hat{\rho}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \hat{\rho}_{n1} & \hat{\rho}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.3.5.5)$$

Para maiores detalhes, consultar JOHNSON & WICHERN (1988, p. 374).

2.3.6 PROPRIEDADES DAS COMPONENTES PRINCIPAIS AMOSTRAIS OBTIDAS DE VARIÁVEIS PADRONIZADAS

Dado um vetor de variáveis padronizadas n-dimensional $\mathbf{z}^T = [Z_1 \ Z_2 \ \dots \ Z_n]$ e uma matriz correlação amostral (\mathbf{C}) ou uma matriz variância-covariância amostral ($\sum_{\mathbf{A}^m}$), com os seus pares de valores e vetores próprios correspondentes, indicados por $(\hat{\lambda}_1^*, \hat{\mathbf{s}}_1), (\hat{\lambda}_2^*, \hat{\mathbf{s}}_2), \dots, (\hat{\lambda}_n^*, \hat{\mathbf{s}}_n)$, sendo $\hat{\lambda}_1^* \geq \hat{\lambda}_2^* \geq \dots \geq \hat{\lambda}_n^* \geq 0$. Verificam-se as seguintes propriedades:

- a j-ésima componente principal estimada é escrita da seguinte forma:

$$\hat{Y}_j = \mathbf{s}_j^T \mathbf{z} \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (2.3.6.1)$$

- $\text{var}(\hat{Y}_j) = \hat{\lambda}_j^* \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (2.3.6.2)$

- $\text{var}(\hat{Y}_1) \geq \text{var}(\hat{Y}_2) \geq \dots \geq \text{var}(\hat{Y}_n) \geq 0; \quad (2.3.6.3)$

- $\text{cov}(\hat{Y}_i, \hat{Y}_j) = 0 \quad i \neq j; \quad (2.3.6.4)$

- o traço da matriz variância-covariância ($\sum_{\mathbf{A}^m}$) é igual ao traço da matriz diagonal dos valores próprios (Λ);

- $\prod_{j=1}^n \text{var}(\hat{Y}_j) = \det(\sum_{\mathbf{A}^m}) \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (2.3.6.5)$

- os coeficientes de correlação entre as componentes \hat{Y}_j e as variáveis padronizadas Z_k são obtidos da seguinte forma:

$$\rho(\hat{Y}_j, Z_k) = \hat{s}_{kj} \sqrt{\hat{\lambda}_j^*} \quad k, j = 1, 2, \dots, n \text{ e} \quad (2.3.6.6)$$

- a proporção da variância da j-ésima componente principal amostral padronizada em relação a todas as componentes é dada por:

$$\frac{\hat{\lambda}_j^*}{\hat{\lambda}_1^* + \hat{\lambda}_2^* + \dots + \hat{\lambda}_j^*} = \frac{\hat{\lambda}_j^*}{\text{tr}(\mathbf{C})}. \quad (2.3.6.7)$$

Para maiores detalhes, consultar JOHNSON & WICHERN (1988, p. 374-377).

2.3.7 ASPECTOS GEOMÉTRICOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Todas as informações que englobam a precisão de uma rede geodésica estão contidas na matriz de variância-covariância, seja ela das observações ou dos parâmetros. Uma representação gráfica para a matriz variância-covariância dos parâmetros pode ser encontrada a partir da forma quadrática, representada por:

$$(\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}}) \sum \bar{\mathbf{x}}^{-1} (\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}})^T = c^2. \quad (2.3.7.1)$$

A equação (2.3.7.1) representa uma família de elipses centradas em $\bar{\mathbf{x}}$, definido como o vetor das médias. O parâmetro c^2 é obtido através do teste Qui-quadrado a um nível de confiança $(1-\alpha)$. Uma matriz quadrada positiva definida pode ser decomposta espectralmente em valores próprios (λ_j^*) e vetores próprios (\mathbf{s}_j), os quais podem ser obtidos através de uma matriz variância-covariância ($\sum \mathbf{x}$) expressa por:

$$\sum \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 & \mathbf{s}_2 & \mathbf{s}_3 & \mathbf{s}_n \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1^* & & & 0 \\ & \lambda_2^* & & \\ & & \lambda_3^* & \\ 0 & & & \lambda_n^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \mathbf{s}_2 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \mathbf{s}_3 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \mathbf{s}_n & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}. \quad (2.3.7.2)$$

Através da decomposição obtida em (2.3.7.2), é possível descrever uma das propriedades das componentes principais, expressa por:

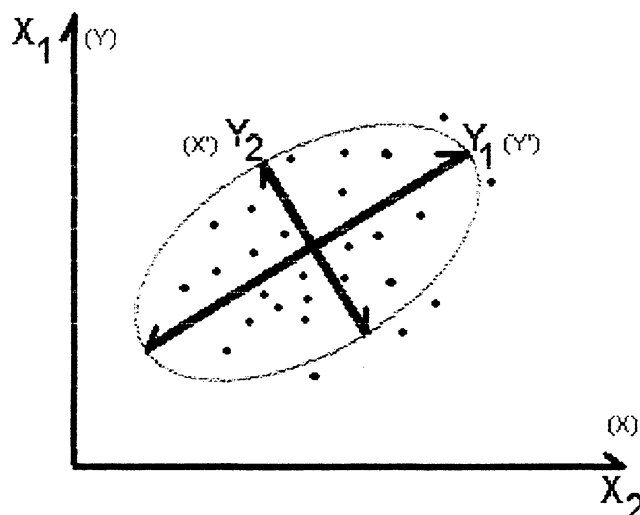
$$Y_j = \mathbf{s}_j \sqrt{\lambda_j^*}, \quad (2.3.7.3)$$

onde: Y_j é a representação de um semi-eixo qualquer do hiperelipsóide de confiança e, $\sqrt{\lambda_j^*}$ e \mathbf{s}_j são respectivamente a dimensão e orientação deste semi-eixo.

Na análise da precisão de redes geodésicas, as elipses de erros geradas pela equação (2.3.7.1) podem ser interpretadas como seções horizontais, através de uma distribuição normal bidimensional do vetor dos parâmetros $\bar{\mathbf{x}}$. As seções horizontais são representadas na figura 2.3.7-1.

Figura 2.3.7-1– ELIPSE DE ERROS DE DADOS BIDIMENSIONAIS CONTENDO AS COMPONENTES PRINCIPAIS

(Fonte: NIEMEIER, 1982)



Para maiores detalhes, consultar NIEMEIER (1982 p. 276-279).

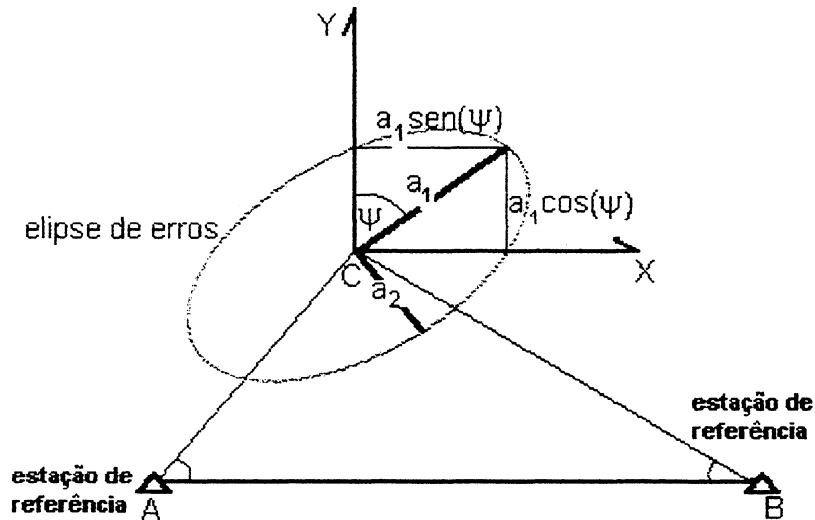
2.3.8 APLICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DA ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS EM REDES GEODÉSICAS

Para analisar as componentes principais em redes geodésicas, serão utilizados dois exemplos bidimensionais descritos a seguir.

No primeiro exemplo, a estação C é determinada pelo método de interseção plana ou também conhecido como método de intersecção a vante, utilizando-se duas estações de referência (A, B). A representação geométrica dos pontos e das componentes principais estão indicados na figura 2.3.8.1.

Figura 2.3.8-1– ELIPSE DE ERROS E COMPONENTES PRINCIPAIS PARA O PONTO C

(Fonte: NIEMEIER, 1982)



O semi-eixo maior da elipse que representa o eixo da primeira componente principal pode ser escrito matricialmente por:

$$\begin{bmatrix} s_{11}\sqrt{\lambda_1^*} = a_1\text{sen}(\psi) \\ s_{12}\sqrt{\lambda_1^*} = a_1\text{cos}(\psi) \end{bmatrix} \quad (2.3.8.1)$$

Os elementos deste vetor representam a projeção do semi-eixo maior a_1 sobre os eixos de coordenadas originais (X, Y). O comprimento do semi-eixo ou o desvio padrão máximo da elipse é expresso por:

$$a_1 = \sqrt{\lambda_1^*} \quad (2.3.8.2)$$

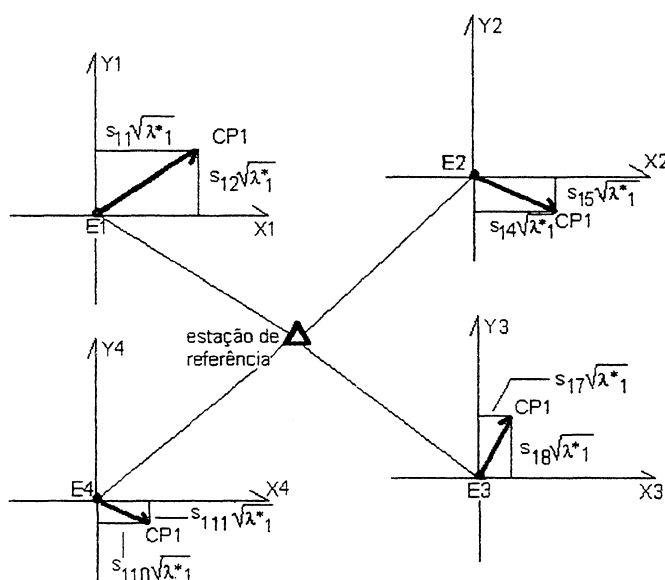
e o conjunto de cossenos diretores por:

$$\mathbf{s}_1 = \begin{bmatrix} s_{11} \\ s_{12} \end{bmatrix} \quad (2.3.8.3)$$

O ângulo (ψ) representa a inclinação da elipse em relação plano cartesiano (X, Y). A mesma metodologia é empregada para a determinação do semi-eixo menor da elipse. Para maiores detalhes, consultar NIEMEIER (1982, p. 281-283).

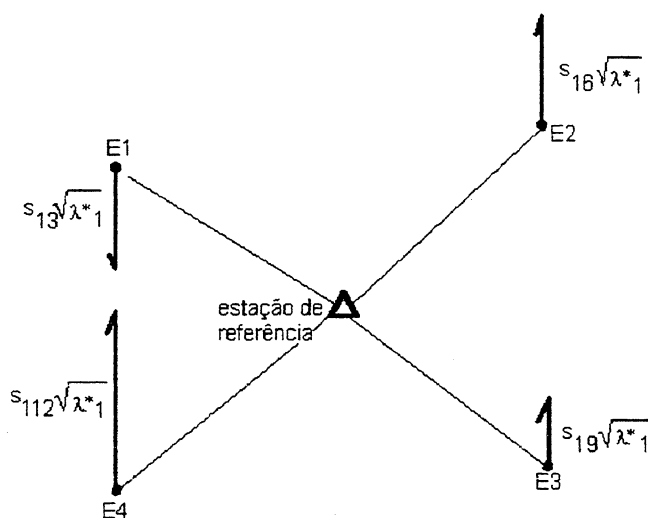
No segundo exemplo é utilizada uma rede GPS com cinco estações, na qual uma é considerada como referência. Após o rastreamento simultâneo da estação de referência e das estações relativas, é feito o processamento das mesmas e o ajustamento final da rede, onde determina-se a matriz variância-covariância das coordenadas ajustadas das estações relativas. Após o ajustamento, faz-se a decomposição espectral desta matriz e determinam-se os valores próprios e os seus correspondentes vetores próprios. Utilizando somente a primeira componente, que armazena o maior índice de variância entre todas as componentes, é calculada a sua direção em cada estação relativa nos planos (X, Y) e (Z) (NIEMEIER & HOLLMANN 1984, p. 64-71). No plano (X, Y), esta distribuição é observada na figura 2.3.8-2.

Figura 2.3.8-2 – ANÁLISE DA PRIMEIRA COMPONENTE PRINCIPAL EM REDE PLANIMÉTRICA



A representação da primeira componente principal no plano (Z) pode ser observada na figura 2.3.8-3.

Figura 2.3.8-3 – ANÁLISE DA PRIMEIRA COMPONENTE PRINCIPAL EM REDE ALTIMÉTRICA



No trabalho proposto, as componentes principais são de fundamental importância nas análises das coordenadas ajustadas, dos deslocamentos estimados e de sensibilidade da rede implantada no litoral paranaense.

2.4 QUALIDADE DE REDES GEODÉSICAS

A análise da qualidade de uma rede geodésica de controle ou de monitoramento possui alguns critérios, que aparecem divididos em quatro categorias enunciados a seguir:

- acurácia;
- confiabilidade;
- sensibilidade e
- custos.

O primeiro critério analisa a acurácia da observação ou do parâmetro através de medidas de tendência central ou medidas de dispersão, sejam eles obtidos diretamente por medidas ao campo, ou indiretamente por funções matemáticas. Em trabalhos geodésicos, esta análise se processa a partir da matriz variância-covariância dos

parâmetros e das observações ajustadas, isto porque, estas matrizes já possuem as informações sobre as precisões das grandezas analisadas. O critério de acurácia está dividido em medidas de acurácia pontual e funções de acurácia. As medidas de acurácia pontual são obtidas diretamente sobre a grandeza analisada, ao contrário das funções de acurácia, que são obtidas indiretamente por funções matemáticas (AUGATH, 1982, p. 56-59).

O critério ou teste de confiabilidade visa determinar um erro mínimo detectável para cada observação analisada a um nível de confiança $(1-\alpha)$ e poder de teste $(1-\beta)$. Este valor mínimo auxilia na detecção de erros não detectáveis em testes tradicionais. Através do critério de confiabilidade, também é possível verificar as influências de um erro significativo nas coordenadas ajustadas.

O critério de sensibilidade tem como princípio básico, quantificar os deslocamentos mínimos detectáveis de cada estação analisada, a um nível de confiança $(1-\alpha)$ e poder de teste $(1-\beta)$. No estudo da estabilidade de uma rede, este critério depende das seguintes grandezas:

- da quantidade de estações de referência e de estações relativas e da geometria da rede;
- da precisão das medições que são obtidas pela matriz variância-covariância das observações;
- da distribuição das estatísticas empregadas nas hipóteses nula e alternativa e a utilização do parâmetro de não-centralidade (λ_0) (ver seção 2.7).

É possível otimizar a análise de sensibilidade da seguinte maneira:

- melhorando a configuração da rede através da inclusão de pontos e aperfeiçoamento da geometria;
- refinando a precisão das medições através do emprego de equipamentos mais confiáveis (calibrados) e precisos e
- empregando teste mais sensíveis através do aumento do nível de confiança $(1-\alpha)$.

As etapas anteriormente descritas são benéficas ao melhoramento da análise de sensibilidade. Contudo, deve-se sempre elaborar uma planilha de custos (critério de custos). O emprego deste critério é importante para que se possa verificar a viabilidade destas modificações. Para maiores detalhes, consultar NIEMEIER.& HOLLMANN (1984, p. 61-62) e HECK (1986, p. 174). No trabalho proposto, serão abordados o critério de confiabilidade e de sensibilidade da rede em estudo.

2.5 TESTES ESTATÍSTICOS APLICADOS NA ANÁLISE DE REDES GEODÉSICAS

2.5.1 TESTE GLOBAL

O teste Global indica somente se o ajustamento teve um bom desempenho. Não é função deste teste, localizar prováveis erros embutidos nas observações. A seqüência para a realização do teste é descrito a seguir:

Pelo ajustamento obtém-se o vetor dos resíduos (\mathbf{v}), a matriz dos pesos (\mathbf{P}) e a variância a posteriori (σ_0^2). Primeiramente é formulada a hipótese nula, que se baseia na igualdade estatística dos índices de variâncias a priori e posteriori, expressa por:

$$H_0 : \sigma_0^2 = \sigma_0^2 . \quad (2.5.1.1)$$

Através da estatística qui-quadrado, aplica-se o teste global, expresso por:

$$\chi^2 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_0^2} w . \quad (2.5.1.2)$$

O valor calculado deve estar dentro do intervalo de confiança, intervalo este, representado pela equação (2.5.1.3):

$$\chi_{w;\frac{\alpha}{2}}^2 < \chi^2 < \chi_{w;1-\frac{\alpha}{2}}^2 , \quad (2.5.1.3)$$

onde: α significa o nível de significância e χ^2 , o valor teórico da distribuição qui-quadrado extraído de tabela. Caso o teste indique um valor fora do intervalo, a hipótese nula é rejeitada. A rejeição da hipótese nula indica a necessidade de uma nova análise do ajustamento. Nesta análise normalmente verificam-se:

- a possibilidade de uma densidade não-normal nos resíduos;
- a possibilidade de erros sistemáticos ou grosseiros nas observações;
- a matriz variância-covariância das observações;
- a linearização das equações e
- erros de cálculo e sistema mal condicionado. Para maiores detalhes, consultar GEMAEL (1994, p. 302), KUANG (1996, p. 129) e LEICK (1995, p.142-143).

2.5.2 TESTE DATA SNOOPING

O teste *Data Snooping* tem como objetivo principal, a localização e se possível, a eliminação de prováveis erros embutidos nas observações. Este teste é baseado na análise de resíduos padronizados (ω_i), que são expressos pela equação (2.5.2.1), representada por:

$$\omega_i = \left| \frac{v_i}{\sqrt{\sigma_{v_i}^2}} \right| \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (2.5.2.1)$$

onde: v_i representa o resíduo analisado e $\sigma_{v_i}^2$, a sua correspondente variância.

Neste teste, os erros significativos são indicados pelos resíduos padronizados que extrapolam o intervalo de confiança $(1-\alpha)$. O intervalo de confiança é obtido em função da distribuição normal reduzida e expresso por.

$$z_{\frac{\alpha_0}{2}}(0,1) \leq \omega_i \leq z_{\frac{1-\alpha_0}{2}}(0,1). \quad (2.5.2.2)$$

Sabendo-se que o valor do resíduo padronizado é obtido em módulo e que a distribuição normal é simétrica, é possível substituir o intervalo de confiança $(1-\alpha)$ por um valor crítico (limite) (h).

Para iniciar a aplicação do teste, faz-se necessário a apresentação da hipótese nula. Tal hipótese se baseia na inexistência de possíveis erros significativos nas observações. A condição que expressa a hipótese nula é dada por:

$$H_0 : \omega_i = 0. \quad (2.5.2.3)$$

Se o valor do resíduo padronizado (ω_i) exceder o valor limite (h), a hipótese nula é descartada, ou seja, é provado estatisticamente a existência de um erro significativo na observação. Para maiores detalhes, consultar KUANG (1996, p. 131-133) e LEICK (1995, p.173-174).

2.5.3 TESTE DE CONFIABILIDADE

A análise de confiabilidade descrita na seção 2.4 baseia-se num teste estatístico que visa estimar o valor mínimo do erro detectável para cada observação ou para um conjunto de observações. Este teste é utilizado normalmente para tentar detectar possíveis de erros não detectados nos testes normalmente utilizados, tais como: teste Global, *Data Snooping*, e outros (KUANG, 1996, p. 134; LEICK, 1995, p. 170-174).

Numa visão mais específica, a análise de confiabilidade pode ser dividida em medidas de confiabilidade interna e externa. A confiabilidade interna estima um valor mínimo do erro detectável a um nível de confiança ($1-\alpha_0$) e poder do teste ($1-\beta_0$).

Considere-se o vetor das observações I^b decomposto em duas componentes, conforme indica a equação (2.5.3.1):

$$I^b = \bar{I} + \nabla I. \quad (2.5.3.1)$$

A primeira componente refere-se ao vetor de observações sem erros grosseiros (\bar{I}) e a segunda, ao vetor com os prováveis erros significativos embutidos nas observações (∇I). O teste de Confiabilidade parte do pressuposto que os prováveis erros embutidos nas observações são conhecidos. Neste caso, a hipótese alternativa é expressa por:

$$H_a : \nabla I \neq 0. \quad (2.5.3.2)$$

Enunciada a hipótese alternativa, calcula-se estatisticamente o valor mínimo do erro detectável (∇I_{α}) na observação (I_i^b). Ele é chamado de medida ou teste de Confiabilidade Interna desta observação. A equação (2.5.3.3) expressa a confiabilidade interna de uma observação, representada por:

$$\nabla l_{oi} = \left| \frac{\delta_{oi}}{\sqrt{r_i}} \sigma l_i^b \right| \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (2.5.3.3)$$

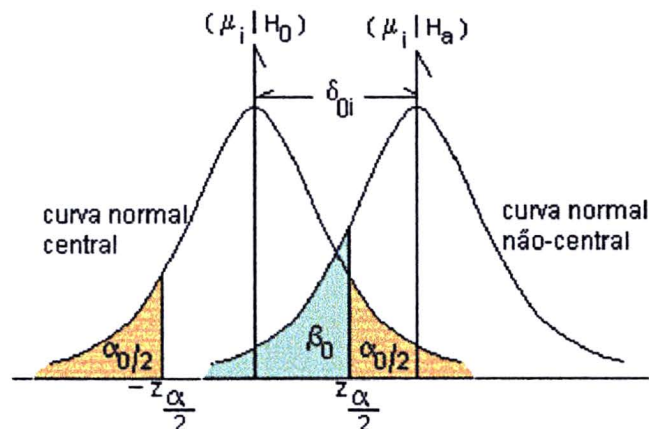
onde: σl_i^b e r_i representam respectivamente o desvio padrão e a redundância parcial da observação l_i^b e δ_{oi} , o parâmetro de não-centralidade obtido na distribuição normal reduzida. A redundância parcial da observação significa uma grandeza adimensional, gerada pelo produto da matriz cofatora dos resíduos (\mathbf{Q}_v) com a matriz dos pesos das observações (\mathbf{P}). A matriz cofatora dos resíduos é expressa por:

$$\mathbf{Q}_v = \frac{1}{\sigma_0^2} \sum v \cdot \quad (2.5.3.4)$$

Para maiores detalhes, consultar LEICK (1995, p.113). Os elementos da diagonal da matriz gerada por este produto, ou seja, as redundâncias parciais, refletem a possibilidade da existência de erros embutidos na observações, erros estes muitas vezes não detectáveis nos testes normalmente utilizados. A soma destas grandezas num ajustamento representam também o número total de graus de liberdade (LEICK, 1995, p. 162). O parâmetro de não-centralidade significa a diferença entre as esperanças matemáticas obtidas na hipótese nula (H_0) e na hipótese alternativa (H_a) (KUANG, 1996, p. 136). A distribuição normal não central e o parâmetro de não-centralidade (δ_{oi}) estão representados na figura 2.5.3-1.

Figura 2.5.3-1 – DISTRIBUIÇÃO NORMAL CENTRAL E NÃO-CENTRAL

(Fonte: KUANG, 1996)



Através da distribuição normal reduzida, o parâmetro de não-centralidade pode ser calculado pela equação (2.5.3.5), expressa por:

$$\delta_0 = z_{\frac{\alpha}{2}} - \theta_{(\beta_0)}^{-1}, \quad (2.5.3.5)$$

onde: $z_{\frac{\alpha}{2}}$ significa o valor crítico ao nível de significância α , valor este, que indica um dos limites do intervalo de confiança $(1-\alpha)$ e $\theta_{(\beta_0)}^{-1}$, a função de probabilidade inversa da distribuição normal reduzida (KUANG, 1996, p. 138). Estimado estatisticamente o valor mínimo do erro detectável na observação (I_i^p), o mesmo é comparado ao possível erro embutido nas observações (∇I_i). Este erro é estimado em função do resíduo da observação e da redundância correspondente. A equação que expressa o erro estimado é dada por:

$$\nabla I_i = \left| \frac{v_i}{r_i} \right| \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.5.3.6)$$

Caso o valor do erro estimado seja igual ou maior que o valor mínimo ∇I_{0i} , é provado estatisticamente que a observação (I_i^p) possui um erro significativo (LEICK, 1995, p. 168).

A confiabilidade externa trata somente da influência do erro mínimo (∇I_{0i}) ou do erro estimado (∇I_i) nas coordenadas. Numa visão mais prática, esta influência significa o provável erro cometido nas coordenadas. A equação que expressa a medida de confiabilidade externa é representada por:

$$\nabla \mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \nabla \mathbf{I}_0, \quad (2.5.3.7)$$

onde: $\nabla \mathbf{x}$ significa o vetor de medidas de confiabilidade externa e $\nabla \mathbf{I}_0$, o vetor de medidas de confiabilidade interna. Para maiores detalhes, consultar KUANG (1996, p. 134-139, 169-171), AUGATH (1982, p59-62), NIEMEYER *et al.*, (1982, p. 11-15) e PELZER (1980, p. 55-67).

