

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

MAURÍCIO DOS SANTOS SILVA

**ANÁLISE DO EMPREGO DE LINHAS DE BASE TRIVIAIS NO
AJUSTAMENTO DE REDES GPS**



Recife, 2008

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

MAURÍCIO DOS SANTOS SILVA

**ANÁLISE DO EMPREGO DE LINHAS DE BASE TRIVIAIS NO
AJUSTAMENTO DE REDES GPS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Departamento de Engenharia Cartográfica - Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Geodésia Aplicada.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Verônica Maria Costa Romão

Recife
2008

S586a

Silva, Mauricio dos Santos.

Análise do emprego de linhas de base triviais no ajustamento de Redes GPS / Mauricio dos Santos Silva. - Recife: O Autor, 2008.

vi, 67 folhas.; il., gráfs., tabs., mapas.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2008.

Inclui Referências e Anexos.

1. Geociências. 2. Ajustamento de Rede GPS. 3. Linhas de Base Triviais. 4. Incertezas. I. Título.

551 CDD (22. ed.)

UFPE/BCTG/2009-044

ANÁLISE DO EMPREGO DE LINHAS DE BASE TRIVIAIS NO AJUSTAMENTO DE REDES GPS

POR

MAURÍCIO DOS SANTOS SILVA

Dissertação defendida e aprovada em 05.09.2008.

Banca Examinadora:



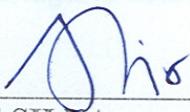
Prof. Dr.ª. VERÔNICA MARIA DA COSTA ROMÃO (Orientadora)

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Prof. Dr. DANIEL CARNEIRO DA SILVA

Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Prof. Dr. ANTÔNIO SIMÕES SILVA

Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa

AGRADECIMENTOS

À Marinha do Brasil, pela oportunidade de viver tão proveitoso período de minha carreira e por ter me proposto um tema de pesquisa que, a cada dia, tornou-se mais empolgante.

A todos os meus amigos de mestrado, em especial o Engenheiro Civil Glauber Carvalho, companheiro na maioria dos trabalhos de disciplinas. Essa parceria certamente multiplicou meu rendimento.

À Prof^a. Verônica Romão que, com seu modo tranqüilo e sereno de me orientar, depositou confiança em meu modo de trabalhar e, dentro de seu alcance, facilitou o andamento das etapas desta pesquisa.