2.6 ESTIMATIVA DOS DESLOCAMENTOS

A metodologia utilizada para estimar os deslocamentos baseia-se no processo dos mínimos quadrados (método paramétrico) (ver seção 2.2.1). O modelo matemático, (CHRZANOWSKI, *et. al.*, 1986, p. 15-19), é expresso por:

$$\mathbf{d}_{\text{obs}} + \mathbf{v} = \mathbf{B}\mathbf{d}, \quad (2.6.1)$$

onde: \mathbf{d}_{obs} representa o vetor das diferenças das observações ajustadas entre as campanhas analisadas (observações), \mathbf{B} , a matriz modelo de deslocamento e \mathbf{d} , o vetor dos deslocamentos estimados (parâmetros). O vetor (\mathbf{d}_{obs}) é expresso por:

$$\mathbf{d}_{\text{obs}} = \mathbf{I}_2^a - \mathbf{I}_1^a, \quad (2.6.2)$$

onde: \mathbf{I}_1^a e \mathbf{I}_2^a representam respectivamente as observações ajustadas da primeira e segunda campanhas. A matriz (\mathbf{B}) contém elementos unitários correspondentes às instabilidades das observações ajustadas entre duas épocas. No trabalho proposto, esta matriz foi expressa por:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \text{PR01} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ \text{PR02} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.6.3)$$

Na metodologia empregada para estimar os deslocamentos, a matriz dos pesos das observações única ($\mathbf{P}_{\text{d}_{\text{obs}}}$) é estimada em função das matrizes dos pesos da primeira e segunda campanhas, e expressa por:

$$\mathbf{P}_{\text{d}_{\text{obs}}} = \mathbf{P}_2 - [\mathbf{P}_2(\mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2)^{-1} \mathbf{P}_2] = \mathbf{P}_1(\mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2)^{-1} \mathbf{P}_2 = (\mathbf{P}_1^{-1} + \mathbf{P}_2^{-1})^{-1}. \quad (2.6.4)$$

A variância a posteriori única $\bar{\sigma}_0^2$ é dada por:

$$\bar{\sigma}_0^2 = \frac{(w_1 \sigma_1^2 + w_2 \sigma_2^2)}{(w_1 + w_2)}. \quad (2.6.5)$$

Onde: \mathbf{P}_1 e \mathbf{P}_2 ; w_1 e w_2 ; σ_1^2 e σ_2^2 representam respectivamente as matrizes dos pesos, os graus de liberdade e as variâncias a posteriori referentes à primeira e à segunda campanhas.

Através destes dados, os deslocamentos podem ser estimados utilizando-se a seguinte expressão:

$$\mathbf{d} = (\mathbf{B}^T \mathbf{P}_{d_{obs}} \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}_{d_{obs}} \mathbf{d}_{obs}. \quad (2.6.6)$$

As matrizes variância-covariância (\sum_d) e cofatora (\mathbf{Q}_d), geradas pelo ajustamento dos deslocamentos, são expressas por:

$$\sum_d = \overline{\sigma}_0^2 (\mathbf{B}^T \mathbf{P}_{d_{obs}} \mathbf{B})^{-1} \quad \text{e} \quad \mathbf{Q}_d = (\mathbf{B}^T \mathbf{P}_{d_{obs}} \mathbf{B})^{-1}. \quad (2.6.7)$$

Para verificar se os deslocamentos estimados são significativos, enuncia-se a hipótese nula, expressa por:

$$H_0 : d_i = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.6.8)$$

A partir da hipótese nula, formula-se a estatística correspondente F_0 , baseada na distribuição F central de Snedecor e expressa por:

$$F_0 = \frac{d_i^2}{[(q_{di})(\overline{\sigma}_0^2)] = \sigma_{di}^2} < F[m_{di}, (w_1 + w_2), \alpha], \quad (2.6.9)$$

onde: q_{di} , σ_{di}^2 significam respectivamente o elemento da matriz cofatora (\mathbf{Q}_d) e a variância do deslocamento estimado e m_{di} , a dimensão do vetor correspondente a este deslocamento. Por exemplo, a dimensão do vetor correspondente ao deslocamento da componente X (Δ_x) é igual a 1.

A estatística enunciada pela hipótese nula tem que obedecer a condição (2.6.9). Caso isto não ocorra, a hipótese nula é descartada, ou seja, é provado estatisticamente que os deslocamentos analisados são significativos a um nível de confiança ($1-\alpha$). Para maiores detalhes, consultar CHRZANOWSKI, *et. al.*, (1986, p. 15-19). As significâncias dos deslocamentos estimados também serão verificadas na análise de sensibilidade descrita na seção 2.7.

2.7 CRITÉRIO DE SENSIBILIDADE

O critério de sensibilidade (seção 2.4) é também designado como a análise dos deslocamentos mínimos nas estações observadas. O objetivo desta análise é tentar

provar estatisticamente os deslocamentos mínimos esperados na região de maior dispersão (maior variância) da estação analisada, a um nível de confiança $(1-\alpha_0)$ e poder de teste $(1-\beta_0)$. O princípio desta análise no trabalho proposto, baseia-se na forma descrita na seqüência. Considerando as mesmas estações para as duas épocas de monitoramento GPS e efetuando-se os seus respectivos ajustamentos, obtém-se os vetores das observações ajustadas (vetores de posição) (I_1^a) e (I_2^a) . A partir das observações ajustadas, é estimado o vetor dos deslocamentos (\mathbf{d}) pelo processo dos mínimos quadrados (seção 2.6). As respectivas matrizes variância-covariância $(\sum_{\mathbf{d}})$ e cofatora $(\mathbf{Q}_{\mathbf{d}})$ também são estimadas neste processo. A utilização de observações ou de coordenadas relativas ajustadas GPS em trabalhos de análise de deslocamentos, é devido a imprecisão das coordenadas absolutas obtidas nesta técnica. Na melhor das hipóteses, estas coordenadas chegarão a um erro de ordem centimétrica gerado pela incerteza do datum (origem do sistema de coordenadas), ao contrário das observações que atingem precisões milimétricas.

A partir da matriz cofatora $(\mathbf{Q}_{\mathbf{d}})$ e do vetor (\mathbf{d}) , são formuladas as hipóteses nula e alternativa. Novamente enuncia-se a hipótese nula que parte da inexistência de possíveis deslocamentos, expressa por:

$$H_0: \mathbf{d} = 0, \quad (2.7.1)$$

A estatística utilizada para testar a hipótese nula é baseada na distribuição F central de Snedecor (PELZER, 1971), representada pela equação (2.7.2), expressa por:

$$F_0 = \frac{\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{\mathbf{d}}^{-1} \mathbf{d}}{R(\mathbf{Q}_{\mathbf{d}}) \bar{\sigma}_0^2}, \quad (2.7.2)$$

onde: $R(\mathbf{Q}_{\mathbf{d}})$ significa a característica da matriz cofatora $(\mathbf{Q}_{\mathbf{d}})$. Calculada esta estatística, ela é comparada ao valor teórico correspondente obtido pela tabela F de Snedecor. Através deste procedimento, é decidida a aceitação ou rejeição da hipótese nula.

Partindo do pressuposto que a hipótese nula foi descartada, ou seja, que se conhece os deslocamentos, é elaborada a hipótese alternativa, expressa por:

$$H_a: E\{\mathbf{d}_A\} \neq 0, \quad (2.7.3)$$

onde: \mathbf{d}_A é o provável deslocamento enunciado pela hipótese alternativa. A estatística utilizada para testar a hipótese alternativa é expressa por:

$$F_A = \frac{\mathbf{d}_A^T \mathbf{Q}_d^{-1} \mathbf{d}_A}{\sigma_0^2}. \quad (2.7.4)$$

A estatística (2.7.4) tem distribuição F de Snedecor não central. Esta distribuição baseia-se também no parâmetro de não centralidade (λ_0), expresso por:

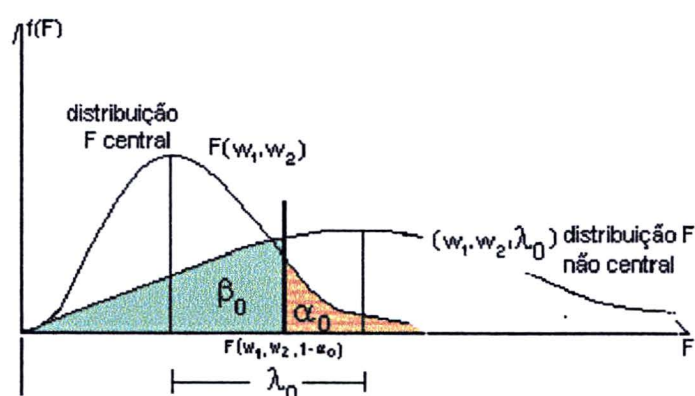
$$\lambda_0 = \delta_0^2, \quad (2.7.5)$$

onde: δ_0 indica o parâmetro de não-centralidade obtido na distribuição normal reduzida (seção 2.5). A equação (2.7.5) é citada por BAARDA (1968). Esta equação é baseada na relação entre as distribuições normal reduzida e F reduzida, expressa por:

$$F(1, \infty, 1 - \alpha) = [N(0, 1, 1 - \alpha)]^2. \quad (2.7.6)$$

Para maiores detalhes, consultar von HAHN & von MIERLO (1986, p. 30). A figura 2.7-1 indica a distribuição F de Snedecor central e não central e o parâmetro de não-centralidade (λ_0). Nela, w_1 e w_2 representam respectivamente, os graus de liberdade do numerador e do denominador.

Figura 2.7-1 – DISTRIBUIÇÃO F DE SNEDECOR CENTRAL E NÃO-CENTRAL
(Fonte: ZHANG & LI, 1990)



Calculada a estatística associada à hipótese alternativa, o vetor \mathbf{d}_A será detectável somente se estatística F_A exceder o valor do parâmetro de não-centralidade (λ_0). Esta relação é expressa pela equação (2.7.7), dada por:

$$F_A > \lambda_0 \quad (2.7.7)$$

Na hipótese alternativa o deslocamento é representado pela seguinte relação:

$$H_a: \mathbf{d}_A = a\mathbf{g}, \quad (2.7.8)$$

onde: a é um fator de escala, ou seja, a dimensão do deslocamento e \mathbf{g} , o vetor forma, que representa a direção do deslocamento.

O fator de escala (a) pode ser reduzido a um valor mínimo, valor este, também chamado de sensibilidade, conforme descreve-se a seguir.

Através da equação (2.7.9):

$$F_A = \frac{(\mathbf{a}\mathbf{g})^T \mathbf{Q}_d^{-1}(\mathbf{a}\mathbf{g})}{\sigma_0^2} > \lambda_0, \quad (2.7.9)$$

é derivado o fator de escala mínimo (a_{\min}), expresso por:

$$a_{\min} \geq \bar{\sigma}_0 \sqrt{\frac{\lambda_0}{\mathbf{g}^T \mathbf{Q}_d \mathbf{g}}}. \quad (2.7.10)$$

Para representá-lo na região de maior dispersão da estação analisada, é necessário efetuar as condições indicadas em (2.7.11):

$$a_{\min} = f(\lambda_{\max}^*) \quad \text{e} \quad \mathbf{g} = \mathbf{f}(\mathbf{s}_{(\lambda_{\max}^*)}). \quad (2.7.11)$$

A sensibilidade é quantificada na direção de maior dispersão, porém com valores maiores que a própria dispersão, justamente para se evitar que qualquer deslocamento mínimo detectável esteja dentro da região de maior dispersão. Para obter as condições indicadas em (2.7.11), é necessário efetuar a decomposição espectral da matriz cofatora (\mathbf{Q}_d) expressa por:

$$\mathbf{Q}_d = \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_j^*} \mathbf{S}\mathbf{S}^T = \left[\frac{1}{\lambda_1^*} \mathbf{s}_1 \mathbf{s}_1^T + \frac{1}{\lambda_2^*} \mathbf{s}_2 \mathbf{s}_2^T + \dots + \frac{1}{\lambda_n^*} \mathbf{s}_n \mathbf{s}_n^T \right] \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2.7.12)$$

Para obter a_{\min} através da decomposição espectral, primeiramente substitui-se a equação (2.7.12) na equação (2.7.9), resultando-se na condição indicada em (2.7.13):

$$\frac{a^2}{\bar{\sigma}_0^2} \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_j^*} \mathbf{g}^T \mathbf{S} \mathbf{S}^T \mathbf{g} > \lambda_0 \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2.7.13)$$

Sabendo-se que a matriz dos vetores próprios é ortogonal⁵, ou seja, ($\mathbf{S} \mathbf{S}^T = \mathbf{I}$), obtém-se a equação (2.7.13) reduzida, expressa por:

$$\frac{a^2}{\bar{\sigma}_0^2} \frac{1}{\lambda_{\max}^*} > \lambda_0 \quad \text{e} \quad (2.7.14)$$

consequentemente obtém-se o fator de escala mínimo (a_{\min}), expresso por:

$$a_{\min} = \bar{\sigma}_0 \sqrt{\lambda_0 \lambda_{\max}^*}, \quad (2.7.15)$$

onde: $\bar{\sigma}_0$ representa o desvio padrão a posteriori único entre as campanhas.

Determinados o fator de escala mínimo e a sua direção, chega-se a equação da sensibilidade ou do deslocamento mínimo detectável, expressa por:

$$d_0 = a_{\min} \mathbf{s}(\lambda_{\max}^*). \quad (2.7.16)$$

As sensibilidades também podem ser representadas em forma de elipses. Para isto, é necessário calculá-las nas direções da primeira e segunda componentes principais. Para maiores detalhes, consultar NIEMEIER & HOLLMANN (1984, p. 67-70), ZHANG & LI (1990, p. 249-251); NIEMEIER, *et al.*, (1982, p.11-15) e HECK (1986, p. 171-178).

⁵ Matriz ortogonal: uma matriz é dita ortogonal quando $\mathbf{S}^T = \mathbf{S}^{-1}$ (GEMAEL, 1994).

3.0 LEVANTAMENTO DE CAMPO

Visando alcançar os objetivos discutidos no capítulo 1.0, foram realizadas duas campanhas GPS dentro do período de agosto de 1999 à fevereiro de 2000. Esta etapa é subdividida em duas fases distintas: o planejamento e a metodologia de campo empregada.

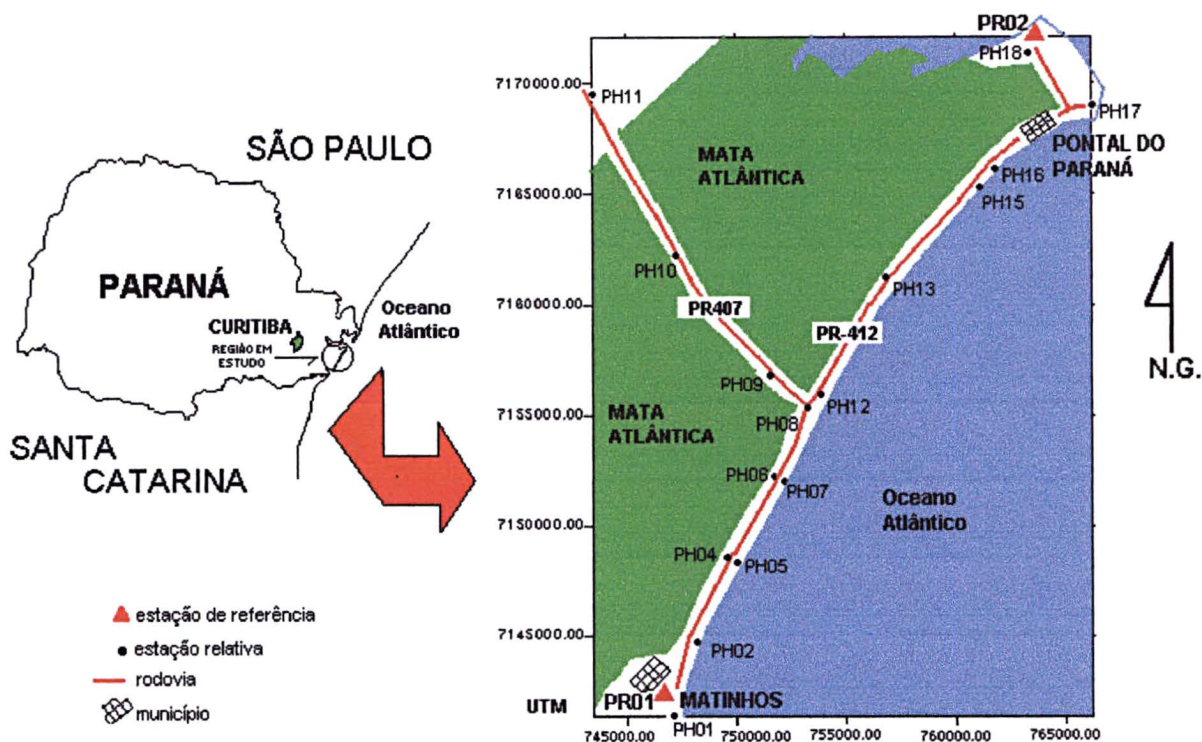
3.1 PLANEJAMENTO

Foram planejadas as realizações de duas campanhas GPS intercaladas de aproximadamente 6 meses, obtendo-se dois conjuntos de dados, os quais, foram utilizados posteriormente na análise da estabilidade da rede GPS em questão. Foi empregado um intervalo de apenas 6 meses em face ao tempo máximo disponível para intercalar estas campanhas.

Definiu-se a área a ser levantada, as estações disponíveis e necessárias para compor uma rede local e a metodologia de campo a ser seguida.

A rede de testes compõem-se de 18 estações, sendo 2 estações de referência (base) e 16 estações relativas. As estações base escolhidas situam-se em áreas externas às de deformações, ou seja, em locais rochosos ou de mínima instabilidade, mais especificamente nos municípios de Matinhos e de Pontal do Paraná. As estações relativas estão situadas entre estes dois municípios, sendo a maioria em locais de fácil acesso. Estas estações estão materializadas por marcos e RRNN de concreto já existentes na região. Na figura 3.1-1, observa-se a região em estudo, juntamente com a rede local implantada.

Figura 3.1-1– REDE LOCAL GPS



3.2 METODOLOGIA DE CAMPO

3.2.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para a realização das campanhas, foram empregados equipamentos pertencentes ao LAGE (Laboratório de Geodésia Espacial), CPGCG (Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas), Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra e  UFPR. O equipamentos estão relacionados a seguir:

- 2 receptores Ashtech Z-XII, com todos os seus acessórios;
- 1 receptor Trimble 4000 SSI, com todos os seus acessórios;
- microcomputador 486;
- programas (HOSE e Trim4000), para a descarga de dados;
- 1 caminhonete Pampa L pertencente ao CEM;

- 3 tripés e
- 1 conjunto de baterias, 2 carregadores e 1 verificador de carga.

3.2.2 TÉCNICA DE LEVANTAMENTO

Na área em estudo, conforme indicado na figura 3.1-1, foram realizados posicionamentos com a técnica de rastreamento estático empregando-se três receptores geodésicos, citados na seção 3.2.1. Utilizou-se uma taxa de coleta de dados de 15 segundos, ângulo de elevação mínimo de 15 graus e uma duração média de rastreamento de 2 horas e 40 minutos.

Cada estação ocupada era devidamente centrada, nivelada e orientada para o norte magnético. Em cada uma delas foram realizadas no mínimo três medidas da altura da antena em diferentes posições, tendo como altura final, a média aritmética destas medidas.

As estações PR01 e PR02 (figura 3.1-1) foram posicionadas em função da estação PARA pertencente a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) e utilizadas como estações base no levantamento da rede local GPS. A estação PARA também pertence à Rede de Referência SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul). As coordenadas cartesianas e geodésicas desta estação estão indicadas na tabela 3.2.2-a.

Tabela 3.2.2-a – COORDENADAS CARTESIANAS E GEODÉSICAS DA ESTAÇÃO PARA

Est.	X(m)	Y(m)	Z(m)
PARA	3.763.751,639	-4.365.113,768	-2.724.404,755
	latitude	longitude	Alt. Geométrica (m)
PARA	-25° 26' 54,1291"	-49° 13' 51,4368"	925,759

As 16 estações relativas também indicadas na figura 3.1-1 foram posicionadas em função das estações base (PR01 e PR02). Na tabela 3.2.2-b estão indicadas as

distâncias aproximadas da estação PARA e das estações relativas em relação às estações base.

Tabela 3.2.2-b – DISTÂNCIAS APROXIMADAS DA ESTAÇÃO PARA E DAS ESTAÇÕES RELATIVAS EM RELAÇÃO ÀS ESTAÇÕES BASE

	Comprimento das linhas de bases (m)	
ESTAÇÃO	PR01	PR02
PARA	80.454,95	73.696,21
	Comprimento das linhas de bases (m)	
ESTAÇÕES RELATIVAS	ESTAÇÕES BASE	
	PR01	PR02
PH01	1.182,02	34.869,89
PH02	2.696,57	31.462,61
PH04	6.759,96	27.397,85
PH05	6.753,61	27.387,48
PH06	11.009,50	23.131,72
PH07	11.024,09	23.128,36
PH08	14.515,61	19.655,74
PH09	15.077,55	19.568,00
PH10	19.777,75	19.065,08
PH11	27.214,83	20.364,72
PH12	15.289,58	18.863,13
PH13	21.199,42	12.961,60
PH15	26.967,09	7.286,56
PH16	28.125,56	6.168,69
PH17	32.868,74	4.000,97
PH18	33.299,63	841,69

A cada dia de trabalho, os dados coletados eram descarregados diretamente num computador, especificamente em diretórios referentes ao dia de rastreio. Outras informações, tais como: altura da antena, nome da estação, início e fim do rastreio também foram armazenados em cadernetas de campo. Todas as baterias utilizadas durante um dia de trabalho eram devidamente carregadas e conferidas no dia seguinte. A metodologia descrita nesta seção foi utilizada nas duas campanhas. A primeira campanha foi realizada entre os dias 5 e 11 de agosto de 1999 e a segunda, entre os dias 13 e 18 de fevereiro de 2000.

4.0 PROCESSAMENTO E AJUSTAMENTO DOS DADOS

Atualmente no mercado há diversos programas de processamento de dados GPS, sendo alguns comerciais e outros científicos. No trabalho proposto, empregou-se dois programas científicos, o BERNESE 4.0 e o GEONAP-K. Na seqüência, faz-se referência aos programas utilizados e posteriormente ao processamento e ajustamento realizado neste trabalho.

4.1 PROGRAMAS UTILIZADOS

4.1.1 BERNESE 4.0

O programa científico BERNESE de processamento GPS foi desenvolvido pelo Instituto Astronômico da Universidade de Berne localizado na Suíça. A versão 4.0 é baseada na versão 3.0, porém, com algumas alterações enumeradas a seguir:

- a parte orbital foi completamente revisada, gerando um novo modelo orbital chamado de *Bern* (BEUTLER, 1994);
- um novo programa de processamento (ADDNEQ) foi elaborado, tendo como principal vantagem, a possibilidade de combinar sistemas de equações normais gerados pelo programa GPSEST.ADDNEQ;
- a parte do modelamento da ionosfera foi completamente revisado (SCHAER, 1995) e (SCHAER, 1996). Esta versão produz modelos de ionosfera regionais e globais, os quais podem ser usados para resolver parâmetros iniciais de ambigüidade da fase da portadora com linhas de base de até 2000 km. Os parâmetros do modelo são calculados através da dupla diferença de fase da observável e
- nesta versão é possível ajustar dados gerados por grandes redes.

4.1.1.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

O programa possibilita as seguintes operações:

- processamentos rápidos utilizando código C/A, L₁ e L₂;
- processamento de dados gerados por levantamentos estáticos ou cinemáticos;
- durante o processamento das portadoras L₁ e L₂, é possível utilizar 5 diferentes tipos de combinações lineares (L₀, L₄, L₅, L₁₂, L₃₄);
- o processamento de redes permanentes;
- a resolução da ambigüidade em linhas de base relativamente grandes (até 2.000 km com a utilização de órbitas precisas);
- modelagem da ionosfera e troposfera;
- o processamento utilizando vários tipos de receptores (compatível com as marcas Aerospace, Texas Instru., Trimble, Wild/Magnavox, Leica, Ashtech e Osborne);
- a geração de soluções para redes fixas e livres e
- a estimativa simultânea de diversos tipos de parâmetros, tais como: erro do relógio do receptor, coordenadas das estações envolvidas, velocidades das estações, ambigüidades, variação do centro de fase da antena, elementos orbitais, rotação terrestre, etc.

4.1.1.2 ESTRUTURA DO PROGRAMA

A versão 4.0 possui alta modularidade em linguagem FORTRAN 77, níveis de rotinas e um sistema de cálculos independentes, podendo ser acessado tanto no sistema operacional UNIX ou DOS. O painel principal do software é dividido em 9 menus principais. Cada menu é inicialmente acessado através do símbolo de igualdade (=) mais o número correspondente. Este procedimento é necessário somente para acessar os menus principais. Para acessar os submenus é necessário somente digitar o número de acesso. A tela principal está ilustrada na figura 4.1.1.2-1:

Figura 4.1.1.2-1 – PAINEL PRINCIPAL DO BERNESE

Primary	Bernese GPS Software Version 4.0	
S:Y C:0		
0..	DEFAULTS	: Defaults for Processing, Program and files names
1..	CAMPAIGNS	: Transformation and Update of campaigns
2..	TRANSFER	: Data transfer to bernese format; Simulation
3..	ORBITS	: Orbit computation, Check and Update
4..	PROCESSING	: Preprocessing and Processing of observations
5..	SERVICES	: Services Programs
6..	BPE	: Bernese Processing Engine
7..	DOCU	: Documents, Help Panels
9..	USER	: Individual User Program
=H	HELP	: Get Help Panel
=X	EXIT	: Terminate GPS Processing

Abaixo estão descritos alguns menus que são empregados no processamento:

- **MENU (0)** – corresponde ao *Default* do programa e a listagem dos tipos de rotinas existentes no mesmo;
- **MENU (1)** – corresponde a criação de um projeto onde são determinados o período da campanha, dias e sessões envolvidas;
- **MENU (2)** – responsável pela transformação de dados brutos em RINEX (RINEX - *Receiver Independent Exchange format*), de RINEX em formato BERNESE e de BERNESE em RINEX;
- **MENU (3)** – responsável pelo cálculo das órbitas em formato BERNESE;
- **MENU (4)** – responsável pelo processamento das observações e
- **MENU (5)** – corresponde a alguns tipos de ferramentas que o programa oferece além das descritas acima, tais como: conversão de certos arquivos no formato ascii para o formato binário e vice versa, criação de arquivos de resíduos (*.RES) em função de dados processados, informações sobre parâmetros do polo e eliminação de arquivos específicos GPS.

Após criado projeto, o programa gera automaticamente 7 diretórios de trabalho contendo os arquivos de entrada e saída. A função de cada um desses diretórios é descrita abaixo:

- **ATM** - normalmente utilizado para armazenar arquivos contendo dados atmosféricos;
- **Datpan** - armazena arquivos que contém os dias de rastreo, sessões, altura da antena, nome das estações e seus respectivos receptores;
- **OBS** - contém os arquivos de observações em formato BERNESE;
- **ORX** - não foi encontrada a sua função;
- **ORB** - contém os arquivos das órbitas precisas, das órbitas em formato BERNESE e do relógio do receptor;
- **OUT** - contém todos os arquivos de saída gerado por qualquer tipo de processamento;
- **RAW** - contém todos os arquivos brutos gerados pelo rastreo e
- **CRD** - contém os arquivos de coordenadas gerados a cada processamento inclusive o arquivo de coordenadas aproximadas.

4.1.1.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS (BERNESE)

Para começar a trabalhar com os dados, antes é necessário verificar inicialmente os arquivos de atualização do programa, tais como:

- **SATELLIT.TTT, SAT_ano.CRX**: informações sobre os satélites;
- **RAP_ano.ERP, C04_ano.ERP**: informações sobre as coordenadas do polo.

O processamento dos dados é dividido em duas etapas: a primeira diz respeito ao pré-processamento e a segunda, ao processamento das observáveis. Cada etapa é subdividida em fases que são acionadas pelos menus e submenus indicados no painel principal.

A etapa de pré-processamento é subdividida em três fases:

- 1º fase**- transformação de arquivos de dados brutos em arquivos RINEX (rotina CCRINEXO);
- 2º fase**- transformação de arquivos RINEX em arquivos BERNESE (rotina RXOBV3);

3º fase- transformação das órbitas precisas ou transmitidas em órbitas tabulares (rotina PRETAB) e posteriormente em órbitas padrão (rotina ORBGEN). Estes dois tipos de órbitas são arquivos de efemérides em formato BERNESE.

A segunda etapa é subdividida em quatro fases:

1º fase- calcula as correções do relógio do receptor, processa as observações do código de cada estação isoladamente e calcula as coordenadas (rotina CODSP);

2º fase- gera os arquivos de simples diferença de fase (rotina SNGDIF);

3º fase- pré-processa as medidas de simples diferença de fase, procura e corrige perdas de ciclo (*cycle slips*) e através da solução da tripla diferença de fase, calcula as coordenadas das estações relativas (programa MAUPRP) e

4º fase- as observações são processadas através da dupla diferença de fase nos modos *Float* e *Fix* (rotina GPSEST). No modo *Float*, o cálculo das coordenadas é obtido em função de ambigüidades com valores não inteiros. Neste modo, as coordenadas possuem valores aproximados. No segundo modo chamado de *Fix*, as ambigüidades resolvidas são fixadas com valores inteiros. No processamento, o modo *Fix* é responsável pelo cálculo das coordenadas definitivas.

A 4º fase é subdividida em três sub-fases que consistem em verificar a qualidade dos dados para uma posterior eliminação as observações de má qualidade, resolver e fixar as ambigüidades e por último, calcular a solução final do processamento.

A solução final pode gerar arquivos de saída que contém as coordenadas ajustadas (*.CRD) e a matriz variância-covariância correspondente (*.COV), ou arquivos de equações normais (*.NEQ).

As soluções finais do processamento podem ser ajustadas de duas maneiras através de um ajustamento contendo somente as coordenadas processadas e a matriz variância-covariância (rotina COMPAR), ou através da combinação dos arquivos de equações normais (rotina ADDNEQ). Em termos de facilidade de interpretação dos dados, a rotina COMPAR é a mais recomendada, por se tratar de uma solução que contém apenas as coordenadas ajustadas e a matriz variância-covariância. A rotina ADDNEQ é mais completa e flexível, porém é preciso ter um bom conhecimento do

programa para entender todas as informações de saída que ela fornece. Através da rotina ADDNEQ é possível, além de calcular as coordenadas ajustadas e a matriz variância-covariância, estimar parâmetros de rotação da Terra, cálculos de velocidade, ajustamento de redes livres e referenciadas, ajustamento de linhas de base, etc. Maiores detalhes, consultar ASTRONOMICAL INSTITUTE UNIVERSITY OF BERNE (1996).

4.1.2 GEONAP-K

O programa científico GEONAP-K foi inicialmente desenvolvido pelo *Institut für Erdmessung* (WÜBBENA, 1991 – Hannover – Alemanha) e aprimorado posteriormente pela empresa Geo++ GmbH. Por ser um programa basicamente científico, o mesmo exige que os usuários tenham uma boa capacidade de análise e de interpretação. É considerado um programa de processamento muito flexível que permite a determinação das coordenadas com alta precisão.

4.1.2.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

O GEONAP-K permite trabalhar com dados obtidos por levantamentos estáticos, cinemáticos e pseudocinemáticos. Também permite a utilização de dados obtidos por diferentes tipos de receptores. É possível através deste programa gerar várias combinações lineares entre as portadoras L_1 e L_2 , tais como: *Wide Lane*, *Narrow Lane*, L_{12} , L_{43} , L_{54} , L_{97} , L_0 e L_1 . A modelagem apresentada neste programa estima os parâmetros simultaneamente através de Mínimos Quadrados ou por Filtro de Kalman. Os parâmetros estimados são os seguintes: as coordenadas do receptor, erros do relógio do receptor e do satélite, órbitas dos satélites para arcos curtos, atraso do sinal interno no *hardware* do satélite e do receptor, refração ionosférica e troposférica e ambigüidades.

O modelo matemático utilizado no GEONAP-K baseia-se no método paramétrico, tendo como observáveis, as medidas das fases das portadoras (L_1 e L_2) e as

pseudodistâncias dos códigos (P e C/A). Também é possível através do ajustamento simultâneo, estimar correções ionosféricas.

A otimização do algoritmo de procura e fixação das ambigüidades é feita por diferentes estratégias. Isto permite um processo de ajustamento mais flexível.

4.1.2.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS (GEONAP-K)

Para iniciar o processamento, é necessário criar quatro arquivos com dados básicos do projeto. O arquivos são os seguintes:

- dados referentes ao receptor (tipo, nº de série...);
- dados referentes à antena (tipo, nº, centro de fase...);
- coordenadas aproximadas das estações e
- informações sobre as observações.

Após criado estes arquivos, os dados brutos das observações e das efemérides (formato binário) são transformados para o formato RINEX através de rotinas, tais como: a TRTORI (formatos Trimble) e a TORINEX (formatos Ashtech). Dentro dos arquivos RINEX, podem ser armazenadas as seguintes observáveis: pseudodistância, a fase da portadora e as duas frequências L_1 e L_2 . O passo seguinte consiste em aplicar o rotina RIMSRT (*Rinex Message SoRT*). Este módulo possibilita a junção das informações de navegação das estações envolvidas, num único arquivo. Preparado os dados, a próxima etapa é o processamento de todas as observáveis. Esta etapa pode ser dividida em duas fases, descritas na seqüência.

A primeira etapa refere-se ao módulo GNSNGL (*Geodetic NAVSTAR SiNGLe*), que processa dados de cada estação isoladamente. Ele emprega os dados de observação e de navegação transmitidos. Nesta fase é possível obter uma posição preliminar da antena através de dados gerados no modo estático e cinemático. Além do cálculo da posição, o módulo permite obter correções dos efeitos gerados pela rotação terrestre, centro de fase da antena, troposfera, ionosfera, efeitos relativísticos e outros.

A segunda fase refere-se ao módulo GEONAP (*Geodetic Navstar Positioning*). Esta fase consiste no processamento conjunto dos dados das estações base e relativas. Neste módulo, existem três rotinas básicas: o GNSLIP (*Geodetic NAVSTAR Cycle SLIP*), o GNAUPD (*Geodetic NAVSTAR Ambiguity UPDate*) e o GNPNET (*Geodetic NAVSTAR Positioning NETwork*). Cada uma delas é composta de várias opções que permitem tratar os dados de acordo com a sua utilização.

A rotina GNSLIP analisa as perdas de sinal e tenta recuperá-las. A rotina GNAUPD resolve e fixa as ambigüidades quando possível, através de vários tipos de combinações lineares, visando a obtenção das coordenadas das estações posicionadas com GPS, e as respectivas matrizes variância-covariância. Por último a rotina GNPNET, que permite o ajustamento das coordenadas, quando as mesmas são obtidas em várias sessões de rastreo. Esta rotina permite, tal como o BERNESE, estimar outros tipos de parâmetros, já citados anteriormente.

A solução final do ajustamento de uma rede no programa GEONAP-K contém normalmente dois arquivos de saída. O primeiro arquivo (*.SOL) contém as coordenadas cartesianas ajustadas e as matrizes variância-covariância das coordenadas e observações ajustadas. O segundo arquivo (*.LST) também contém as coordenadas ajustadas, porém nos dois sistemas, cartesiano e geodésico. Ele ainda contém os respectivos desvios padrão destas coordenadas e os resíduos das observações ajustadas. Maiores detalhes, consultar GEONAP REFERENZ HANDBUCH (1992).

4.2 PROCESSAMENTO E AJUSTAMENTO DOS DADOS

Esta parte de processamento e ajustamento dos dados foi dividida em duas fases distintas, sendo:

1º fase- determinação das coordenadas das estações base (PR01 e PR02) em função da estação PARA;

2º fase- determinação das coordenadas das estações relativas em função das estações base (PR01 e PR02).

4.2.1 PROCESSAMENTO E AJUSTAMENTO DOS DADOS DAS ESTAÇÕES BASE

Os dados coletados nas estações base (PR01 e PR02) foram processados em função da estação PARA. Estas estações formam uma rede denominada de rede base, conforme observa-se na figura 4.2.1-1.

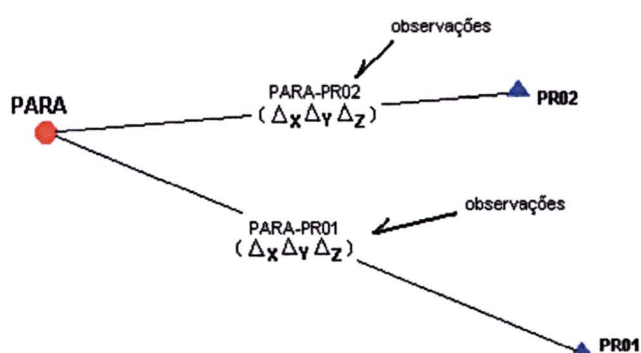
Figura 4.2.1-1 – REDE BASE



O programa utilizado nesta fase foi BERNESE 4.0, descrito na seção 4.1.1. Neste processamento foram utilizadas órbitas precisas cedidas pelo IGS (*International GPS Geodynamics Service*). Nas partes em que foram envolvidas as portadoras, adotou-se como pseudoobservável padrão, a combinação livre de ionosfera (L_0). Estas imposições foram necessárias devido as distâncias de aproximadamente 80,4 km entre a estação PARA e a estação PR01 e de 73,6 km entre a estação PARA e a estação PR02 (tabela 3.2.2-b). Visando definir as coordenadas relativas das estações base com precisão milimétrica, foi realizado o processamento de cinco dias utilizados na primeira campanha, com um período médio de rastreamento diário de 10 horas. Cada dia de processamento gerou um arquivo de equações normais (*.NEQ). No ajustamento final da rede base, estes arquivos foram combinados, ou seja, foram combinados as 5

sessões de processamento. O arquivo de saída gerado pelo programa BERNESE no ajustamento forneceu somente as coordenadas ajustadas, os seus respectivos desvios padrão e índice de variância a posteriori. O modelo de ajustamento utilizado por este programa é o mesmo utilizado pelo GEONAP-K. A figura 4.2.1-2 ilustra as observações geradas pela rede base a cada sessão processada.

Figura 4.2.1-2 – OBSERVAÇÕES OBTIDAS PELA REDE BASE



Maiores detalhes sobre este modelo serão vistos no ajustamento da rede local. Na tabela 4.2.1-a, observa-se as coordenadas cartesianas relativas ajustadas (X, Y, Z) das estações pertencentes à rede base e os seus respectivos desvios padrão. Os resultados obtidos no ajustamento da rede base serão discutidos no capítulo 5.

Tabela 4.2.1-a – COORDENADAS RELATIVAS DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA AJUSTADAS E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO

Estações	X(m)	Y(m)	Z(m)	σ_x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)
PARA	3.763.751,639	-4.365.113,768	-2.724.404,755	0,0000	0,0000	0,0000
PR01	3.803.968,661	-4.305.587,501	-2.760.629,255	0,0089	0,0088	0,0062
PR02	3.824.897,549	-4.304.348,990	-2.733.683,754	0,0082	0,0085	0,0065

4.2.2 PROCESSAMENTO E AJUSTAMENTO DOS DADOS DAS ESTAÇÕES RELATIVAS

O processamento e o ajustamento dos dados das estações relativas foram realizados através do programa GEONAP-K (ver seção 4.1.2). Todas as etapas envolvidas serão descritas a seguir.

4.2.2.1 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Nesta etapa foram processados os dados coletados nas 16 estações relativas com relação às estações base (PR01 e PR02). Elas formam a rede local GPS em estudo, ilustrada na figura 3.1-1.

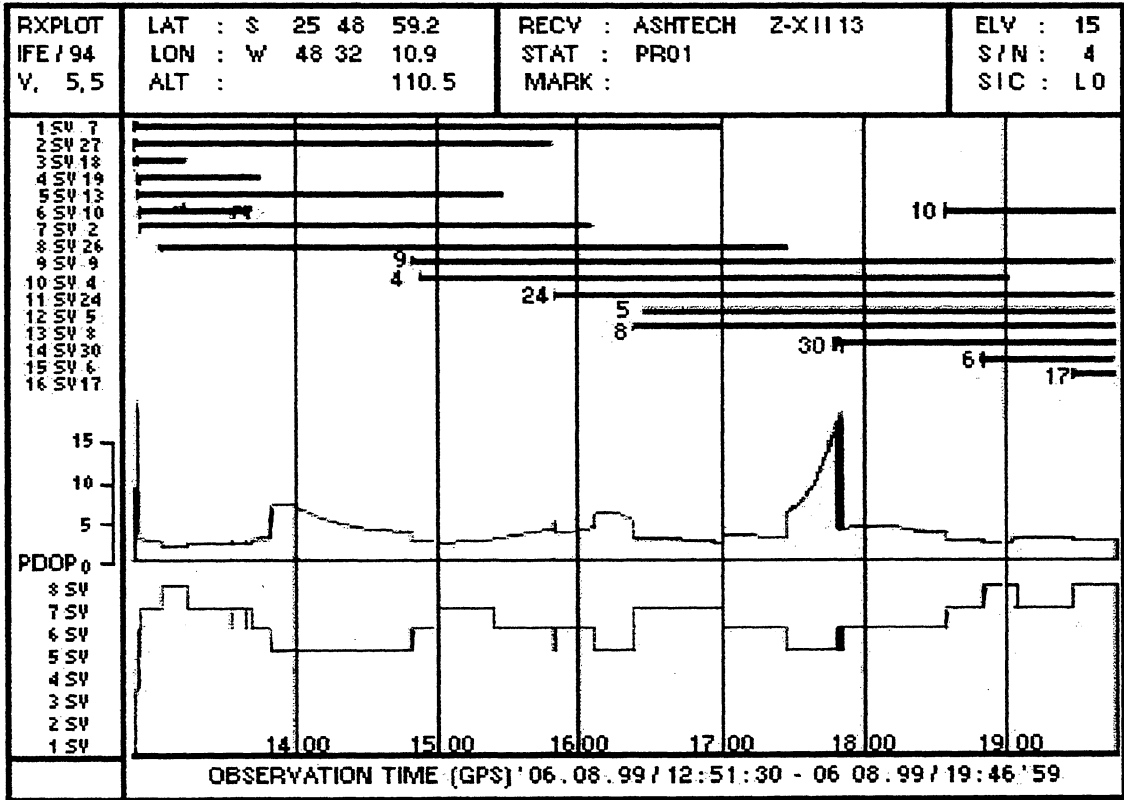
A escolha do programa GEONAP-K para o processamento e ajustamento das estações relativas deu-se em função de problemas ocorridos durante o processamento da segunda campanha com o programa BERNESSE 4.0.

Antes do processamento, procedeu-se a análise dos dados brutos no formato RINEX. Através dos gráficos gerados para a pseudoobservável (L_0) com uma máscara de elevação de 15 graus, pôde-se observar o tempo de rastreamento, o nº de satélites presentes no levantamento, o PDOP⁶ informações sobre as perdas de ciclos, as coordenadas aproximadas da estação e a sua identificação. Estas análises contribuem de forma significativa na eliminação de observáveis e pseudoobserváveis de má qualidade. Algumas análises estão descritas a seguir.

O gráfico 4.2.2.1-1 mostra os dados brutos gerados para a estação PR01 no ano de 1999.

⁶ PDOP: (*Position Dilution of Precision*) – Índice de qualidade da geometria dos satélites rastreados.

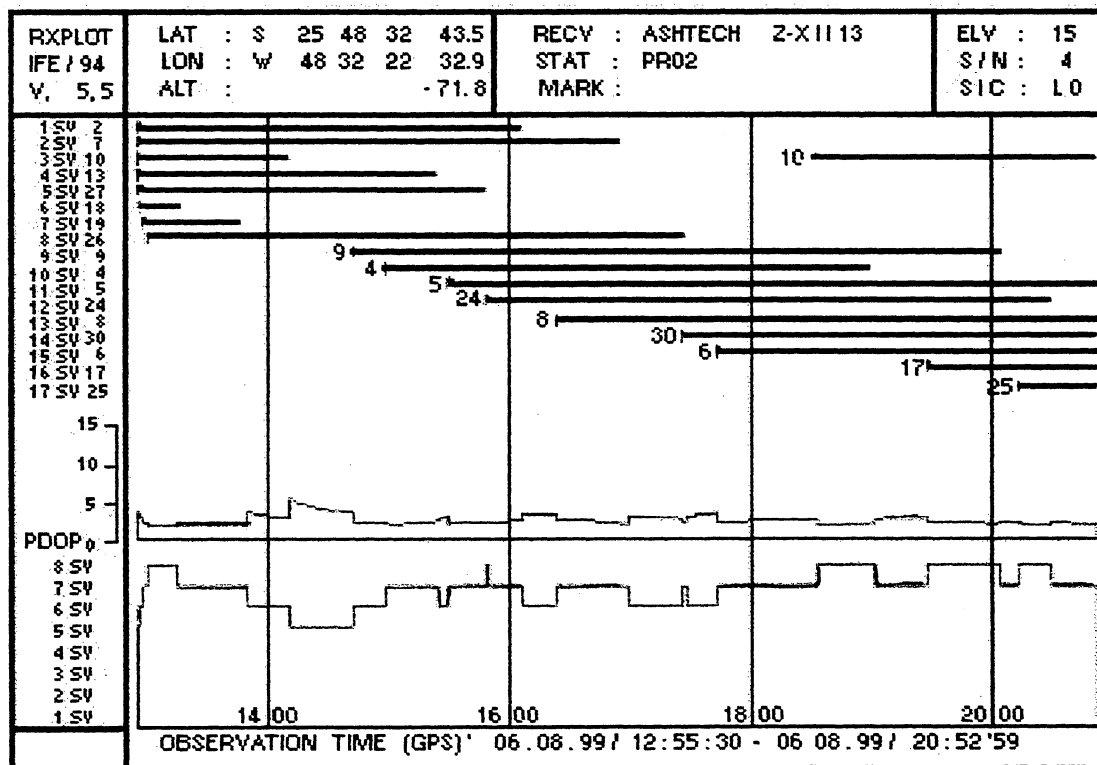
Gráfico 4.2.2.1-1 – VISIBILIDADE DOS SATÉLITES, INFORMAÇÕES SOBRE O PDOP E PERDAS DE SINAL OCORRIDAS NA ESTAÇÃO PR01



Nele, percebe-se a presença de 16 satélites durante um período de aproximadamente 7 horas de observação. Constata-se algumas perdas de sinal para os satélites 10 e 30 e uma elevação significativa do PDOP nos instantes iniciais de rastreo e no intervalo de tempo compreendido entre 17:30 e 17:50. Estes picos de PDOP repetiram-se durante todos os dias de rastreo da primeira campanha.

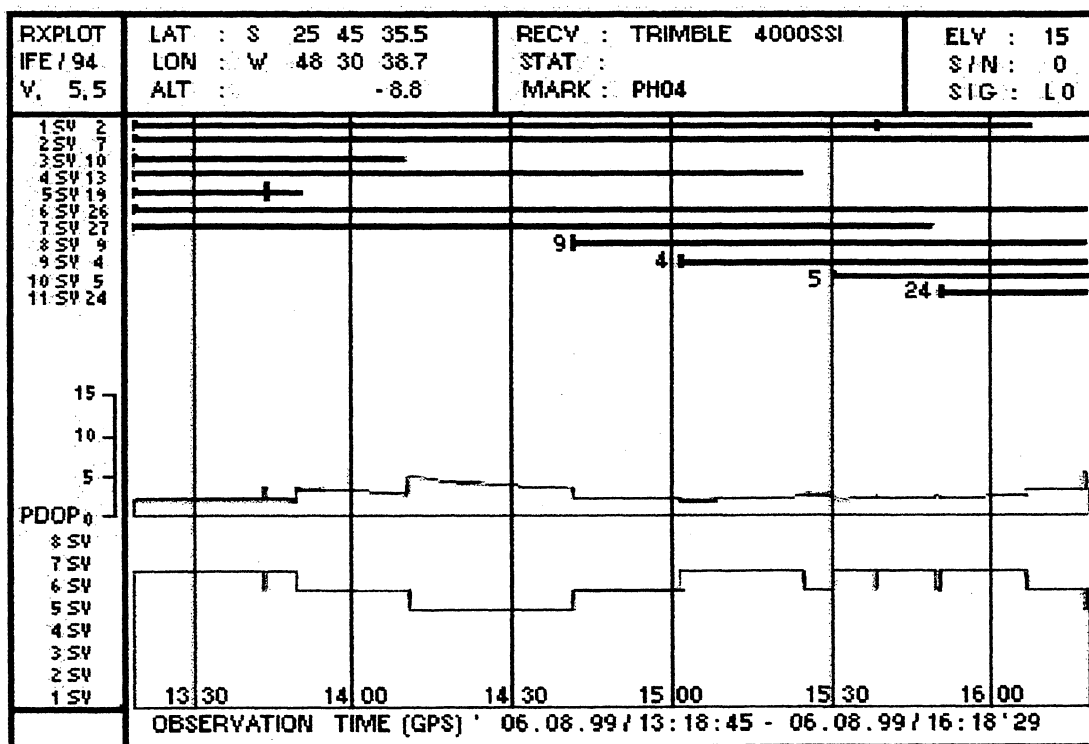
No gráfico 4.2.2.1-2 observa-se os dados brutos gerados para a estação PR02 no ano de 1999. Neste gráfico percebe-se a presença de 17 satélites durante aproximadamente 8 horas de rastreo contínuo. Não houveram perdas de sinal significativas e o PDOP manteve-se inferior a 5 durante este período, o que demonstra uma boa geometria .

Gráfico 4.2.2.1-2 – VISIBILIDADE DOS SATÉLITES, INFORMAÇÕES SOBRE O PDOP E PERDAS DE SINAL OCORRIDAS NA ESTAÇÃO PR02



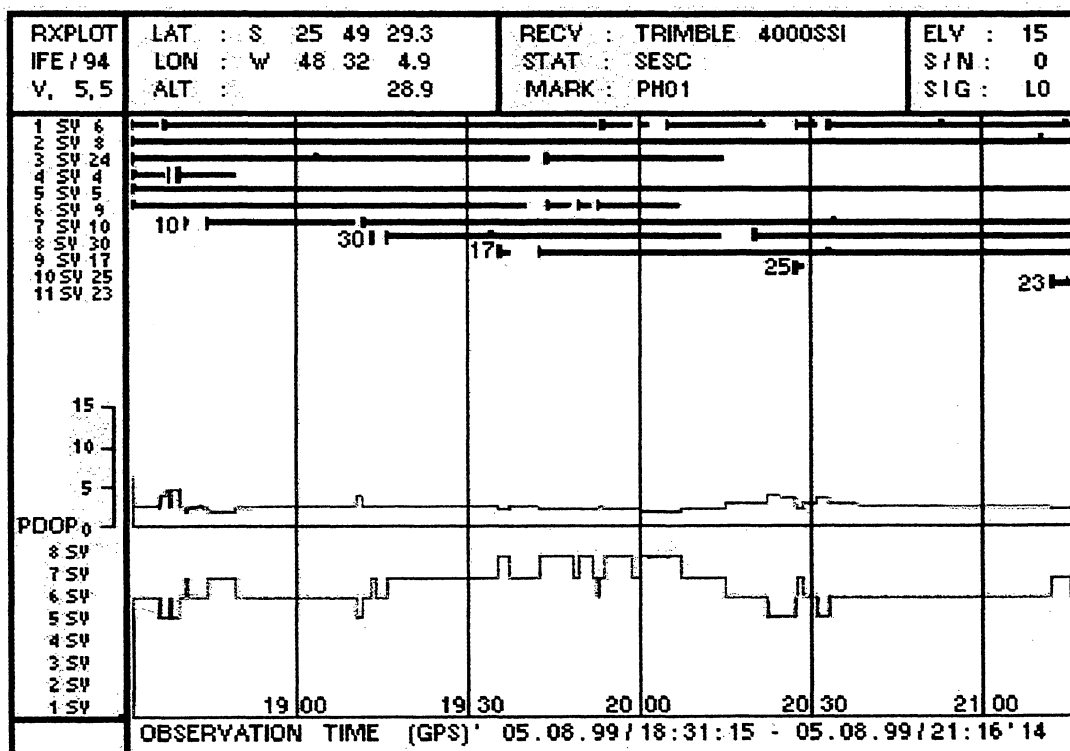
No gráfico 4.2.2.1-3 observa-se os dados brutos gerados para a estação relativa PH04 no ano de 1999. Nele, percebe-se um tempo de rastreo de aproximadamente 3 horas com a presença de 11 satélites durante este período de tempo. Neste gráfico, observa-se pequenas perdas de sinal para os satélites 2, 4, 5 e 19 e pequenas elevações do PDOP. Estas elevações chegaram no máximo ao nível 4, ou seja, não houve um enfraquecimento significativo da geometria.

Gráfico 4.2.2.1-3 – VISIBILIDADE DOS SATÉLITES, INFORMAÇÕES SOBRE O PDOP E PERDAS DE SINAL OCORRIDAS NA ESTAÇÃO RELATIVA PH04



No gráfico 4.2.2.1-4 observa-se agora o gráfico gerado para a estação relativa PH01 no ano de 1999. Este gráfico mostra perdas de sinal significativas em quase todos satélites da constelação presente. Contudo o PDOP manteve-se baixo (inferior a 4). Estas perdas de sinal ocorreram devido a má localização desta estação. Ela está situada ao lado de três mastros, nas dependências do SESC em Matinhos. Verifica-se também neste local a presença de vegetação significativa, a qual, pode ter contribuído para as perdas de sinal. Estas perdas também se repetiram nas estações PH08 e PH10. Nelas, também foram constatados algumas obstruções consideráveis. A solução encontrada para minimizar estes efeitos foi eliminar certos períodos de observações, mantendo-se sempre uma constelação mínima de 5 satélites. Esta estratégia melhorou as soluções obtidas no processamento dos dados.

Gráfico 4.2.2.1-4 – VISIBILIDADE DOS SATÉLITES, INFORMAÇÕES SOBRE O PDOP E PERDAS DE SINAL OCORRIDAS NA ESTAÇÃO RELATIVA PH01



Após concluída a análise dos dados coletados em todas as estações, procedeu-se ao processamento dos dados.

Nesta etapa empregou-se novamente as órbitas precisas fornecidas pelo IGS. Os módulos do programa GEONAP-K possibilitaram a identificação e recuperação das perdas de sinal e a resolução e fixação das ambigüidades (seção 4.1.2.2). As resoluções das ambigüidades foram obtidas através de diferentes combinações entre L_1 e L_2 . Cada combinação gerou diferentes soluções. Os melhores resultados foram obtidos pela combinação livre da ionosfera (L_0). Contudo, algumas estações como PH01 e PH02 apresentaram os melhores resultados através da combinação linear entre L_1 e L_2 , denominada no programa de combinação "X". O exemplo 4.2.2.1.1 ilustra parte de um arquivo de saída com a solução gerada pelo módulo GEONAP (seção 4.1.2).

Exemplo 4.2.2.1.1

```

Sigma0:      0.909
Unknowns:    6
Stat/PRN  2    7    10    13    18    19
           26    27    31

```

coordinates, coordinate differences and their standard deviations:

```

pr02  3824897.5488 -4304348.9895 -2733683.7540
ph15  3821080.1687 -4303784.6584 -2739864.6333
pr02 -pr02 3824897.5488 -4304348.9895 -2733683.7540    0.0000
           0.0001      0.0001      0.0001      0.0000
pr02 -ph15 -3817.3801    564.3311    -6180.8793    7286.5718
           0.0008      0.0008      0.0007      0.0005

```

Neste exemplo, observa-se um desvio padrão a posteriori (Sigma0) igual a 0,909, o qual, indica a qualidade da solução obtida no processamento dos dados. Constata-se também que esta solução foi gerada a partir de dados coletados com uma constelação de 9 satélites (Sat/PRN). Neste arquivo, observa-se também as coordenadas cartesianas relativas (X, Y, Z) das estações envolvidas no processamento (PR02 e PH15), as diferenças de coordenadas (observações) - (PR02-PH15), a distância entre estas duas estações e os respectivos desvios padrão (*standard deviations*).

Após o processamento de todas as estações da rede local GPS referentes às duas campanhas, verificou-se que as soluções atingiram desvios padrão de ordem milimétrica (exemplo 4.2.2.1.1). As soluções finais foram agrupadas em um único diretório, visando-se o ajustamento dos dados, que será descrito na seqüência.

4.2.2.2 AJUSTAMENTO DA REDE LOCAL

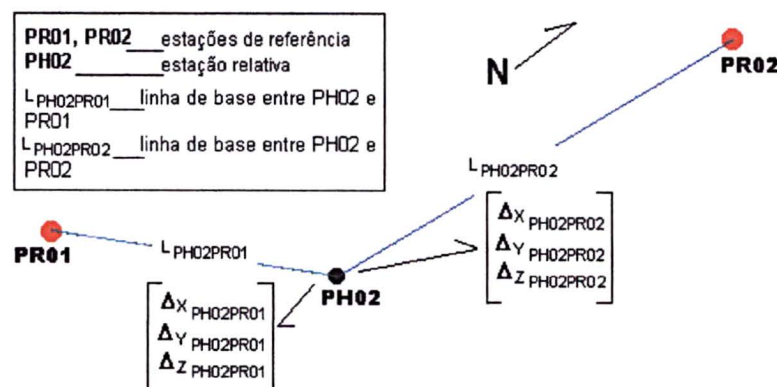
O ajustamento da rede local emprega o método paramétrico, conforme descrito na seção 2.2.1. Neste caso, os vetores de posição $(\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z)$ são considerados como observações medidas entre as estações relativas e as estações fixas, e as coordenadas, como parâmetros a serem ajustados (LEICK, 1995, p. 412). Desta forma, as equações de observação podem ser consideradas lineares. O modelo é expresso por:

$$\begin{bmatrix} \Delta_{X_{rf_i}} \\ \Delta_{Y_{rf_i}} \\ \Delta_{Z_{rf_i}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{r_i} - X_{f_i} \\ Y_{r_i} - Y_{f_i} \\ Z_{r_i} - Z_{f_i} \end{bmatrix}, \quad (4.2.2.2.1)$$

onde: $(X_{r_i}, Y_{r_i}, Z_{r_i})$ referem-se às coordenadas das estações relativas; $(X_{f_i}, Y_{f_i}, Z_{f_i})$, às coordenadas das estações fixas ou de referência e $(\Delta_{X_{rf_i}}, \Delta_{Y_{rf_i}}, \Delta_{Z_{rf_i}})$, aos vetores de posição.

Conforme foi descrito na seção 4.2.2.1, nas duas campanhas GPS realizadas, cada estação relativa foi posicionada e pós-processada em função de duas estações base, ou seja, para cada estação relativa foram gerados 6 vetores de posição, conforme observa-se na figura 4.2.2.2-1:

Figura 4.2.2.2-1– VETORES DE POSIÇÃO



Para iniciar esta etapa de ajustamento, primeiro o GEONAP-K calculou automaticamente para cada estação relativa, a matriz dos pesos das observações (seção 2.2.1). Esta matriz foi gerada em função da variância a priori ($\sigma_0^2 = 225$) e das matrizes variância-covariância das observações processadas (módulo GEONAP). Durante as duas campanhas, não foi possível trabalhar com mais de um receptor itinerante, ou seja, não foi possível obter correlações entre as estações relativas. Não havendo estas correlações e sabendo-se que o modelo matemático é linear, a matriz **A** foi definida para cada estação através da matriz (4.2.2.2), expressa por:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \text{PR01} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ \text{PR02} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4.2.2.2)$$

onde, os elementos unitários representam as derivadas parciais das equações de observação em relação às coordenadas ajustadas (seção 2.2.1). Através do novo conjunto de observações, da matriz dos pesos (**P**) e da matriz (**A**), o programa calculou o vetor de correções aos parâmetros (seção 2.2.1), e posteriormente, as coordenadas ajustadas destas estações relativas.

Calculada as coordenadas relativas ajustadas, a rotina GNPNET calculou as observações ajustadas, representada por (4.2.2.3):

$$\begin{bmatrix} \Delta_{X_i(\text{PR01})}^a \\ \Delta_{Y_i(\text{PR01})}^a \\ \Delta_{Z_i(\text{PR01})}^a \\ \Delta_{X_i(\text{PR02})}^a \\ \Delta_{Y_i(\text{PR02})}^a \\ \Delta_{Z_i(\text{PR02})}^a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{r_i}^a - X_{f(\text{PR01})} \\ Y_{r_i}^a - Y_{f(\text{PR01})} \\ Z_{r_i}^a - Z_{f(\text{PR01})} \\ X_{r_i}^a - X_{f(\text{PR02})} \\ Y_{r_i}^a - Y_{f(\text{PR02})} \\ Z_{r_i}^a - Z_{f(\text{PR02})} \end{bmatrix}, \quad (4.2.2.3)$$

onde: $(\Delta_{X_i}^a, \Delta_{Y_i}^a, \Delta_{Z_i}^a)$ representam as observações ajustadas; $(X_{r_i}^a, Y_{r_i}^a, Z_{r_i}^a)$, as coordenadas relativas ajustadas. Na seqüência, foram calculados os resíduos das observações e os índices de variância a posteriori, representados no programa pelos

desvios padrão a posteriori. Por último, a rotina GNPNET calculou as matrizes variância-covariância das coordenadas e das observações. Dentre todos estes valores gerados por esta rotina, apenas o vetor das observações ajustadas não é editado nos arquivos de saída. Este vetor foi calculado através programa MATLAB versão 5.1.

O ajustamento realizado pela rotina GNPNET gerou 2 arquivos de saída. Um contendo as coordenadas ajustadas das estações relativas, o desvio padrão a posteriori e os resíduos estimados, e o outro contendo as matrizes variância-covariância das coordenadas e das observações ajustadas.

Nas tabelas 4.2.2.2-a e 4.2.2.2-b, observam-se as observações ajustadas (Δ_x , Δ_y , Δ_z) e seus respectivos desvios padrão ($\sigma_{\Delta x}$, $\sigma_{\Delta y}$, $\sigma_{\Delta z}$) para as campanhas de 1999 e 2000, respectivamente. As coordenadas relativas ajustadas (X, Y, Z) e seus respectivos desvios padrão (σ_x , σ_y , σ_z) estão representados nas tabelas 4.2.2.2-c e 4.2.2.2-d para os anos de 1999 e 2000, respectivamente. Na tabela 4.2.2.2-e apresentam-se os resíduos estimados para as duas campanhas. As variâncias a posteriori de todas as estações relativas envolvidas nos ajustamentos de 1999 e 2000 encontram-se indicados na tabela 4.2.2.2-f .

Tabela 4.2.2.2-a – OBSERVAÇÕES AJUSTADAS E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS
PADRÃO (1999)

LINHAS DE BASE	Δ_x (m)	Δ_y (m)	Δ_z (m)	$\sigma_{\Delta x}$ (m)	$\sigma_{\Delta y}$ (m)	$\sigma_{\Delta z}$ (m)
PR01-PH01	45,1793	669,2880	-973,2346	0,0007	0,0007	0,0004
PR01-PH02	1.800,9465	314,2708	1.982,2555	0,0005	0,0003	0,0003
PR01-PH04	3.924,2580	-78,8713	5.503,7341	0,0005	0,0001	0,0002
PR01-PH05	4.155,1232	244,9428	5.318,4876	0,0007	0,0007	0,0006
PR01-PH06	6.738,1192	353,1669	8.699,5464	0,0011	0,0011	0,0008
PR01-PH07	6.551,9654	82,9311	8.865,4068	0,0010	0,0007	0,0007
PR01-PH08	8.534,4407	-13,8815	11.741,6420	0,0008	0,0009	0,0006
PR01-PH09	7.572,1058	-1.630,7723	12.935,8480	0,0012	0,0009	0,0007
PR01-PH10	5.940,0191	-6.206,8211	17.814,3520	0,0038	0,0035	0,0026
PR01-PH11	5.009,2896	-11.182,8630	24.300,1570	0,0007	0,0008	0,0005
PR01-PH12	9.153,7063	212,2701	12.244,8330	0,0006	0,0005	0,0004
PR01-PH13	12.712,2200	335,8950	16.961,7830	0,0005	0,0005	0,0004
PR01-PH15	17.111,5070	1.802,8417	20.764,6280	0,0006	0,0006	0,0005
PR01-PH16	17.873,4590	1.923,8123	21.630,6630	0,0012	0,0014	0,0009
PR01-PH17	21.940,8870	3.923,2462	24.156,9860	0,0011	0,0010	0,0007
PR01-PH18	20.424,9660	1.221,1563	26.271,5590	0,0009	0,0010	0,0008
PR02-PH01	20.883,7090	-569,2231	-27.918,7360	0,0029	0,0027	0,0017
PR02-PH02	19.127,9500	-924,2378	-24.963,2380	0,0027	0,0029	0,0023
PR02-PH04	17.004,6300	-1.317,3821	-21.441,7680	0,0005	0,0004	0,0003
PR02-PH05	16.773,7650	-993,5683	-21.627,0140	0,0001	0,0003	0,0001
PR02-PH06	14.190,7690	-885,3447	-18.245,9550	0,0012	0,0012	0,0009
PR02-PH07	14.376,9220	-1.155,5799	-18.080,0940	0,0006	0,0007	0,0005
PR02-PH08	12.394,4470	-1.252,3928	-15.203,8590	0,0008	0,0009	0,0006
PR02-PH09	13.356,7820	-2.869,2835	-14.009,6540	0,0003	0,0005	0,0003
PR02-PH10	14.988,8710	-7.445,3338	-9.131,1506	0,0037	0,0038	0,0028
PR02-PH11	15.919,5980	-12.421,3740	-2.645,3446	0,0007	0,0008	0,0005
PR02-PH12	11.775,1820	-1.026,2406	-14.700,6680	0,0002	0,0002	0,0001
PR02-PH13	8.216,6679	-902,6165	-9.983,7185	0,0003	0,0003	0,0001
PR02-PH15	3.817,3812	564,3304	-6.180,8738	0,0006	0,0006	0,0005
PR02-PH16	3.055,4292	685,3008	-5.314,8380	0,0007	0,0007	0,0005
PR02-PH17	1.011,9986	2.684,7346	-2.788,5162	0,0005	0,0007	0,0005
PR02-PH18	503,9219	-17,3551	-673,9426	0,0008	0,0009	0,0007

Tabela 4.2.2.2-b – OBSERVAÇÕES AJUSTADAS E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS
PADRÃO (2000)

LINHAS DE BASE	Δ_x (m)	Δ_y (m)	Δ_z (m)	$\sigma_{\Delta x}$ (m)	$\sigma_{\Delta y}$ (m)	$\sigma_{\Delta z}$ (m)
PR01-PH01	45,1173	669,3535	-973,1987	0,0011	0,0009	0,0008
PR01-PH02	1.800,9062	314,3045	1.982,2718	0,0006	0,0007	0,0006
PR01-PH04	3.924,3071	-78,9180	5.503,6929	0,0007	0,0007	0,0006
PR01-PH05	4.155,1661	244,8859	5.318,4443	0,0011	0,0007	0,0010
PR01-PH06	6.738,0952	353,1751	8.699,5421	0,0011	0,0009	0,0010
PR01-PH07	6.551,9612	82,9230	8.865,3900	0,0014	0,0011	0,0010
PR01-PH08	8.534,4713	-13,9079	11.741,6296	0,0008	0,0007	0,0006
PR01-PH09	7.572,1259	-1.630,7957	12.935,8233	0,0005	0,0006	0,0003
PR01-PH10	5.940,0586	-6.206,8415	17.814,3283	0,0011	0,0010	0,0007
PR01-PH11	5.009,3399	-11.182,9141	24.300,1220	0,0015	0,0016	0,0010
PR01-PH12	9.153,7394	212,2659	12.244,8094	0,0009	0,0007	0,0009
PR01-PH13	12.712,2441	335,8606	16.961,7539	0,0012	0,0011	0,0009
PR01-PH15	17.111,5404	1.802,8103	20.764,5944	0,0012	0,0011	0,0010
PR01-PH16	17.873,5044	1.923,7816	21.630,6332	0,0027	0,0023	0,0017
PR01-PH17	21.940,9162	3.923,2242	24.156,9508	0,0021	0,0019	0,0015
PR01-PH18	20.424,9691	1.221,1654	26.271,5640	0,0010	0,0011	0,0008
PR02-PH01	-20.883,7708	-569,1578	-27.918,7001	0,0012	0,0009	0,0008
PR02-PH02	-19.127,9819	-924,2069	-24.963,2295	0,0001	0,0006	0,0003
PR02-PH04	-17.004,5810	-1.317,4292	-21.441,8083	0,0011	0,0010	0,0007
PR02-PH05	-16.773,7217	-993,6252	-21.627,0571	0,0017	0,0021	0,0014
PR02-PH06	-14.190,7928	-885,3362	-18.245,9591	0,0011	0,0014	0,0010
PR02-PH07	-14.376,9268	-1.155,5884	-18.080,1114	0,0010	0,0015	0,0009
PR02-PH08	-12.394,4176	-1.252,4199	-15.203,8719	0,0002	0,0006	0,0003
PR02-PH09	-13.356,7622	-2.869,3070	-14.009,6779	0,0006	0,0006	0,0005
PR02-PH10	-14.988,8296	-7.445,3525	-9.131,1738	0,0001	0,0007	0,0003
PR02-PH11	-15.919,5481	-12.421,4254	-2.645,3793	0,0012	0,0013	0,0009
PR02-PH12	-11.775,1487	-1.026,2455	-14.700,6919	0,0009	0,0007	0,0009
PR02-PH13	-8.216,6440	-902,6509	-9.983,7475	0,0004	0,0004	0,0003
PR02-PH15	-3.817,3481	564,2991	-6.180,9078	0,0010	0,0010	0,0008
PR02-PH16	-3.055,3843	685,2705	-5.314,8697	0,0008	0,0012	0,0007
PR02-PH17	1.012,0282	2.684,7132	-2.788,5507	0,0005	0,0004	0,0004
PR02-PH18	-503,9190	-17,3459	-673,9373	0,0006	0,0005	0,0005

Tabela 4.2.2.2-c – COORDENADAS RELATIVAS AJUSTADAS E SEUS
RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO (1999)

ESTAÇÕES RELATIVAS	X(m)	σ_x (m)	Y(m)	σ_y (m)	Z(m)	σ_z (m)
PH01	3.804.013,840	0,0018	-4.304.918,213	0,0013	-2.761.602,489	0,0011
PH02	3.805.769,607	0,0017	-4.305.273,230	0,0012	-2.758.646,999	0,0014
PH04	3.807.892,918	0,0010	-4.305.666,372	0,0010	-2.755.125,521	0,0007
PH05	3.808.123,783	0,0008	-4.305.342,558	0,0010	-2.755.310,767	0,0008
PH06	3.810.706,779	0,0010	-4.305.234,334	0,0010	-2.751.929,708	0,0007
PH07	3.810.520,626	0,0010	-4.305.504,569	0,0010	-2.751.763,848	0,0008
PH08	3.812.503,101	0,0007	-4.305.601,382	0,0009	-2.748.887,613	0,0006
PH09	3.811.540,766	0,0013	-4.307.218,273	0,0012	-2.747.693,407	0,0008
PH10	3.809.908,679	0,0038	-4.311.794,322	0,0037	-2.742.814,903	0,0028
PH11	3.808.977,950	0,0006	-4.316.770,363	0,0007	-2.736.329,098	0,0005
PH12	3.813.122,367	0,0009	-4.305.375,230	0,0010	-2.748.384,422	0,0007
PH13	3.816.680,880	0,0009	-4.305.251,606	0,0008	-2.743.667,472	0,0007
PH15	3.821.080,167	0,0006	-4.303.784,659	0,0007	-2.739.864,627	0,0005
PH16	3.821.842,119	0,0005	-4.303.663,688	0,0005	-2.738.998,591	0,0004
PH17	3.825.909,547	0,0012	-4.301.664,254	0,0013	-2.736.472,269	0,0008
PH18	3.824.393,627	0,0005	-4.304.366,344	0,0006	-2.734.357,696	0,0005

Tabela 4.2.2.2-d – COORDENADAS RELATIVAS AJUSTADAS E SEUS
RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO (2000)

ESTAÇÕES RELATIVAS	X(m)	σ_x (m)	Y(m)	σ_y (m)	Z(m)	σ_z (m)
PH01	3.804.013,778	0,0010	-4.304.918,147	0,0009	-2.761.602,453	0,0008
PH02	3.805.769,566	0,0009	-4.305.273,196	0,0009	-2.758.646,983	0,0009
PH04	3.807.892,967	0,0011	-4.305.666,419	0,0010	-2.755.125,562	0,0010
PH05	3.808.123,826	0,0018	-4.305.342,615	0,0018	-2.755.310,810	0,0016
PH06	3.810.706,755	0,0016	-4.305.234,325	0,0016	-2.751.929,713	0,0014
PH07	3.810.520,621	0,0016	-4.305.504,578	0,0017	-2.751.763,865	0,0013
PH08	3.812.503,132	0,0011	-4.305.601,408	0,0012	-2.748.887,625	0,0010
PH09	3.811.540,786	0,0011	-4.307.218,296	0,0012	-2.747.693,431	0,0010
PH10	3.809.908,719	0,0013	-4.311.794,342	0,0016	-2.742.814,926	0,0010
PH11	3.808.978,000	0,0010	-4.316.770,415	0,0013	-2.736.329,133	0,0008
PH12	3.813.122,400	0,0012	-4.305.375,235	0,0010	-2.748.384,445	0,0012
PH13	3.816.680,904	0,0013	-4.305.251,640	0,0013	-2.743.667,501	0,0011
PH15	3.821.080,201	0,0015	-4.303.784,690	0,0015	-2.739.864,660	0,0012
PH16	3.821.842,165	0,0018	-4.303.663,719	0,0019	-2.738.998,622	0,0012
PH17	3.825.909,576	0,0014	-4.301.664,276	0,0014	-2.736.472,304	0,0010
PH18	3.824.393,629	0,0009	-4.304.366,335	0,0007	-2.734.357,691	0,0008

Tabela 4.2.2.2-e – RESÍDUOS ESTIMADOS

ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA	ESTAÇÕES RELATIVAS	1999			2000		
		Δ_x (m)	Δ_y (m)	Δ_z (m)	Δ_x (m)	Δ_y (m)	Δ_z (m)
PR01	PH01	0,0001	-0,0007	0,0002	0,0001	-0,0010	0,0009
PR02		-0,0013	0,0049	0,0026	-0,0007	0,0011	-0,0006
PR01	PH02	0,0009	-0,0008	-0,0004	0,0007	-0,0004	0,0009
PR02		-0,0047	0,0055	0,0021	-0,0010	0,0014	-0,0009
PR01	PH04	-0,0003	-0,0008	0,0005	0,0011	-0,0007	0,0008
PR02		-0,0001	0,0009	-0,0003	-0,0012	0,0012	-0,0005
PR01	PH05	-0,0005	0,0002	0,0014	0,0001	-0,0009	0,0010
PR02		0,0001	0,0001	-0,0009	-0,0008	0,0026	-0,0011
PR01	PH06	-0,0004	0,0007	-0,0003	0,0010	-0,0017	0,0008
PR02		0,0007	-0,0017	0,0005	-0,0014	0,0024	-0,0005
PR01	PH07	-0,0017	0,0002	0,0004	-0,0005	0,0007	0,0023
PR02		0,0011	-0,0001	0,0001	0,0003	-0,0005	-0,0021
PR01	PH08	0,0006	-0,0011	-0,0008	0,0009	0,0007	0,0004
PR02		-0,0011	0,0016	0,0012	-0,0004	-0,0009	-0,0006
PR01	PH09	-0,0002	0,0001	0,0014	-0,0003	-0,0000	0,0018
PR02		-0,0001	0,0001	-0,0010	0,0001	0,0000	-0,0012
PR01	PH10	0,0020	0,0014	0,0014	0,0006	-0,0010	0,0011
PR02		-0,0013	-0,0022	-0,0020	-0,0007	0,0010	-0,0008
PR01	PH11	-0,0003	-0,0004	0,0006	-0,0001	-0,0001	0,0004
PR02		0,0001	0,0005	-0,0004	-0,0011	0,0006	-0,0022
PR01	PH12	0,0002	-0,0011	0,0002	0,0005	0,0001	0,0017
PR02		-0,0003	0,0012	-0,0001	-0,0005	-0,0001	-0,0015
PR01	PH13	-0,0003	0,0003	0,0008	0,0025	-0,0019	0,0006
PR02		-0,0003	-0,0004	-0,0016	-0,0014	0,0009	-0,0004
PR01	PH15	-0,0004	0,0000	0,0010	0,0010	-0,0004	0,0013
PR02		0,0001	0,0001	-0,0006	-0,0009	0,0003	-0,0012
PR01	PH16	0,0008	0,0003	0,0013	0,0011	-0,0007	0,0020
PR02		-0,0001	-0,0000	-0,0002	-0,0005	0,0004	-0,0013
PR01	PH17	-0,0006	0,0009	0,0014	0,0018	-0,0023	0,0009
PR02		0,0005	-0,0007	-0,0012	-0,0005	0,0009	-0,0001
PR01	PH18	-0,0001	0,0003	0,0008	-0,0004	-0,0008	0,0019
PR02		-0,0001	-0,0002	-0,0005	-0,0003	0,0002	-0,0006

Tabela 4.2.2.2-f – VARIÂNCIA A POSTERIORI DE TODAS AS ESTAÇÕES RELATIVAS ENVOLVIDAS NOS AJUSTAMENTOS DE 1999 E 2000 (SIGMA A PRIORI = 225)

ESTAÇÕES RELATIVAS	SIGMA A POSTERIORI	
	1999	2000
PH01	551,7	215,2
PH02	1.136,4	344,6
PH04	408,2	341,4
PH05	600,3	1.024,5
PH06	196,0	891,4
PH07	938,8	939,5
PH08	219,7	587,4
PH09	692,7	366,0
PH10	3994,6	607,1
PH11	197,8	109,8
PH12	511,1	290,5
PH13	356,3	560,4
PH15	227,9	950,9
PH16	128,4	1.718,2
PH17	803,0	725,9
PH18	124,4	376,7

As análises dos ajustamentos da rede local estão apresentadas nos capítulos 5 e

6.

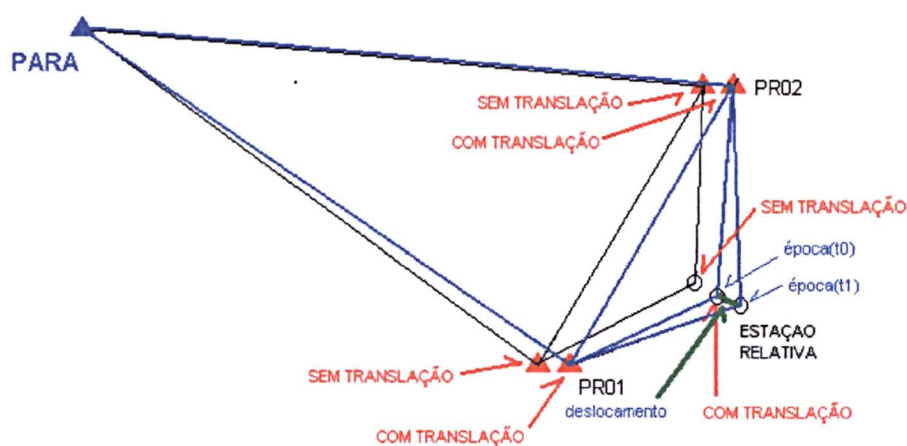
5.0 ANÁLISE DOS AJUSTAMENTOS

Com os resultados obtidos nos ajustamentos da rede base e da rede local, conforme descrito no capítulo 4.0, foram realizadas algumas análises apresentadas na seqüência.

5.1 ANÁLISE DO AJUSTAMENTO DA REDE BASE

Observando-se a tabela 4.2.1-a, verifica-se que os desvios padrão das coordenadas relativas foram inferiores a 9 milímetros. Percebe-se também que os desvios encontrados, referentes às duas bases, tenderam em (X, Y) e (Z) para uma mesma magnitude. Estes prováveis erros cometidos nas coordenadas das estações base não tiveram muita influência nas coordenadas das estações relativas. Isto porque, como eles tenderam para uma mesma magnitude, provavelmente os mesmos causaram somente uma translação nas coordenadas das estações relativas. A figura 5.1-1 ilustra esta influência.

Figura 5.1-1 POSSÍVEIS TRANSLAÇÕES OCORRIDAS NAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA



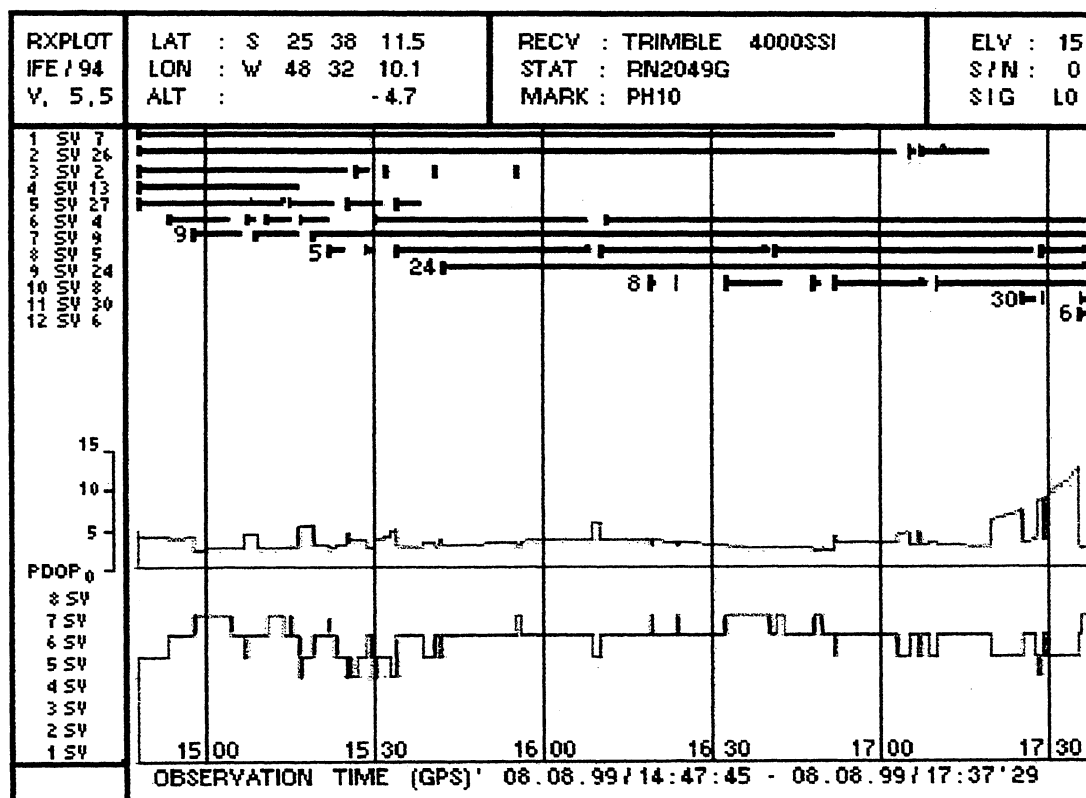
Esta hipótese é reforçada com o processamento dos dados. Sabe-se que cada estação relativa foi processada em função das bases PR01 e PR02, ou seja, para cada estação foram gerados dois conjuntos de coordenadas relativas. As diferenças de coordenada em relação as duas bases ficaram em sua maioria entre 0,5 a 2 milímetros, o que demonstra que os desvios cometidos nas coordenadas das bases não tiveram muita influência nas coordenadas relativas das estações relativas.

5.2 ANÁLISE DO AJUSTAMENTO DA REDE LOCAL

Analisando-se as tabelas 4.2.2.2-a e 4.2.2.2-b verifica-se que para as estações relativas com diferenças significativas entre os comprimentos das suas linhas de base, existem variações significativas nos desvios padrão das observações ajustadas, ou seja, nas precisões. As maiores variações estão indicadas em vermelho nas tabelas 4.2.2.2-a e 4.2.2.2-b. Constata-se por exemplo que a estação relativa PH01 possui uma linha de base de aproximadamente 1,81 km em relação à estação base PR01 (PH01-PR01) e de 34,87 km em relação à estação base PR02 (PH01-PR02). Esta diferença no comprimento entre as linhas de base gerou melhores precisões na linha (PH01-PR01)- ($\sigma_{\Delta X} = 0,0007$ m; $\sigma_{\Delta Y} = 0,0007$ m; $\sigma_{\Delta Z} = 0,0007$ m), do que na linha (PH01-PR02)- ($\sigma_{\Delta X} = 0,0029$ m; $\sigma_{\Delta Y} = 0,0027$ m; $\sigma_{\Delta Z} = 0,0017$ m). Estas variações diminuíram nas estações onde os comprimentos das linhas de base são mais homogêneos.

Na tabela 4.2.2.2-a, verifica-se que as precisões das observações ajustadas ($\sigma_{\Delta X}$, $\sigma_{\Delta Y}$, $\sigma_{\Delta Z}$) para a estação PH10 apresentaram os piores resultados. Analisando-se o gráfico de visibilidade dos satélites e as informações sobre as perdas de ciclos e o PDOP para esta estação (gráfico 5.2-1), percebe-se que há perdas de sinal significativas e uma elevação do PDOP nos últimos 15 minutos de rastreamento.

Gráfico 5.2-1 VISIBILIDADE DOS SATÉLITES, INFORMAÇÕES SOBRE O PDOP E PERDAS DE SINAL OCORRIDAS NA ESTAÇÃO RELATIVA PH10

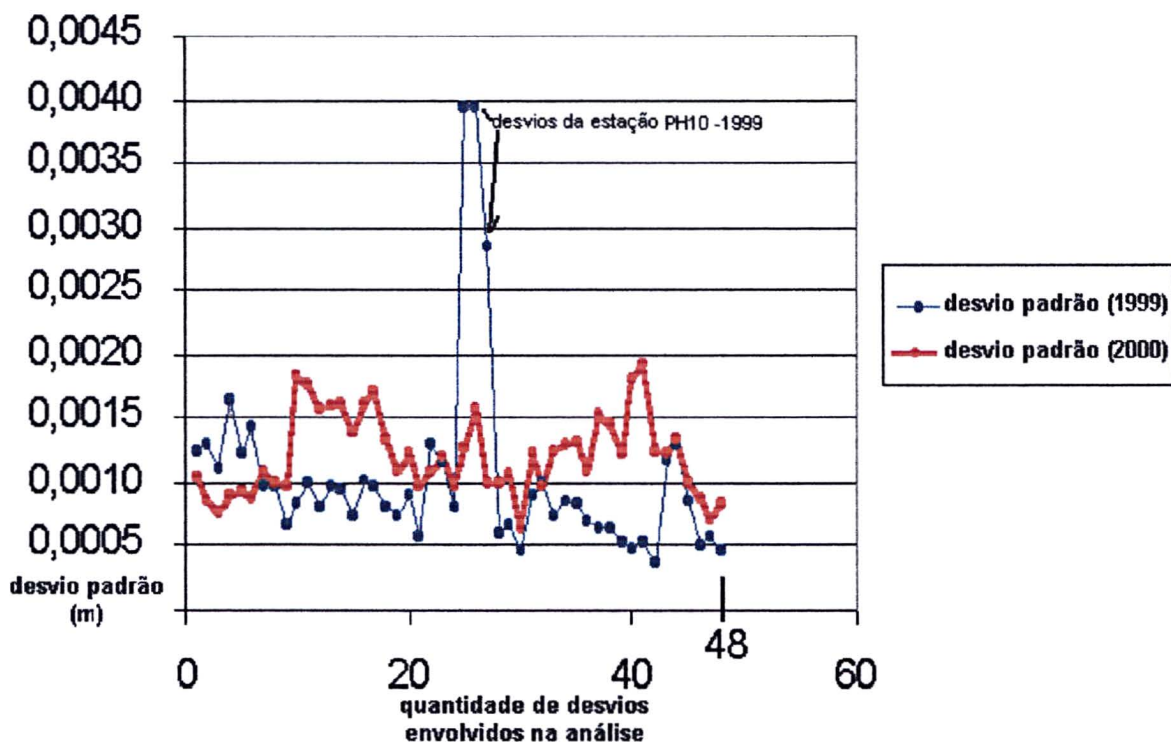


Constata-se ainda na tabela 4.2.2.2-a uma homogeneidade nas precisões para esta estação, apesar da má qualidade. A homogeneidade destas precisões foi provavelmente provocada pela localização da estação PH10. As linhas de base desta estação possuem comprimentos praticamente iguais.

Analisando-se a tabela 4.2.2.2-c percebe-se que as imprecisões obtidas nas observações ajustadas da estação PH10 também influenciaram significativamente as coordenadas desta estação. Estes desvios estão indicados em vermelho.

Mesmo com estas imprecisões, as coordenadas relativas das estações relativas atingiram precisões milimétricas (tabelas 4.2.2.2-c e 4.2.2.2-d). No entanto, no gráfico 5.2-2 percebe-se uma leve queda da precisão para a maioria das coordenadas obtidas na segunda campanha (ano 2000).

Gráfico 5.2-2 – DESVIOS PADRÃO DAS COORDENADAS RELATIVAS
DE 1999 E 2000



Tal fato pode ter sido gerado por uma influência de efeitos ionosféricos, que neste ano encontram-se mais ativos (WANNIGER, 1995, p. 232-237). Esta perda de precisão também pode ser observada nas observações, nos resíduos estimados e nas plantas de elipses e vetores de erros das coordenadas relativas (figuras 5.2-1, 5.2-2, 5.2-3 e 5.2-4). Nestas plantas, verificam-se que a maioria das elipses e vetores de erros obtidos na segunda campanha possuem dimensões maiores que as elipses e vetores obtidos na primeira campanha. Os vetores de erros estão representados pela primeira componente principal (1º COMP.) e pela segunda componente (2º COMP.).

Apesar da segunda campanha apresentar uma perda de precisão (gráfico 5.2-2), os maiores resíduos estimados foram detectados na primeira campanha (tabela 4.2.2.2-e, indicado em vermelho). Estes resíduos elevados foram gerados provavelmente pelas intensas perdas de sinal detectadas nesta época nas estações em questão (PH01 e PH02). A intensidade das perdas de sinal não depende somente do tamanho e da

posição das obstruções, mas também da geometria dos satélites rastreados, geometria esta, que varia em função do tempo.

Os índices de variância a posteriori, indicados na tabela 4.2.2.2-f, serão analisados na seção 6.1.1.

Figura 5.2-1 - ELIPSES DE ERROS DA REDE PLANIMÉTRICA (1999)

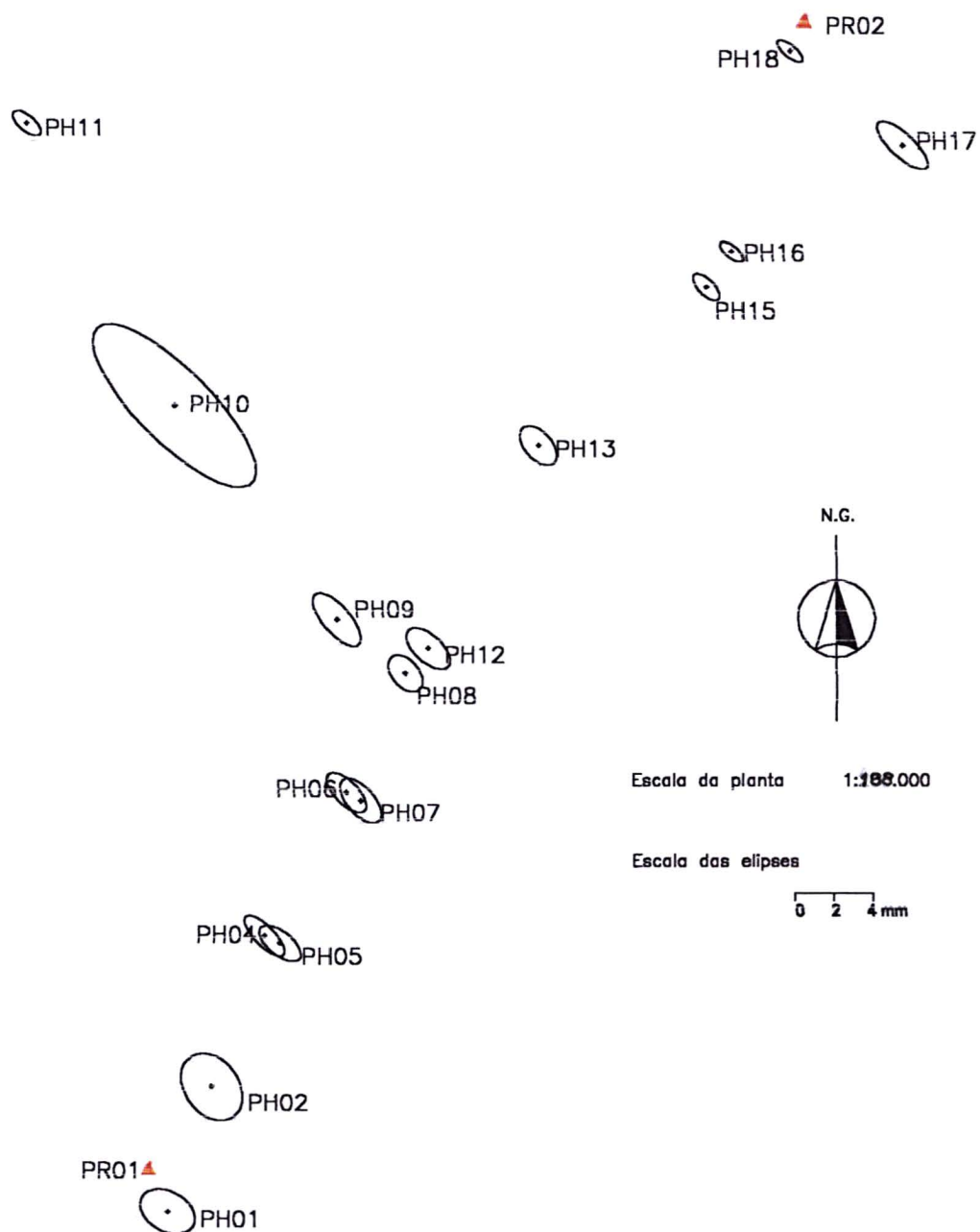


Figura 5.2-2 - ELIPSES DE ERROS DA REDE PLANIMÉTRICA (2000)

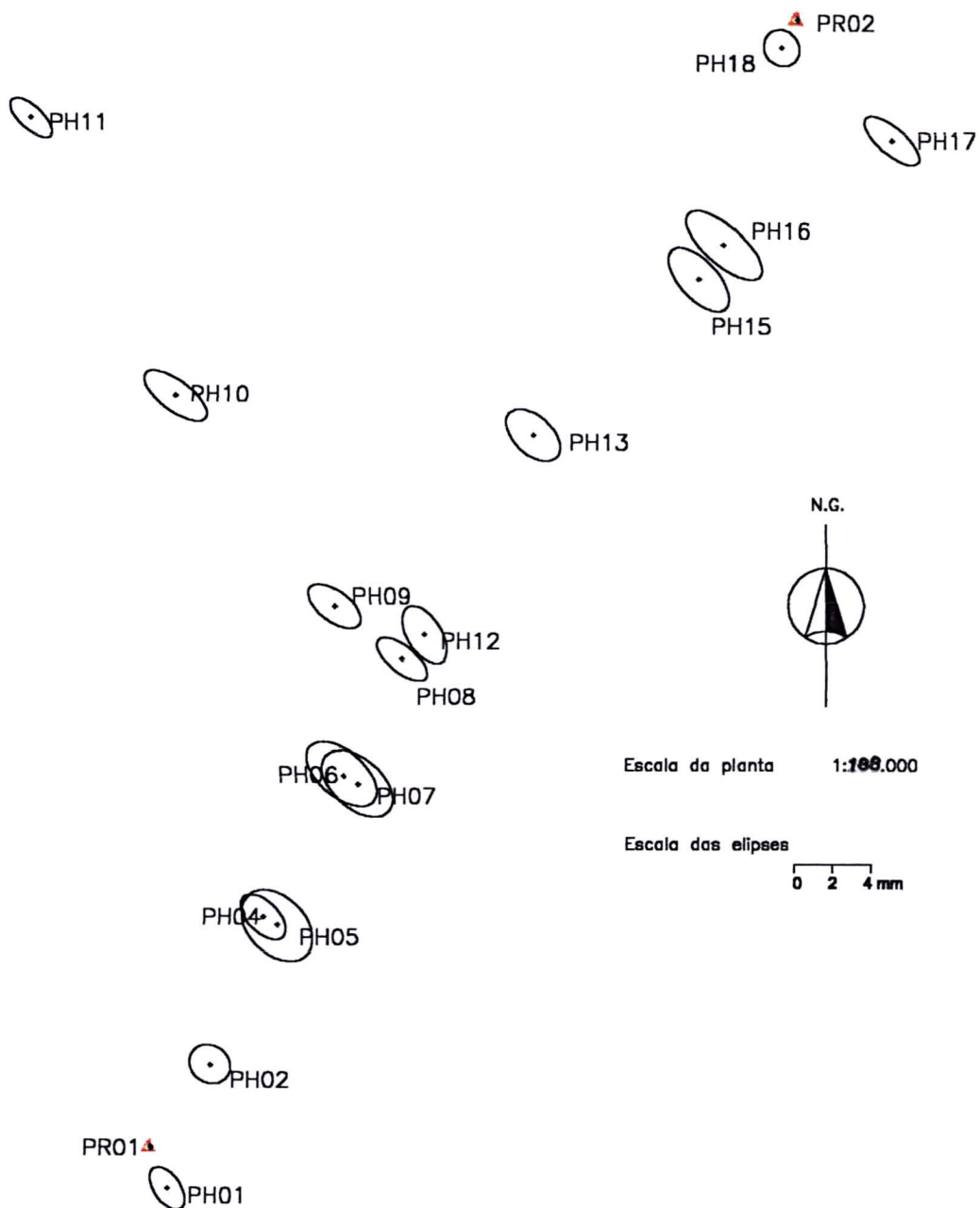


Figura 5.2-3 - VETORES DE ERROS DA REDE ALTIMÉTRICA (1999)

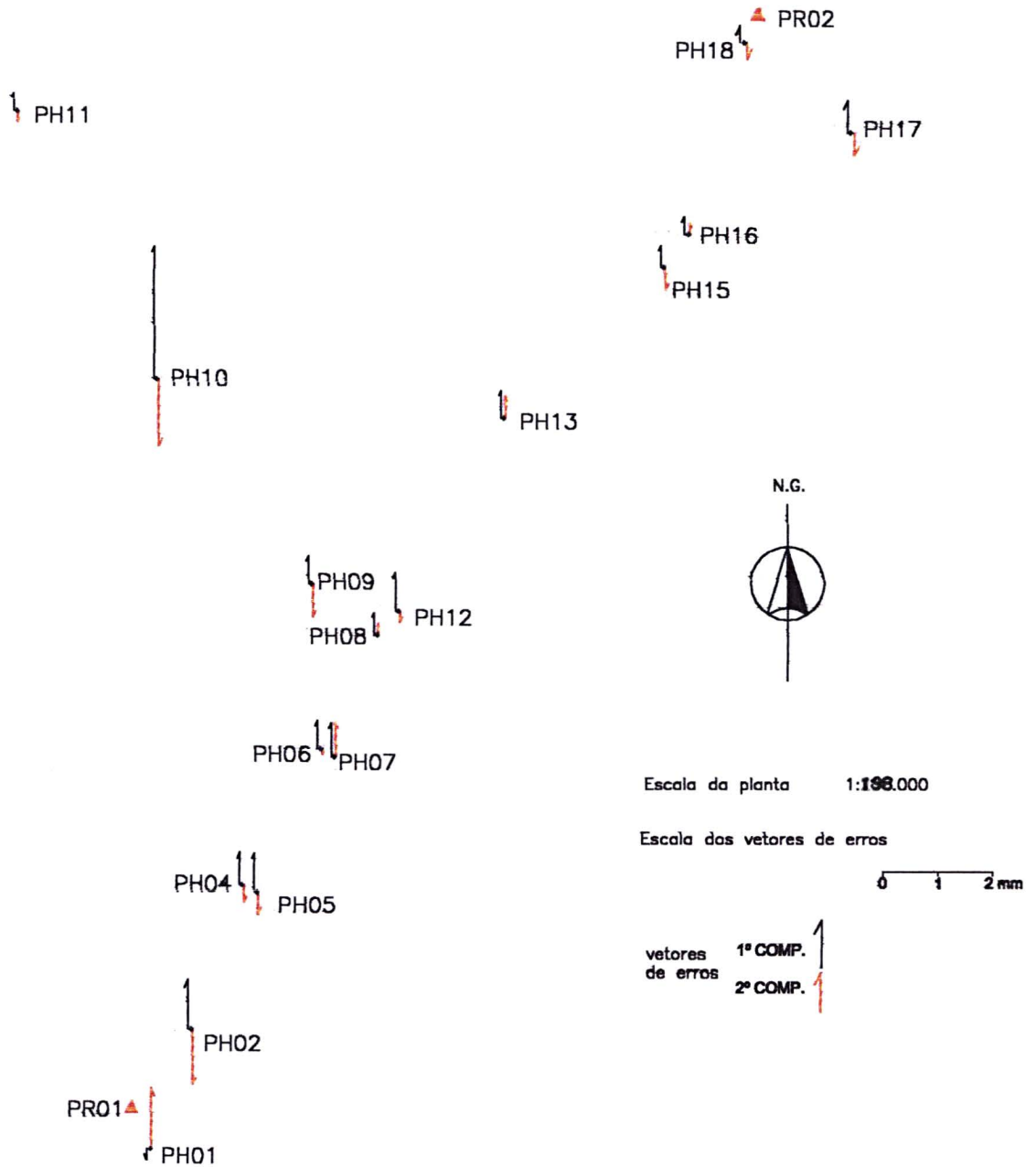
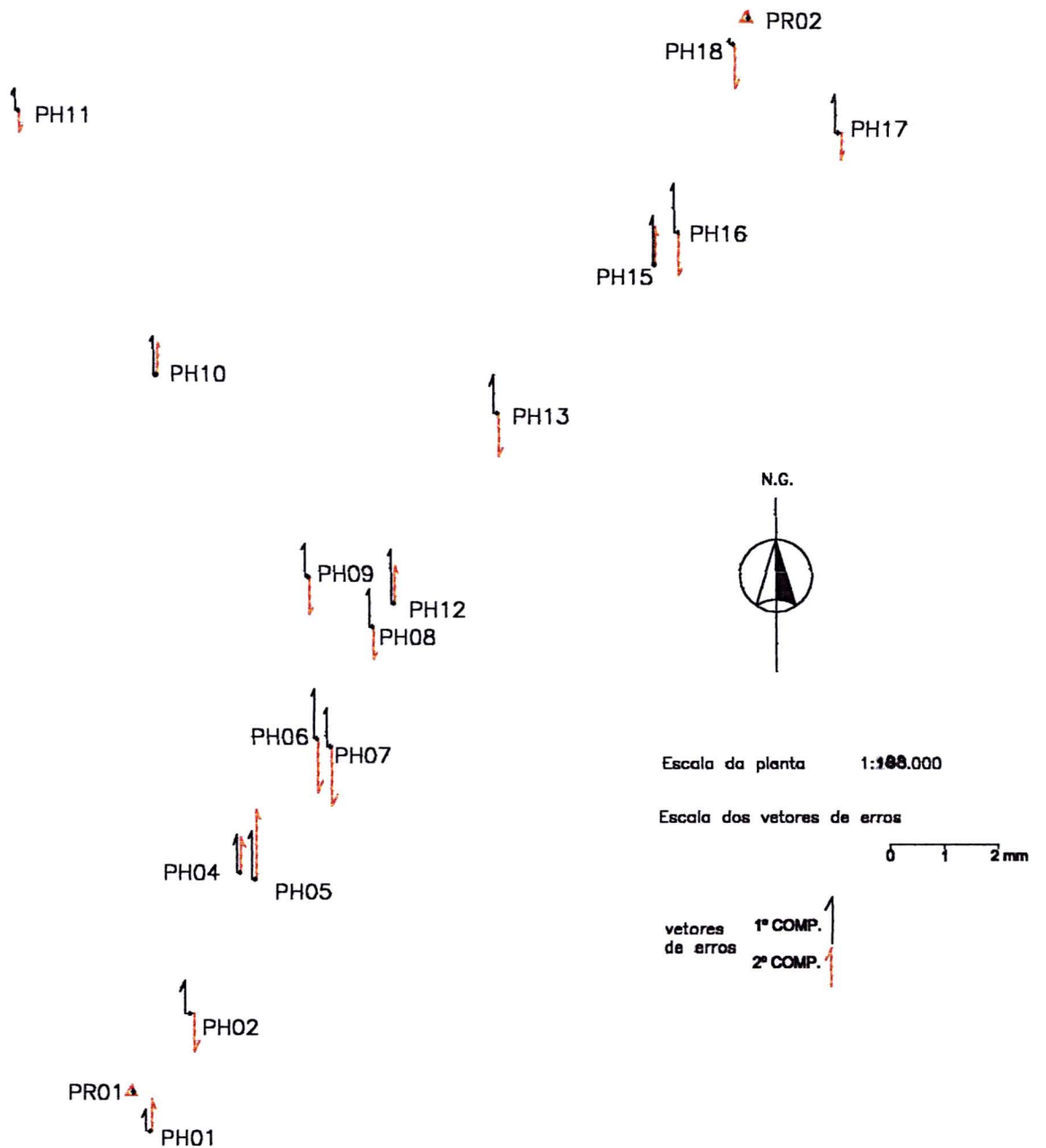


Figura 5.2-4 - VETORES DE ERROS DA REDE ALTIMÉTRICA (2000)



6.0 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS ERROS E DOS DESLOCAMENTOS ESTIMADOS NA REDE LOCAL GPS

6.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ERROS

Visando a análise estatística de possíveis erros que possam estar embutidos nas observações da rede local, foram aplicados os testes descritos na seção 2.5,. No trabalho proposto, esta etapa está dividida em 3 fases distintas:

- aplicação do teste Global, para verificar indícios de possíveis erros nas observações;
- aplicação do teste *Data Snooping*, para tentar detectar e localizar possíveis erros através dos resíduos padronizados e
- aplicação do teste de Confiabilidade, para tentar detectar e localizar possíveis erros não detectáveis no teste *Data Snooping*.

6.1.1 TESTE GLOBAL

Aplicando-se a teoria do teste Global (seção 2.5.1), foram analisados os índices de variância a posteriori ($\hat{\sigma}_0^2$) a um nível de confiança $(1-\alpha)$ de 95%. A partir das estatísticas qui-quadrado (χ^2) calculadas neste teste, foi verificado o desempenho de cada ajustamento realizado. Estes índices e suas respectivas estatísticas, referentes às duas campanhas, estão indicados na tabela 6.1.1-a.

tabela 6.1.1-a – RESULTADOS DOS TESTES GLOBAIS (1999) E (2000)

ESTAÇÕES RELATIVAS	σ_0^2	σ_0^2 (1999)	σ_0^2 (2000)	χ^2 (1999)	χ^2 (2000)	intervalo ($\alpha=5\%$) $0,21 < \chi^2 < 9,35$	
						1999	2000
PH01	225	551,7	215,2	7,36	2,87	ok	ok
PH02	225	1.136,4	344,6	15,15	4,60	-----	ok
PH04	225	408,2	341,4	5,44	4,55	ok	ok
PH05	225	600,3	1.024,5	8,00	13,66	ok	-----
PH06	225	196,0	891,4	2,61	11,89	ok	-----
PH07	225	938,8	939,5	12,52	12,53	-----	-----
PH08	225	219,7	587,4	2,93	7,83	ok	ok
PH09	225	692,7	366,0	9,24	4,88	ok	ok
PH10	225	3994,6	607,1	53,26	8,09	-----	ok
PH11	225	197,8	109,8	2,64	1,46	ok	ok
PH12	225	511,1	290,5	6,81	3,87	ok	ok
PH13	225	356,3	560,4	4,75	7,47	ok	ok
PH15	225	227,9	950,9	3,04	12,68	ok	-----
PH16	225	128,4	1.718,2	1,71	22,91	ok	-----
PH17	225	803,0	725,9	10,71	9,68	-----	-----
PH18	225	124,4	376,7	1,66	5,02	ok	ok

Os resultados em vermelho (tabela 6.1.1-a) indicam os ajustamentos que não apresentaram um bom desempenho. Provavelmente o motivo que gerou estes altos índices de variância a posteriori seja a presença de resíduos relativamente altos a um nível de 2σ em algumas observações. Os gráficos 6.1.1-1 e 6.1.1-2 mostram os histogramas dos resíduos estimados da primeira e segunda campanhas, respectivamente.

Gráfico 6.1.1-1 – HISTOGRAMA DOS RESÍDUOS ESTIMADOS EM 1999

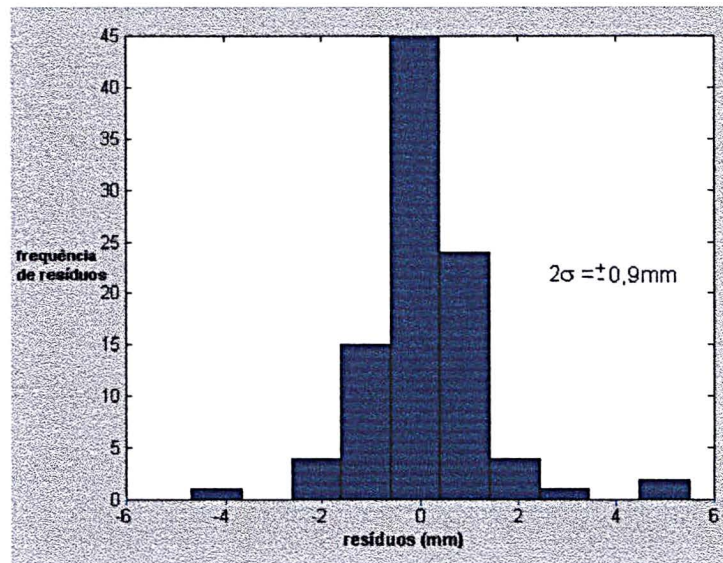
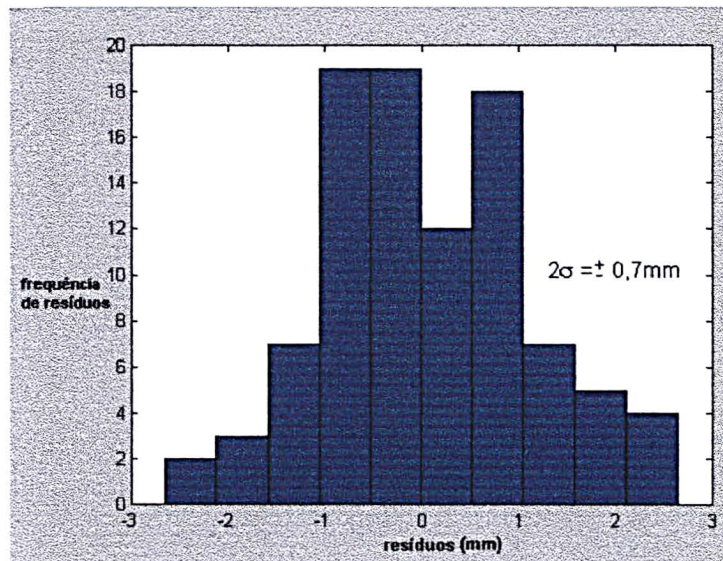


Gráfico 6.1.1-2 – HISTOGRAMA DOS RESÍDUOS ESTIMADOS EM 2000



Eles indicam que os resíduos referentes às duas campanhas tendem para uma densidade normal, o que é um bom resultado neste caso. No entanto, é possível verificar nos dois histogramas a existência de resíduos relativamente elevados a um nível de 2σ . Visando analisar especificamente estes resíduos e os outros menores, serão empregados a seguir os testes *Data Snooping* e de Confiabilidade.

6.1.2 TESTE DATA SNOOPING

Este teste encontra-se descrito na seção 2.5.2. Os resíduos padronizados calculados foram analisados a um nível de confiança $(1-\alpha)$ de 95 %. Os resultados obtidos por este teste e a aceitação das observações estão indicados na tabela 6.1.2-a.

Tabela 6.1.2-a – RESULTADOS DO TESTE DATA SNOOPING (1999) E (2000)

EST. DE REFER.	EST. RELAT.	1999						2000					
		(ω_i) Δ_x	(ω_i) Δ_y	(ω_i) Δ_z	ACEITAÇÃO DAS OBSERVAÇÕES ($\alpha=5\%$, $h=1,96$)			(ω_i) Δ_x	(ω_i) Δ_y	(ω_i) Δ_z	ACEITAÇÃO DAS OBSERVAÇÕES ($\alpha=5\%$, $h=1,96$)		
PR01	PH01	0,34	1,21	0,24	aceita	aceita	aceita	0,28	1,56	1,47	aceita	aceita	aceita
PR02		0,32	1,56	1,06	aceita	aceita	aceita	0,31	0,70	0,44	aceita	aceita	aceita
PR01	PH02	0,90	0,85	0,53	aceita	aceita	aceita	0,96	0,63	1,12	aceita	aceita	aceita
PR02		1,51	1,89	0,81	aceita	aceita	aceita	0,77	0,88	0,77	aceita	aceita	aceita
PR01	PH04	0,24	0,72	0,63	aceita	aceita	aceita	1,10	0,95	0,84	aceita	aceita	aceita
PR02		0,14	1,04	0,46	aceita	aceita	aceita	1,46	1,36	0,55	aceita	aceita	aceita
PR01	PH05	0,48	0,18	1,45	aceita	aceita	aceita	0,09	0,73	0,75	aceita	aceita	aceita
PR02		0,19	0,06	1,41	aceita	aceita	aceita	0,35	1,03	0,58	aceita	aceita	aceita
PR01	PH06	0,52	1,12	0,56	aceita	aceita	aceita	0,64	1,22	0,57	aceita	aceita	aceita
PR02		0,52	1,14	0,43	aceita	aceita	aceita	0,84	1,27	0,36	aceita	aceita	aceita
PR01	PH07	1,38	0,21	0,44	aceita	aceita	aceita	0,26	0,46	1,66	aceita	aceita	aceita
PR02		1,21	0,08	0,10	aceita	aceita	aceita	0,22	0,27	1,61	aceita	aceita	aceita
PR01	PH08	1,19	1,52	1,67	aceita	aceita	aceita	0,70	0,55	0,32	aceita	aceita	aceita
PR02		0,97	1,41	1,60	aceita	aceita	aceita	0,47	0,76	0,69	aceita	aceita	aceita
PR01	PH09	0,13	0,04	1,42	aceita	aceita	aceita	0,21	0,03	1,57	aceita	aceita	aceita
PR02		0,13	0,06	1,51	aceita	aceita	aceita	0,10	0,02	1,40	aceita	aceita	aceita
PR01	PH10	0,50	0,38	0,50	aceita	aceita	aceita	0,35	0,57	0,95	aceita	aceita	aceita
PR02		0,34	0,52	0,67	aceita	aceita	aceita	0,68	0,68	0,93	aceita	aceita	aceita
PR01	PH11	0,46	0,61	1,05	aceita	aceita	aceita	0,20	0,22	1,07	aceita	aceita	aceita
PR02		0,11	0,72	0,86	aceita	aceita	aceita	0,52	0,22	1,37	aceita	aceita	aceita
PR01	PH12	0,19	1,04	0,24	aceita	aceita	aceita	0,39	0,13	1,30	aceita	aceita	aceita
PR02		0,45	1,27	0,15	aceita	aceita	aceita	0,40	0,14	1,28	aceita	aceita	aceita
PR01	PH13	0,32	0,37	1,32	aceita	aceita	aceita	1,37	1,02	0,37	aceita	aceita	aceita
PR02		0,26	0,37	1,66	aceita	aceita	aceita	1,46	0,99	0,54	aceita	aceita	aceita
PR01	PH15	0,50	0,01	1,42	aceita	aceita	aceita	0,62	0,25	1,04	aceita	aceita	aceita
PR02		0,23	0,13	1,37	aceita	aceita	aceita	0,62	0,24	1,05	aceita	aceita	aceita
PR01	PH16	0,62	0,22	1,35	aceita	aceita	aceita	0,36	0,28	1,10	aceita	aceita	aceita
PR02		0,31	0,09	1,10	aceita	aceita	aceita	0,44	0,25	1,01	aceita	aceita	aceita
PR01	PH17	0,42	0,59	1,45	aceita	aceita	aceita	0,67	1,19	0,43	aceita	aceita	aceita
PR02		0,50	0,61	1,56	aceita	aceita	aceita	0,78	1,02	0,20	aceita	aceita	aceita
PR01	PH18	0,08	0,46	1,32	aceita	aceita	aceita	0,21	0,40	1,17	aceita	aceita	aceita
PR02		0,21	0,37	1,50	aceita	aceita	aceita	0,59	0,58	1,05	aceita	aceita	aceita

Analisando-se a tabela 6.1.2-a, verifica-se que este teste não detectou nenhum resíduo padronizado acima do valor tolerável, ou seja, não foram detectados erros significativos. Porém, em algumas estações, o teste se mostrou mais sensível, do que em outras. Por exemplo, o resíduo da observação $\Delta_{X(PR02PH01)}$ (-0,0013 m), em valor absoluto, é maior que o resíduo da observação $\Delta_{X(PR01PH02)}$ (0,0009 m) (tabela 4.2.2.2-e), no entanto, a observação $\Delta_{X(PR02PH01)}$ obteve um resíduo padronizado (0,32) – (tabela 6.1.2-a) menor que o da observação $\Delta_{X(PR01-PH02)}$ (0,90) – (tabela 6.1.2-a). Esta variação de sensibilidade detectada com este teste foi provocada provavelmente pela diferença de peso embutido em cada uma dessas observações. Lembrando-se que o desvio padrão do resíduo é obtido em função da matriz variância-covariância dos resíduos, matriz esta, ligada diretamente com o peso das observações (seção 2.2.1). Portanto, quando não se trabalha com a igualdade de pesos (GPS), é importante verificar se a variação de sensibilidade do teste não está falsificando os resultados. É válido citar que a comparação de resíduos padronizados só deve ser feita entre componentes homólogas (Δ_{Xi} com Δ_{Xj} ; Δ_{Yi} com Δ_{Yj} ; Δ_{Zi} com Δ_{Zj}), devido ao fato de que cada componente GPS possui a sua acuracidade.

No trabalho proposto, estas variações não foram significativas ao ponto de falsificar a solução do teste *Data Snooping*. Porém, visando-se obter uma certeza maior das observações ajustadas, foi realizado o teste de Confiabilidade Interna, descrito na seção 2.5.3.

6.1.3 TESTE DE CONFIABILIDADE INTERNA

Como já descrito na seção 2.5.3, a análise ou o teste de confiabilidade visa calcular um valor mínimo do possível erro embutido na observação ou num conjunto de observações. Este valor estatístico é fundamental na detecção de erros não detectáveis em testes tradicionais.

Os testes de confiabilidade referentes as duas campanhas, foram efetuados em função de ($\alpha_0 = 5\%$) e ($\beta_0 = 20\%$), ou seja, a um nível de confiança de 95% e poder do teste de 80%. Através destes valores estatísticos e da distribuição normal reduzida, foi

estimado o parâmetro de não centralidade (δ_0) (seção 2.5.3). O valor do parâmetro está indicado nas tabelas 6.1.3-b e 6.1.3-c.

Para iniciar o teste, calculou-se a priori as redundâncias parciais de todas as observações (seção 2.5.3). A tabela 6.1.3-a fornece os resultados obtidos.

Tabela 6.1.3-a – REDUNDÂNCIAS PARCIAIS

ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA	ESTAÇÕES RELATIVAS	1999			2000		
		Δ_x	Δ_y	Δ_z	Δ_x	Δ_y	Δ_z
PR01	PH01	0,10	0,19	0,25	0,16	0,38	0,36
PR02		0,90	0,81	0,75	0,84	0,62	0,64
PR01	PH02	0,29	0,11	0,24	0,42	0,24	0,41
PR02		0,71	0,89	0,76	0,58	0,76	0,59
PR01	PH04	0,68	0,49	0,56	0,46	0,34	0,48
PR02		0,32	0,51	0,44	0,54	0,66	0,52
PR01	PH05	0,63	0,53	0,58	0,47	0,27	0,44
PR02		0,37	0,47	0,42	0,53	0,73	0,56
PR01	PH06	0,39	0,29	0,36	0,54	0,40	0,52
PR02		0,61	0,71	0,64	0,46	0,60	0,48
PR01	PH07	0,61	0,47	0,55	0,60	0,38	0,54
PR02		0,39	0,53	0,45	0,40	0,62	0,46
PR01	PH08	0,29	0,42	0,36	0,62	0,48	0,54
PR02		0,71	0,58	0,64	0,38	0,52	0,46
PR01	PH09	0,67	0,53	0,59	0,53	0,47	0,58
PR02		0,33	0,47	0,41	0,47	0,53	0,42
PR01	PH10	0,54	0,45	0,46	0,68	0,48	0,58
PR02		0,46	0,55	0,54	0,32	0,52	0,42
PR01	PH11	0,59	0,50	0,55	0,17	0,20	0,17
PR02		0,41	0,50	0,45	0,83	0,80	0,83
PR01	PH12	0,61	0,47	0,54	0,52	0,49	0,54
PR02		0,39	0,53	0,46	0,48	0,51	0,46
PR01	PH13	0,41	0,38	0,34	0,66	0,64	0,64
PR02		0,59	0,62	0,66	0,34	0,36	0,36
PR01	PH15	0,65	0,58	0,64	0,53	0,52	0,52
PR02		0,35	0,42	0,36	0,47	0,48	0,48
PR01	PH16	0,87	0,87	0,85	0,77	0,57	0,67
PR02		0,13	0,13	0,15	0,23	0,43	0,33
PR01	PH17	0,63	0,53	0,54	0,85	0,74	0,81
PR02		0,37	0,47	0,46	0,15	0,26	0,19
PR01	PH18	0,62	0,52	0,61	0,77	0,87	0,74
PR02		0,38	0,48	0,39	0,23	0,13	0,26

As redundâncias parciais são grandezas que variam de 0 a 1 (LEICK, 1995, p. 161-163), como mostra a tabela 6.1.3-a. Os valores de redundância próximos de zero, podem indicar erros significativos, já que nestes casos o resíduo não reflete suficientemente o possível erro embutido na observação (seção 2.5.3 – equação 2.5.3.6).

Na seqüência, foram calculados os possíveis erros significativos (∇I_i) e seus respectivos valores mínimos (∇I_{0i}), referentes às duas campanhas. Estes valores podem ser observados nas tabelas 6.1.3-b e 6.1.3-c.

Tabela 6.1.3-b – TESTE DE CONFIABILIDADE INTERNA (1999) em (m)

EST. DE REFER.	EST. REL.	1999 ($\alpha_0=5\%$, $\beta_0=20\%$, $\delta_0=2,80$)						ACEITAÇÃO DA OBS.		
		(Vl_0) Δ_x	(Vl_0) Δ_y	(Vl_0) Δ_z	(Vl_i) Δ_x	(Vl_i) Δ_y	(Vl_i) Δ_z	Δ_x	Δ_y	Δ_z
PR01	PH01	0,0075	0,0058	0,0048	0,0014	0,0038	0,0007	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0077	0,0065	0,0055	0,0014	0,0066	0,0034	aceita	não aceita	aceita
PR01	PH02	0,0044	0,0048	0,0042	0,0030	0,0067	0,0018	aceita	não aceita	aceita
PR02		0,0053	0,0046	0,0043	0,0065	0,0062	0,0028	não aceita	não aceita	aceita
PR01	PH04	0,0040	0,0043	0,003	0,0004	0,0016	0,0009	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0043	0,0037	0,0027	0,0003	0,0017	0,0006	aceita	aceita	aceita
PR01	PH05	0,0029	0,0036	0,003	0,0008	0,0004	0,0024	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0029	0,0033	0,0028	0,0003	0,0001	0,0022	aceita	aceita	aceita
PR01	PH06	0,0059	0,0064	0,0046	0,0010	0,0024	0,0008	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0065	0,0062	0,0048	0,0012	0,0023	0,0007	aceita	aceita	aceita
PR01	PH07	0,0027	0,0027	0,0024	0,0028	0,0004	0,0008	não aceita	aceita	aceita
PR02		0,0030	0,0026	0,0022	0,0030	0,0002	0,0002	não aceita	aceita	aceita
PR01	PH08	0,0047	0,005	0,0034	0,0021	0,0026	0,0021	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0045	0,0054	0,0033	0,0015	0,0028	0,0018	aceita	aceita	aceita
PR01	PH09	0,0042	0,0039	0,0027	0,0003	0,0001	0,0023	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0045	0,0036	0,0026	0,0004	0,0001	0,0023	aceita	aceita	aceita
PR01	PH10	0,0050	0,0054	0,0039	0,0037	0,0032	0,0031	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0054	0,0051	0,0037	0,0029	0,0059	0,0038	aceita	não aceita	não aceita
PR01	PH11	0,0037	0,0041	0,0029	0,0006	0,0008	0,0010	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0038	0,0039	0,0028	0,0001	0,0009	0,0008	aceita	aceita	aceita
PR01	PH12	0,0035	0,0040	0,0029	0,0004	0,0024	0,0004	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0035	0,0035	0,0027	0,0009	0,0023	0,0002	aceita	aceita	aceita
PR01	PH13	0,0040	0,0039	0,0035	0,0006	0,0007	0,0022	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0038	0,0036	0,0032	0,0004	0,0006	0,0024	aceita	aceita	aceita
PR01	PH15	0,0037	0,0038	0,0032	0,0007	0,0001	0,0016	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0038	0,0036	0,0031	0,0003	0,0002	0,0015	aceita	aceita	aceita
PR01	PH16	0,0051	0,0057	0,004	0,0009	0,0003	0,0015	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0053	0,0059	0,0039	0,0005	0,0002	0,0012	aceita	aceita	aceita
PR01	PH17	0,0035	0,0040	0,0026	0,0010	0,0016	0,0022	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0037	0,0037	0,0025	0,0013	0,0015	0,0021	aceita	aceita	aceita
PR01	PH18	0,0040	0,0045	0,0036	0,0001	0,0006	0,0013	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0041	0,0042	0,0035	0,0002	0,0004	0,0014	aceita	aceita	aceita

Tabela 6.1.3-c – TESTE DE CONFIABILIDADE INTERNA (2000) em (m)

EST. DE REFER.	EST. REL.	2000 ($\alpha_0=5\%$, $\beta_0=20\%$, $\delta_0=2,80$)						ACEITAÇÃO DA OBS.		
		(∇I_0) Δ_x	(∇I_0) Δ_y	(∇I_0) Δ_z	(∇I_i) Δ_x	(∇I_i) Δ_y	(∇I_i) Δ_z	Δ_x	Δ_y	Δ_z
PR01	PH01	0,0082	0,0049	0,0047	0,0009	0,0026	0,0026	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0077	0,0064	0,0053	0,0008	0,0017	0,0009	aceita	aceita	aceita
PR01	PH02	0,0041	0,005	0,0042	0,0017	0,0014	0,0021	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0046	0,0048	0,0042	0,0016	0,0019	0,0015	aceita	aceita	aceita
PR01	PH04	0,0049	0,0049	0,0044	0,0023	0,0021	0,0016	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0051	0,0045	0,0046	0,0021	0,0038	0,0010	aceita	aceita	aceita
PR01	PH05	0,0046	0,0055	0,0041	0,0003	0,0034	0,0023	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0052	0,0048	0,0043	0,0014	0,0036	0,0019	aceita	aceita	aceita
PR01	PH06	0,0043	0,0048	0,0039	0,0019	0,0048	0,0015	aceita	não aceita	aceita
PR02		0,0047	0,0044	0,0040	0,0029	0,0045	0,0010	aceita	não aceita	aceita
PR01	PH07	0,0043	0,0052	0,0036	0,0030	0,0002	0,0002	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0048	0,0045	0,0037	0,0008	0,0008	0,0044	aceita	aceita	não aceita
PR01	PH08	0,0038	0,0045	0,0034	0,0015	0,0015	0,0006	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0040	0,0041	0,0033	0,0011	0,0018	0,0013	aceita	aceita	aceita
PR01	PH09	0,0048	0,0055	0,0043	0,0005	0,0001	0,0030	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0048	0,0052	0,0044	0,0002	0,0001	0,0029	aceita	aceita	aceita
PR01	PH10	0,0045	0,0058	0,0035	0,0009	0,0021	0,0019	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0049	0,0051	0,0035	0,0021	0,0019	0,0019	aceita	aceita	aceita
PR01	PH11	0,0041	0,0052	0,0062	0,0006	0,0011	0,0022	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0044	0,0053	0,0066	0,0013	0,0007	0,0026	aceita	aceita	aceita
PR01	PH12	0,0061	0,0049	0,0061	0,0010	0,0003	0,0032	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0061	0,0047	0,0062	0,0010	0,0003	0,0032	aceita	aceita	aceita
PR01	PH13	0,0049	0,0050	0,0041	0,0038	0,0029	0,0009	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0049	0,0048	0,0041	0,0040	0,0026	0,0012	aceita	aceita	aceita
PR01	PH15	0,0042	0,0040	0,0034	0,0019	0,0007	0,0026	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0042	0,0040	0,0034	0,0019	0,0007	0,0026	aceita	aceita	aceita
PR01	PH16	0,0040	0,0043	0,0028	0,0014	0,0013	0,0030	aceita	aceita	não aceita
PR02		0,0045	0,0037	0,0027	0,0022	0,0009	0,0031	aceita	aceita	não aceita
PR01	PH17	0,0049	0,0050	0,0038	0,0021	0,0036	0,0010	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0055	0,0048	0,0040	0,0031	0,0033	0,0005	aceita	aceita	aceita
PR01	PH18	0,0051	0,0048	0,0045	0,0005	0,0009	0,0025	aceita	aceita	aceita
PR02		0,0046	0,0046	0,0042	0,0014	0,0012	0,0024	aceita	aceita	aceita

Analisando-se as tabelas 6.1.3-b e 6.1.3-c, verifica-se que os resultados encontrados foram satisfatórios, visto que, o teste apresentado foi capaz de detectar erros não detectados no teste anterior (seção 6.1.2). As redundâncias parciais (tabela

6.1.3-a) auxiliaram na detecção de erros, principalmente na observação $\Delta_{Y(PR01-PH02)}$. Verifica-se na tabela 4.2.2.2-e que o resíduo referente a esta observação (-0,0008) possui um valor dentro do intervalo correspondente a 2σ (figura 6.1.1-1). No entanto, foi possível comprovar estatisticamente através do teste de Confiabilidade Interna que este resíduo corresponde somente a uma pequena parte do provável erro significativo. Este resultado indicou a importante contribuição da redundância parcial na detecção do provável erro significativo na observação $\Delta_{Y(PR01-PH02)}$. Algumas redundâncias com valores baixos não refletiram erros significativos devido aos valores relativamente baixos encontrados nos resíduos correspondentes.

Para verificar a influência dos erros detectados nas coordenadas, foram calculadas as medidas de confiabilidade externa das estações reprovadas nos testes de confiabilidade interna. Na tabela 6.1.3-d observa-se estas influências.

Tabela 6.1.3-d – MEDIDAS DE CONFIABILIDADE EXTERNA DAS ESTAÇÕES REPROVADAS NO TESTE DE CONFIABILIDADE INTERNA

ESTAÇÕES RELATIVAS	1999			2000		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
PH01	0,0014	0,0040	0,0009			
PH02	0,0040	0,0067	0,0022			
PH06				0,0024	0,0046	0,0012
PH07	0,0029	0,0003	0,0005	0,0016	0,0008	0,0026
PH10	0,0034	0,0045	0,0036			
PH16	0,0021	0,0010	0,0031			

Os resultados obtidos na tabela 6.1.3-d indicam as propagações dos erros significativos nas coordenadas. A maioria dos erros indicados em negrito não estão refletidos nas coordenadas ajustadas, o que valoriza mais o teste de Confiabilidade.

Os erros que causaram os desvios relativamente altos encontrados nas observações da estação PH10 foram somente detectados neste teste. As influências destes erros nas coordenadas estão indicadas na tabela 6.1.3-d.

Como as observações GPS são correlacionadas entre si, decidiu-se aceitar para as análises posteriores, somente as estações que obtiveram 100% de aprovação.

6.2 ANÁLISES DOS DESLOCAMENTOS ESTIMADOS

6.2.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DESLOCAMENTOS

Todas as observações aprovadas nos testes de detecção de erros foram utilizadas nesta etapa. A metodologia utilizada na estimativa dos deslocamentos baseia-se no processo dos mínimos quadrados (seção 2.6). A tabela 6.2.1-a fornece os deslocamentos estimados nas direções das componentes (X, Y, Z) e seus respectivos desvios padrão. Os dados envolvidos na estimativa dos deslocamentos estão indicados em anexo.

Tabela 6.2.1-a – DESLOCAMENTOS ESTIMADOS

ESTAÇÕES RELATIVAS	PERÍODO: AGOSTO/1999 - FEVEREIRO/2000					
	X (m)	σ_x (m)	Y (m)	σ_y (m)	Z (m)	σ_z (m)
PH04	0,0490	0,0015	-0,0469	0,0014	-0,0407	0,0012
PH05	0,0431	0,0017	-0,0569	0,0018	-0,0432	0,0017
PH08	0,0301	0,0014	-0,0268	0,0016	-0,0126	0,0011
PH09	0,0199	0,0016	-0,0234	0,0017	-0,0242	0,0014
PH11	0,0502	0,0013	-0,0511	0,0013	-0,0349	0,0009
PH12	0,0332	0,0016	-0,0046	0,0014	-0,0238	0,0016
PH13	0,0240	0,0016	-0,0344	0,0016	-0,0290	0,0013
PH15	0,0332	0,0016	-0,0313	0,0016	-0,0338	0,0013
PH17	0,0296	0,0015	-0,0216	0,0017	-0,0347	0,0013
PH18	0,0029	0,0010	0,0092	0,0010	0,0052	0,0010

Para verificar as significâncias dos deslocamentos, os mesmos foram testados estatisticamente de duas maneiras:

- através do teste utilizado no processo de estimativa dos deslocamentos (seção 2.6) e
- através da análise de sensibilidade (seção 2.7).

Apesar dos dois testes se basearem na mesma distribuição de probabilidade, as estatísticas utilizadas são distintas. No primeiro teste, a estatística é aplicada discretamente, ou seja, o deslocamento referente a cada componente (X, Y, Z) é testado isoladamente. No segundo, os deslocamentos em cada estação são testados globalmente. As tabelas 6.2.1-b e 6.2.1-c indicam os resultados dos respectivos testes.

Tabela 6.2.1-b – ESTATÍSTICA APLICADA NO PROCESSO DE ESTIMATIVA DOS DESLOCAMENTOS

ESTAÇÕES RELATIVAS	Hipótese Nula F_0			$F(\alpha=5\%) (w_1+ w_2= 6) m_1 = 1$ Condição: $F_0 < F(1, 6, 5) = 6,0$		
	X	Y	Z	X	Y	Z
PH04	832,6	1111,6	1009,8	-----	-----	-----
PH05	496,3	799,	625,1	-----	-----	-----
PH08	456,9	277,5	227,6	-----	-----	-----
PH09	130,2	173,6	312,9	-----	-----	-----
PH11	1377,3	1241,1	1446,6	-----	-----	-----
PH12	398,1	10,1	218,9	-----	-----	-----
PH13	232,8	487,4	475,9	-----	-----	-----
PH15	427,6	369,9	664,3	-----	-----	-----
PH17	282,8	126,7	652,6	-----	-----	-----
PH18	7,5	73,1	29,5	-----	-----	-----

Tabela 6.2.1-c – ESTATÍSTICAS APLICADAS NA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

ESTAÇÕES RELATIVAS	Hip. Nula F_0	Hip. Altern. F_A	HIP. NULA ($\alpha_0=5\%$, $w_1=3$, $w_2=3$) Condição: $F_0 > (3; 3; 5) = 9,3$	HIP. ALTERNAT. ($\alpha_0=5\%$, $\beta_0=20\%$) Condição: $F_A > \lambda_0=7,8$
PH04	511,7	1535,2	ok	ok
PH05	320,5	961,4	ok	ok
PH08	155,1	465,5	ok	ok
PH09	116,1	348,0	ok	ok
PH11	633,3	1900,0	ok	ok
PH12	222,7	668,0	ok	ok
PH13	211,1	633,4	ok	ok
PH15	247,2	741,8	ok	ok
PH17	242,0	725,9	ok	ok
PH18	60,9	182,6	ok	ok

Na tabela 6.2.1-b, é possível verificar que nenhuma estatística obedeceu a condição imposta pela hipótese nula, ou seja, todos os deslocamentos analisados foram considerados significativos. Mesmo sendo globais, as estatísticas indicadas na tabela 6.2.1-c também comprovaram a existência de deslocamentos significativos em todas as estações.

Nota-se que os valores estatísticos variaram de acordo com magnitude e precisão dos deslocamentos. Por exemplo, a estação PH18 possui deslocamentos relativamente pequenos (tabela 6.2.1-a). Os deslocamentos desta estação foram indicados pelos dois testes com estatísticas próximas do valor mínimo (tabelas 6.2.1-b e 6.2.1-c), o que comprova estatisticamente os pequenos deslocamentos encontrados nesta estação. Porém, nas estações PH04 e PH05, as estatísticas tiveram diferenças consideráveis, mesmo sabendo-se que os deslocamentos destas estações não possuem diferenças tão significativas. Provavelmente esta variação encontrada nas estatísticas das duas estações (PH04 e PH05) foi gerada pela diferença de precisão dos deslocamentos estimados entre as estações envolvidas. Isto também se repetiu no segundo teste. Como estes deslocamentos são bem significativos, as influências da diferença de precisão entre as estações PH04 e PH05 não chegaram a falsificar nenhuma das estatísticas aplicadas. No entanto, é válido lembrar que quando se trabalha com deslocamentos muito próximos do valor mínimo, estas influências podem falsificar o resultado da estatística. Nestes casos, é importante verificar o peso e a precisão dos deslocamentos.

Após comprovado estatisticamente as significâncias dos deslocamentos, calculou-se as respectivas sensibilidades. Elas fornecem estatisticamente os valores mínimos de cada deslocamento estimado (seção 2.7). Através destes valores é possível verificar fisicamente o quanto os deslocamentos são significativos.

No trabalho proposto, as sensibilidades foram representadas em forma de elipses na rede horizontal e em forma de vetores na rede vertical. Para definir as direções (vetores) e as regiões (elipses) de sensibilidade, foram utilizadas a primeira e segunda componentes principais. A tabela 6.2.1-d fornece as sensibilidades nas direções das componentes principais.

Tabela 6.2.1-d – DESLOCAMENTOS MÍNIMOS DETECTÁVEIS

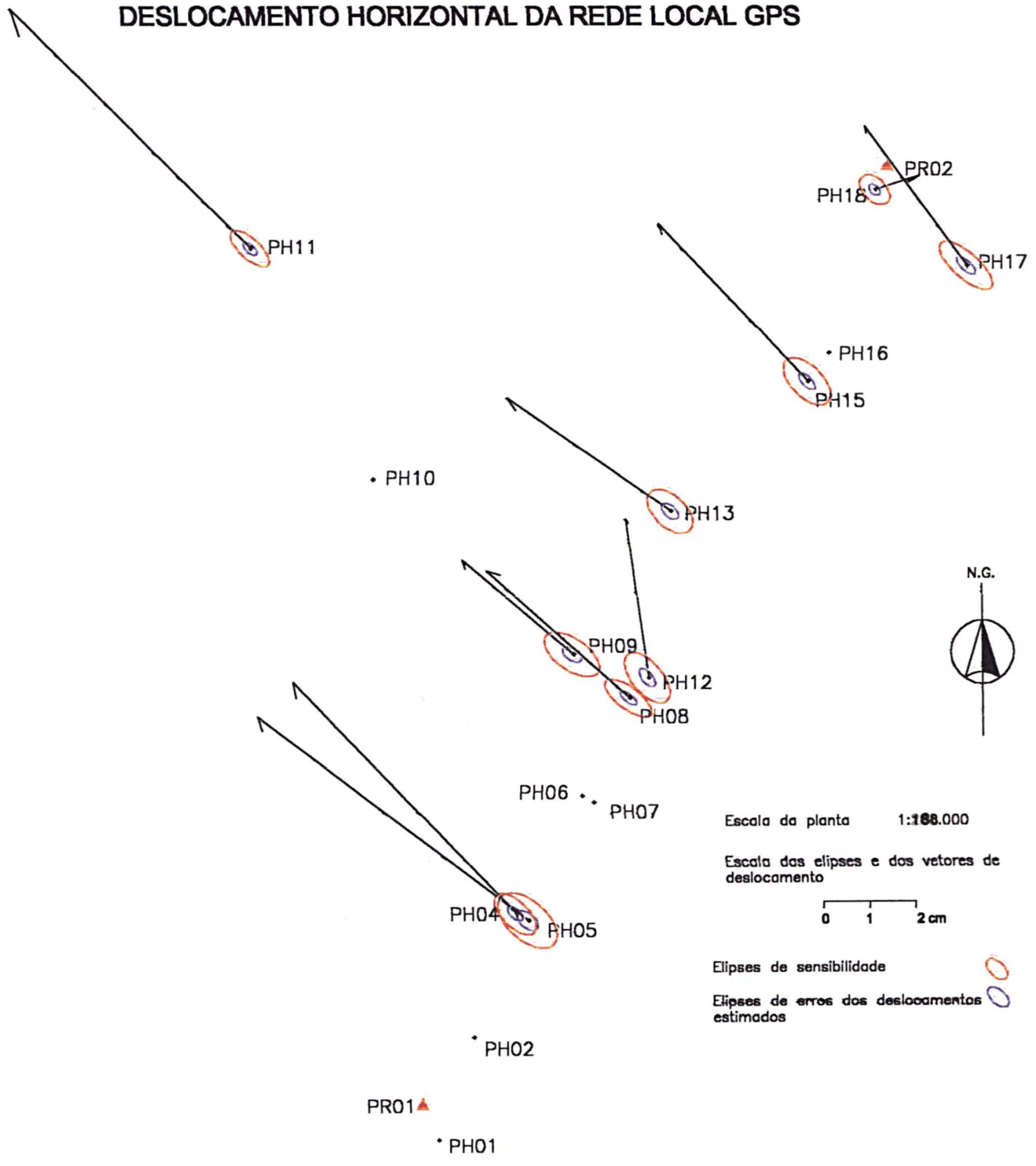
ESTAÇÕES RELATIVAS	PERÍODO: FEVEREIRO/2000 - AGOSTO/1999			
	SENSIBILIDADE NO PLANO (X,Y) (m) ($\alpha_0=5\%,\beta_0=20\%$) $\lambda_0=7,8$		SENSIBILIDADE NO PLANO (Z) (m) ($\alpha_0=5\%,\beta_0=20\%$) $\lambda_0=7,8$	
	1º COMP.	2º COMP.	1º COMP.	2º COMP.
PH04	0,0057	0,0027	0,0024	-0,0023
PH05	0,0075	0,0041	-0,0031	-0,0034
PH08	0,0059	0,0023	0,0023	0,0016
PH09	0,0067	0,0033	-0,0023	-0,0028
PH11	0,0052	0,0016	-0,0016	-0,0015
PH12	0,0065	0,0036	-0,0032	-0,0027
PH13	0,0058	0,0023	0,0031	-0,0027
PH15	0,0062	0,0027	0,0027	0,0023
PH17	0,0071	0,0028	0,0028	-0,0025
PH18	0,0038	-0,0015	-0,0015	-0,0020

Os sinais negativos na tabela 6.2.1-d indicam somente que a componente (Z) está abaixo do plano horizontal.

Correlacionando as tabelas 6.2.1-a e 6.2.1-d, verifica-se que a magnitude da sensibilidade varia de acordo com a dispersão (desvio padrão) dos deslocamentos estimados. Quanto menor o desvio padrão do deslocamento estimado, menor é o valor mínimo de deslocamento detectável, seja ela obtida pela primeira componente principal ou pela segunda componente. Isto indica que quanto mais preciso for o deslocamento da estação envolvida, menor é a medida de sensibilidade, ou seja, maior é a capacidade da estação em detectar deslocamentos. Tal fato encontra-se claramente ilustrado nas figuras 6.2.1-1 e 6.2.1-3. Na figura 6.2.1-1, observa-se as elipses de sensibilidade e de erros dos deslocamentos horizontais estimados da rede local GPS.

Na figura 6.2.1-2, observa-se os vetores de sensibilidade e de deslocamento vertical pertencentes a mesma rede. Nesta figura, percebe-se as significâncias dos deslocamentos verticais em relação aos deslocamentos verticais mínimos detectáveis. Os vetores de sensibilidade e de erros dos deslocamentos verticais encontram-se indicados na figura 6.2.1-3. Observa-se nesta figura o mesmo tipo de variação indicada na figura 6.2.1-1.

Figura 6.2.1-1 - ELIPSES DE SENSIBILIDADE E DE ERROS DOS DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS ESTIMADOS E VETORES DE DESLOCAMENTO HORIZONTAL DA REDE LOCAL GPS



Escala da planta 1:100.000

Escala das elipses e dos vetores de deslocamento

0 1 2 cm



Elipses de sensibilidade 
 Elipses de erros dos deslocamentos estimados 

Figura 6.2.1-2 - VETORES DE SENSIBILIDADE E DE DESLOCAMENTO VERTICAL DA REDE LOCAL GPS

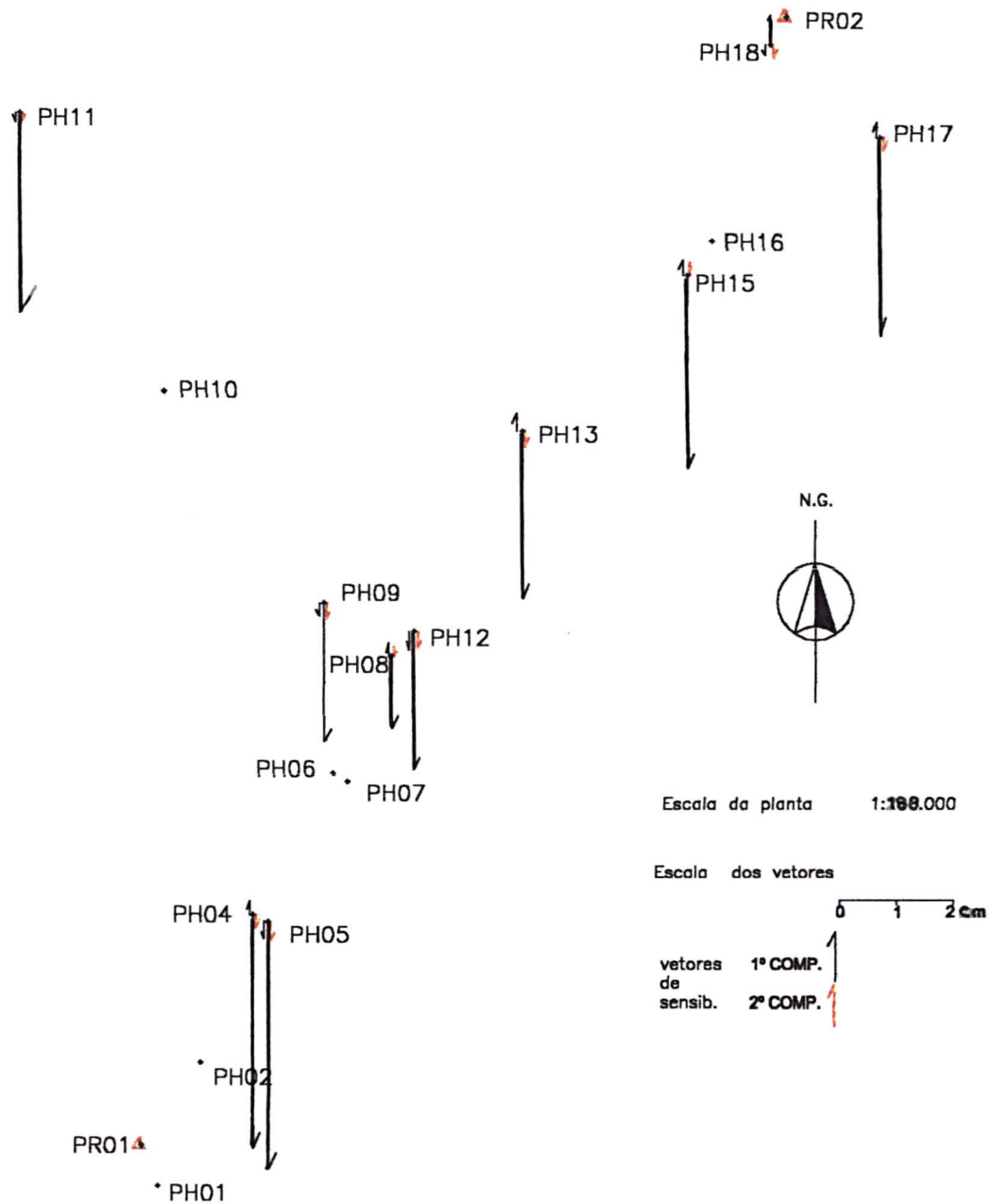
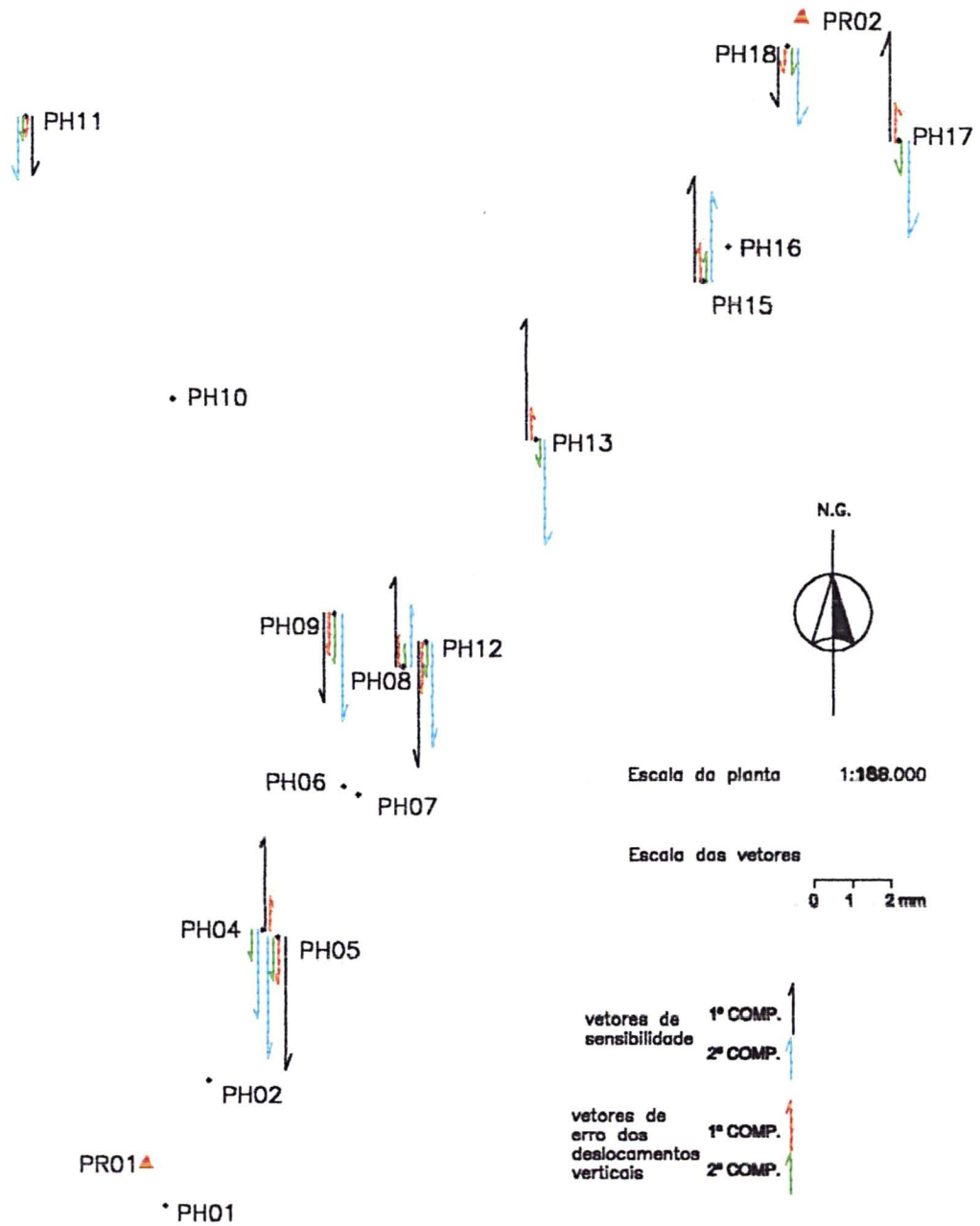


Figura 6.2.1-3 - VETORES DE SENSIBILIDADE E DE ERROS DOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS ESTIMADOS DA REDE LOCAL GPS



Para tentar correlacionar os deslocamentos estimados com alguma influência geológica local, a seguir serão descritas algumas características geológicas básicas da região em estudo.

6.2.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DA REGIÃO EM ESTUDO

O litoral paranaense possui algumas características que o diferem dos demais estados da costa sul e sudeste brasileira. A Serra do Mar, que se estende do estado do Espírito Santo à Santa Catarina, encontra-se bem interiorizada no Estado do Paraná. A situação geográfica da Serra do Mar no estado, possibilitou a formação de duas grandes baías, a de Paranaguá e a de Guaratuba (SOARES, *et. al.*, 1997).

A Serra do Mar é composta por uma grande diversidade de rochas ígneas e metamórficas com idade aproximada de 600.000.000 de anos (SOARES, *et. al.*, 1997), ou seja, esta região é composta de rochas muito antigas. As rochas ígneas são resultantes de uma solidificação da fusão dos silicatos e as metamórficas, do metamorfismo de rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares, que sofrem transformação mineralógica na estrutura e na textura (BIGARELLA, 1999). Segundo, BASEI, *et. al.*, (1990) e SIGA JÚNIOR (1995, p. 400-401), a época de resfriamento destas rochas ocorreu no período de 560.000.000 à 500.000.000 de anos.

Durante a era Mesozóica, caracterizada pelo rompimento do grande continente denominado de Gondwana, iniciou-se a abertura do Oceano Atlântico e conseqüentemente a formação das cordilheiras dos Andes. Neste período ocorreram movimentações significativas da crosta, provocados por grandes falhamentos associados a grande intensidade vulcânica da época (BIGARELLA, 1999, p. 60).

A formação da cadeia de montanhas da Serra do Mar ocorreu no período Terciário. Neste período, as rochas que estavam localizadas na crosta em grandes profundidades, foram soerguidas, dando origem ao maciço rochoso que forma a Serra do Mar. Desde então, esta cadeia de montanhas vem sofrendo intensa erosão e modificação na paisagem através de processos intempéricos (climáticos) (BIGARELLA, 1999, p. 60).

Os estudos científicos relativos ao comportamento de placas e micro-placas no litoral paranaense como um todo, não citam nenhuma taxa anual de deslocamento horizontal e vertical. A provável inexistência destas taxas talvez seja devido à ausência de sismógrafos na região. Estes equipamentos permitem detectar e datar qualquer tipo de abalo sísmico que por ventura possa acontecer.

Mesmo sabendo-se que a estrutura rochosa do litoral paranaense é muito antiga, ou seja, que geologicamente esta região é considerada estável tectonicamente, existem registros de abalos sísmicos ocorridos no litoral paranaense nos séculos passados (SANTOS, 1951-1952, p.127).

6.2.3 ANÁLISE FINAL DOS DESLOCAMENTOS ESTIMADOS

Analisando os deslocamentos aparentes estimados no período de agosto de 1999 à fevereiro de 2000, verificou-se que as magnitudes dos mesmos ultrapassaram valores geológicos aceitáveis para a região, mesmo sem saber oficialmente a taxa anual de deslocamento horizontal e vertical. Os principais motivos que descartaram a hipótese da existência destes deslocamentos foram: as características geológicas da região (seção 6.2.2) e o curto período de tempo decorrido entre as campanhas realizadas. Entretanto, lembrando-se que indícios destes movimentos já foram detectados no passado, não se descarta a hipótese de que atualmente possam ocorrer lentas movimentações na região em estudo.

7.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÕES

O objetivo principal dessa dissertação consistiu na apresentação de uma metodologia empregada na análise da estabilidade de uma rede local GPS. Ele foi alcançado com os dados coletados em levantamentos GPS realizados no litoral paranaense.

Os testes estatísticos empregados na análise dos erros e na análise dos deslocamentos mostraram-se fundamentais na análise da estabilidade da rede em questão.

Em particular, o teste de confiabilidade mostrou-se muito eficaz a um nível de confiança de 95% e poder do teste de 80%. Através deste teste, foi possível detectar e localizar erros embutidos nas observações não detectados no teste *Data Snooping*.

A análise de sensibilidade não só mostrou os deslocamentos mínimos detectáveis, mas também a capacidade de cada estação em detectar deslocamentos. As figuras 6.2.1-1 e 6.2.1-3 e as tabelas de sensibilidade (6.2.1-d) e de erros dos deslocamentos estimados (6.2.1-a) comprovam que quanto mais preciso for o deslocamento estimado, menor será o valor mínimo correspondente (sensibilidade), ou seja, maior será a capacidade da estação envolvida em detectar deslocamentos.

É importante citar que quando se trabalha com deslocamentos muito próximos do valor mínimo, as variações de peso e de precisão encontradas nas observações GPS podem falsificar o resultado das estatísticas aplicadas na análise dos deslocamentos estimados. Nestes casos, é importante verificar a matriz dos pesos (\mathbf{P}_d) e a matriz variância-covariância dos deslocamentos (\sum_d). Tais variações também foram observadas no teste *Data Snooping*.

Mesmo considerando-se os ótimos resultados obtidos pelos ajustamentos de 1999 e de 2000 e a eficiência alcançada nos testes de confiabilidade, conclui-se que,

com base nas informações geológicas locais, os deslocamentos aparentes estimados não foram provocados pela movimentação do solo da região em estudo.

Analisando-se que 90% dos deslocamentos horizontais e verticais variaram aproximadamente para um mesmo sentido e que suas magnitudes ultrapassaram valores aceitáveis para deslocamentos na região, constata-se que os desvios que geraram os deslocamentos aparentes foram provocados por algum efeito sistemático.

Acredita-se que com este trabalho, foi possível contribuir na apresentação de uma metodologia a ser empregada no estudo da estabilidade de redes geodésicas pela comunidade técnico-científica. Ele descortina novos horizontes e perspectivas para análises futuras de redes geodésicas.

7.2 RECOMENDAÇÕES

Durante as campanhas GPS, deve-se realizar estudos paralelos para tentar detectar e estimar possíveis efeitos sistemáticos no período de rastreamento, (por ex.: efeitos atmosféricos: troposfera e ionosfera).

Realizar monitoramentos na região em estudo através de sismógrafos para tentar detectar e datar qualquer tipo de abalo sísmico que por ventura possa acontecer durante a realização das campanhas. Estes monitoramentos poderão ser mais úteis, se realizados também no período que intercala as campanhas envolvidas.

Realização de novas campanhas GPS na área em estudo, visando verificar o comportamento dos desvios (deslocamentos aparentes) ao longo dos anos.

ANEXO
(DADOS UTILIZADOS NA ESTIMATIVA DOS DESLOCAMENTOS)

**DIFERENÇAS ENTRE AS OBSERVAÇÕES AJUSTADAS REFERENTES ÀS
CAMPANHAS DE 1999 E DE 2000**

ESTAÇÕES DE REF.	ESTAÇÕES RELATIVAS	Diferenças entre as observações ajustadas (1999 e 2000)		
		Δ_x (m)	Δ_y (m)	Δ_z (m)
PR01	PH04	0,0491	-0,0467	-0,0412
PR02		0,0490	-0,0471	-0,0403
PR01	PH05	0,0429	-0,0569	-0,0433
PR02		0,0433	-0,0569	-0,0431
PR01	PH08	0,0306	-0,0264	-0,0124
PR02		0,0294	-0,0271	-0,0129
PR01	PH09	0,0201	-0,0234	-0,0247
PR02		0,0198	-0,0235	-0,0239
PR01	PH11	0,0503	-0,0511	-0,0350
PR02		0,0499	-0,0514	-0,0347
PR01	PH12	0,0331	-0,0042	-0,0236
PR02		0,0333	-0,0049	-0,0239
PR01	PH13	0,0241	-0,0341	-0,0291
PR02		0,0239	-0,0344	-0,0290
PR01	PH15	0,0334	-0,0314	-0,0336
PR02		0,0331	-0,0313	-0,0340
PR01	PH17	0,0292	-0,0220	-0,0352
PR02		0,0296	-0,0214	-0,0345
PR01	PH18	0,0031	0,0091	0,0050
PR02		0,0029	0,0092	0,0053

VARIÂNCIAS A POSTERIORI ESTIMADAS ENTRE 1999 E 2000

ESTAÇÕES RELATIVAS	$\bar{\sigma}_0^2$
PH04	374,8
PH05	812,3
PH08	403,5
PH09	529,3
PH11	153,7
PH12	400,8
PH13	458,3
PH15	589,4
PH17	764,5
PH18	250,6

MATRIZES DOS PESOS ESTIMADAS ENTRE AS CAMPANHAS DE 1999 E DE 2000

ESTAÇÕES DE REF.	ESTAÇÕES RELATIVAS	MATRIZES DOS PESOS DAS OBSERVAÇÕES ($P_{d_{obs}}$)		
		Δ_x (m)	Δ_y (m)	Δ_z (m)
PR01	PH04	172325331,7297	132390260,7819	17626682,7543
		132390260,7819	248721443,6590	-74482033,5904
		17626682,7543	-74482033,5904	179915028,4508
172315615,3235		103557326,2674	31388514,1291	
103557326,2674		185166532,6611	-63814830,0439	
31388514,1291		-63814830,0439	183215711,7697	
PR02	PH05	211724817,8519	149173043,6487	-3142198,0820
		149173043,6487	273511560,1037	-102358117,5979
		-3142198,0820	-102358117,5979	198699950,3100
197646397,7301		126182663,6644	-9680796,8888	
126182663,6644		188369188,4941	-75264275,7144	
-9680796,8888		-75264275,7144	177017082,3619	
PR01	PH08	230862781,9536	103884976,2130	72492631,5342
		103884976,2130	185751026,7814	-83704945,3656
		72492631,5342	-83704945,3656	287203011,0084
183304628,0869		105790917,7791	28817652,2783	
105790917,7791		161484545,8894	-68399176,4861	
28817652,2783		-68399176,4861	223266684,6213	
PR01	PH09	140993862,7330	92489711,6976	24631644,3951
		92489711,6976	162147402,1241	-39820477,2999
		24631644,3951	-39820477,2999	154577074,4551
179132318,9510		109070871,4220	2821061,2836	
109070871,4220		181674032,1113	-76801595,0329	
2821061,2836		-76801595,0329	213233422,7651	
PR01	PH11	185145008,8575	104681453,3274	95779421,9626
		104681453,3274	135909799,0112	-4305772,0172
		95779421,9626	-4305772,0172	226559594,9127
21990606,3589		8409852,3884	-5159889,9171	
8409852,3884		19626902,2634	-15881778,2797	
-5159889,9171		-15881778,2797	47439782,5037	
PR01	PH12	134915029,9939	89071720,1378	32289012,6370
		89071720,1378	188016260,3682	-39390256,5759
		32289012,6370	-39390256,5759	107709460,8149
145369332,1905		84941603,5516	36386160,6597	
84941603,5516		182465579,6744	-42006991,9913	
36386160,6597		-42006991,9913	122600386,7966	
PR01	PH13	147761765,3636	101336162,7712	3745070,0109
		101336162,7712	185737694,2163	-74813312,2775
		3745070,0109	-74813312,2775	170631903,9077
183459378,6260		131103455,0105	-28546047,1024	
131103455,0105		239201996,1616	-104677410,8457	
-28546047,1024		-104677410,8457	190907360,0620	
PR01	PH15	192664137,6844	112239306,7623	50979151,8379
		112239306,7623	223529603,2035	-77974774,7854
		50979151,8379	-77974774,7854	230398776,9589
252856376,5777		150299722,3419	48148866,7433	
150299722,3419		289777206,9503	-111936361,8712	
48148866,7433		-111936361,8712	306317925,2769	
PR01	PH17	127093139,6950	83407612,7576	17489434,4420
		83407612,7576	157490795,5531	-70903363,5609
		17489434,4420	-70903363,5609	181942451,6720
445461179,7259		231023894,7191	147383857,3475	
231023894,7191		343821895,8955	-120058686,8066	
147383857,3475		-120058686,8066	521000404,5501	
PR01	PH18	108463564,5842	62890671,6204	19184144,4096
		62890671,6204	117498002,0386	-37552376,0587
		19184144,4096	-37552376,0587	109292953,3784
269263708,8810		189044584,7549	-57876814,3095	
189044584,7549		325038573,4314	-130348757,3987	
-57876814,3095		-130348757,3987	241914790,0811	

MATRIZES COFATORAS DOS DESLOCAMENTOS ESTIMADOS

ESTAÇÕES RELATIVAS	MATRIZES COFATORAS DOS DESLOCAMENTOS ESTIMADOS (Q_d)		
	X	Y	Z
PH04	5,9535081579276e-09	-3,9763356585813e-09	-2,3179726517668e-09
	-3,9763356585813e-09	5,2789560400286e-09	2,5471926122741e-09
	-2,3179726517668e-09	2,5471926122741e-09	4,0367957677078e-09
PH05	4,6074885610994e-09	-3,2832450899160e-09	-1,3949222486071e-09
	-3,2832450899160e-09	4,9857454375397e-09	2,2449847316938e-09
	-1,3949222486071e-09	2,2449847316938e-09	3,6752991212412e-09
PH08	4,9141251308714e-09	-3,9041604862532e-09	-2,1385996531714e-09
	-3,9041604862532e-09	6,4139761162004e-09	2,6860043277449e-09
	-2,1385996531714e-09	2,6860043277449e-09	3,1837628781872e-09
PH09	5,7473614211770e-09	-3,9383836683046e-09	-1,6777201608640e-09
	-3,9383836683046e-09	5,9577659025956e-09	2,1829890658318e-09
	-1,6777201608640e-09	2,1829890658318e-09	3,5361760372642e-09
PH11	1,1897709477414e-08	-9,2500485676951e-09	-4,6164363506663e-09
	-9,2500485676951e-09	1,3683012678507e-08	4,0673872684349e-09
	-4,6164363506663e-09	4,0673872684349e-09	5,4761069204657e-09
PH12	6,9085325457461e-09	-4,0087828273991e-09	-3,4768316264503e-09
	-4,0087828273991e-09	5,2525818919455e-09	3,0517564774045e-09
	-3,4768316264503e-09	3,0517564774045e-09	6,4572861753449e-09
PH13	5,3986140851044e-09	-3,5386433293807e-09	-1,3864683473417e-09
	-3,5386433293807e-09	5,2971871763846e-09	2,3871104211064e-09
	-1,3864683473417e-09	2,3871104211064e-09	3,8559529900897e-09
PH15	4,3732363377738e-09	-2,9175340790372e-09	-1,8400442207619e-09
	-2,9175340790372e-09	4,1879909229630e-09	2,0207224488592e-09
	-1,8400442207619e-09	2,0207224488592e-09	2,9180340919376e-09
PH17	4,0523793172560e-09	-3,2389505349060e-09	-1,8303703372351e-09
	-3,2389505349060e-09	4,8138122389042e-09	2,0674111401730e-09
	-1,8303703372351e-09	2,0674111401730e-09	2,4135336719858e-09
PH18	4,4834473000025e-09	-2,8890313579972e-09	-8,8721020254271e-10
	-2,8890313579972e-09	4,6220100100976e-09	1,8913489103016e-09
	-8,8721020254271e-10	1,8913489103016e-09	3,6537665191092e-09

MATRIZES VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DOS DESLOCAMENTOS ESTIMADOS

ESTAÇÕES RELATIVAS	MATRIZES VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DOS DESLOCAMENTOS ESTIMADOS ($\sum d$)		
	X	Y	Z
PH04	2,2315147686579e-06	-1,4904240511454e-06	-8,6883062365089e-07
	-1,4904240511454e-06	1,9786767824839e-06	9,5474765165766e-07
	-8,6883062365089e-07	9,5474765165766e-07	1,5130859208953e-06
PH05	3,7430085465891e-06	-2,6672262489937e-06	-1,1331999698156e-06
	-2,6672262489937e-06	4,0502949787848e-06	1,8237694844514e-06
	-1,1331999698156e-06	1,8237694844514e-06	2,9857211449691e-06
PH08	1,9829945147190e-06	-1,5754439747955e-06	-8,6298807386428e-07
	-1,5754439747955e-06	2,5882286505204e-06	1,0838820149224e-06
	-8,6298807386428e-07	1,0838820149224e-06	1,2847422797497e-06
PH09	3,0421646616950e-06	-2,0846455863670e-06	-8,8804246184826e-07
	-2,0846455863670e-06	3,1535349116457e-06	1,1554888767688e-06
	-8,8804246184825e-07	1,1554888767688e-06	1,8717510505708e-06
PH11	1,8294216107512e-06	-1,4223106373848e-06	-7,0983481657531e-07
	-1,4223106373848e-06	2,1039343027969e-06	6,2541165442767e-07
	-7,0983481657531e-07	6,2541165442767e-07	8,4201991669929e-07
PH12	2,7690089963804e-06	-1,6067602837651e-06	-1,3935489177754e-06
	-1,6067602837651e-06	2,1052873988380e-06	1,2231745431811e-06
	-1,3935489177754e-06	1,2231745431811e-06	2,5881449343019e-06
PH13	2,4743009988995e-06	-1,6218363799691e-06	-6,3544827666708e-07
	-1,6218363799691e-06	2,4278148641982e-06	1,0940640702071e-06
	-6,3544827666708e-07	1,0940640702071e-06	1,7672662251249e-06
PH15	2,5776008590798e-06	-1,7196048344255e-06	-1,0845285271263e-06
	-1,7196048344255e-06	2,4684165608903e-06	1,1910209094240e-06
	-1,0845285271263e-06	1,1910209094240e-06	1,7198995437853e-06
PH17	3,0979711300544e-06	-2,4761194506361e-06	-1,3992852144705e-06
	-2,4761194506361e-06	3,6800729088031e-06	1,5804986465447e-06
	-1,3992852144705e-06	1,5804986465447e-06	1,8451030991563e-06
PH18	1,1234331424470e-06	-7,2391473791627e-07	-2,2231137764306e-07
	-7,2391473791627e-07	1,1581532875523e-06	4,7392194166366e-07
	-2,2231137764306e-07	4,7392194166366e-07	9,1553711411488e-07

8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUGATH, W. (1982): **Accuracy and Reliability Measures Concerning Design and Qualification of Densification Networks**. In: Borry, K & Welsh, W. M. (Herausgegeben): *Proceedings Survey Control Networks*. Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen Hochschule der Bundeswehr München, Heft 7, Seite 51-63.
- BAARDA, W. (1968): **A Testing Procedure for use in Geodetic in Networks**. Publications on Geodesy, News Series, 2(5), Netherlands Geodetic Commission.
- BARSOTTI, L. (1948): **Geometria analítica e vetores**. 3. ed. Curitiba: Unificado, v.2.
- BASEI, M. A. S.; SIGA JR.; NETO, O. R.; J.M. (1990): **O Batólito de Paranaguá. Proposição, idade, considerações petrogenéticas e implicações tectônicas**. XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Natal (RN).
- BERNESE GPS SOFTWARE VERSION 4.0 (1996): Astronomical Institute University of Berne - ed. ROTHACHER, M.; MERVART, L. Switzerland.
- BEUTLER, G.; BROCKMANN, E.; GURTNER, W.; HUGENTOBLE, U.; MERVART, L.; ROTACHER, M. (1994): **Extended Orbit Modeling Techniques at the CODE Processing Center on the International GPS Service for Geodynamics (IGS): Theory and Initial Results**. *Manuscripta Geodaetica*, 19, p. 367-386.
- BIGARELLA, J. J. (1999): In: MELO, J. A. 1999. **Serra do Mar**. Curitiba, Ex-Libris.
- BOLDRINI, J. L.; COSTA, S. I. R.; FIGUEIREDO, V. L.; WELTZLER, H. G. (1978): **Algebra Linear**. 3. ed. São Paulo: Harper & Row.
- BRONSON, R. (1993): **Matrizes**. Lisboa: McGraw-Hill.
- CHEN, Y. Q.; CHRZANOWSKI, A. (1990): **Integration of GPS with levelling in ground subsidence studies: mathematical modelling**. *Proceedings, 8 th Int. Symp. On Geodetic Computations*, J. CHEN, ed., Int. Academic Publishers, Beijing, China, p. 21-29.
- CHRZANOWSKI, A.; CHEN, Y. Q.; SECORD, J. M. (1986): **Geometrical Analysis of Deformation Surveys**. *Proceedings of the Deformation Measurements Workshop – Modern Methodolgy in Precise Engineering and Deformation Surveys II*. ed. BOCK, Y. Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Canada.
- DANA, P. H. (1998): [http:// www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html](http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html)

- DIVIS D. A. (2000): **SA: Going the Way of the Dinosaur**. GPS World, June 2000.
- DUPRAZ, H.; NIEMEIER, W. (1981): **Beurteilungskriterien für geodätischer Netze**. In: Beiträge zum II. Internationalen Symposium über Deformationsmessungen mit geodätischen Methoden. Bonn 25-28. September 1978. Herausgegeben von Ludger Hallermann, Bonn. Stuttgart: Wittwer., S., 386-400.
- GEMAEL, C. (1994): **Introdução ao Ajustamento de Observações: aplicações geodésicas**. 1.ed. Curitiba: UFPR.
- GEONAP **REFERENZ HANDBUCH** (1992): GEOSPACE-Gesellschaft für Satellitengestützte geodätische und Navigatorische Technologien mbH, Germany.
- GNRT, GPS-Positionierung in Echtzeit (1996): **Technical Manual**, GEO++-Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und navigatorische Technologien mbH, Garbsen, Alemanha.
- HECK, B. (1986): **Sensitivitätsanalyse geodätischer Deformationsnetze**. AVN (Allgemeine Vermessungs-Nachrichten), 93, Heft 5, Seite 171-178.
- HOFMANN-WELLNHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. (1994): **GPS: theory and practice**. 3ª edição revisada. New York: Springer-Verlag Wien.
- JÄGER, R. (1988): **Analyse und Optimierung geodätischer Netze nach spektralen Kriterien und mechanische Analogien**. DGK, R. C, H.342.
- JOHNSON, R. A.; Wichern, D. W. (1988): **Applied Multivariate Statistical Analysis**, Prentice Hall., Englewood NJ.
- KRUEGER, C. P. (1996): **Investigações sobre Aplicações de Alta Precisão do GPS no Âmbito Marinho**. Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (UFPR), como requisito parcial à obtenção do grau de Doutora.
- KUANG, S. (1996): **Geodetic network analysis and optimal design: concepts and applications**. Chelsea: Ann Arbor Press.
- LEICK, A. (1995): **GPS Satellite Surveying**. John Wiley & Sons, Inc: New York.
- MONICO, J. F. G (1997): Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS, descrição, fundamentos e aplicações. Presidente Prudente: Departamento de Cartografia - UNESP.
- MORRISON, D. F. (1976): **Multivariate statistical methods**. 2.ed. Tokyo: McGraw-Hill.

- NIEMEIER, W. (1982): **Principal Component Analysis and geodetic networks: some basic considerations**. In: Borre/Welsch (Hrsg.): Proceedings Survey Control Networks. Schriftenreihe Vermessungswesen der HSBw, München, Heft 7.
- NIEMEIER, W.; HOLLMANN, R. (1984): **Hauptkomponenten-und Sensitivitätsanalyse geodätischer Netze aufgezeigt am Überwachungsnetz "Varna"**. In: Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 133, 61-72.
- NIEMEIER, W.; TESKEY, W. P.; LYALL, R. G. (1982): **Precision, Reliability and Sensitivity Aspects of an Open Pit Monitoring Network**. Australian Journal of Geodesy, Fotogrammetry and Surveying. n° 37. University of Calgary, Canada; p. 11-15.
- PELZER, H. (1971): **Analyse geodätischer Deformationsmessungen**. Deutsche Geos. Kom., Series C, N. 164, München 1971.
- PELZER, H. (1980): **Some Criteria for Accuracy and the Reliability of Networks**. In: Beiträge aus der Bundesrepublik Deutschland zur Vorlage bei der XVII. Generalversammlung der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysic vom 2. Bis 14. December 1979 in Canberra/Australien. DGK Reihe B: Angewandte Geodäsie, Heft Nr.252, p. 55-67.
- SANTOS, V. A. (1951-1952): **Memoria historica, chronologica, topographica e descritiva da cidade de Paranaguá e seu município**. Curitiba, Museu Paranaense, 2 vols. (publ. Dos mms de Anônio Vieira dos Santos, 1850).
- SCHAER, S.; BEUTLER, G. MERVART, L.; ROTHACHER, M.; WILD, U. (1995): **Global and Regional Ionosphere Models Using the GPS Double Diference Phase Observable**. IGS Workshop Proceedings on Special Topics and New Directions. Edited by GENDT, G. and DICK, G, p. 77-92, GeoforschungsZentrum, Potsdam, Germany.
- SCHAER, S.; BEUTLER, L.; ROTHACHER, M; SPRINGER, T. A. (1996): **Daily Global Ionosphere Maps Based on GPS Carrier Phase Data Routinely**. Produced by the CODE Analysis Center, presented at the IGS Analysis Center Workshop, NOAA, SPRING, S., MD , USA.
- SECORD, J. M. (1985): **Implementation of a generalized method for the analysis of deformation surveys**. Department of Surveying Engineering Technical Report N° 117, University of New Brunswick, Fredericton, N. B.
- SEEBER, G. (1993): **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Aplications**. Walter de Gruyter: Berlin; New York: Walter de Gruyter.

- SIGA, JR. (1995): **Domínios tectônicos da região sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e evolução crustal.** Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP).
- SOARES, C. R.; ANGULO, R. J. & LESSA, G. C. (1997): **Morfodinâmica de ambientes atuais, evolução da planície durante o Quaternário e problemas de erosão costeira.** Publicação Especial nº 2 do VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e Reunião sobre o Quaternário da América do Sul, Curitiba.
- von HAHN, M.; von MIERLO, J. (1986): **Statistische Grundlagen für die Analyse von Ausgleichungsergebnissen.** In: Unveränderte Vervielfältigung der Sonder heftes 33. Jahrgang der Mitteilungen der Deutschen Vereins für Vermessungswesen (DNN) mit Genehmigung die. DVW – Londes Vereins vom 6.10.1993.
- WANNIGER, L. (1995): **Einfluss ionosphärischer Störungen auf präzise GPS-Messungen in Nitleuropa.** GPS-Leistungsbilanz'94, Beiträge zum 34. DVW-Seminar, p. 218-232, 05.-07. Geodätischen Institut, Universidade de Karlsruhe.
- WÜBBENA, G. (1991): **ZUR Modellierung von GPS-Beobachtungen für die hochgenaue Positionsbestimmung.** Tese, Nr. 168, Institut für Erdmessung, Universität Hannover.
- ZHANG, Z.; LI, X. (1990): **A New Optimization Method for Monitoring Networks based on the Sensitivity Criterion.** ZfV (Zeitschriften für Vermessungswesen 115/6, p. 247-255.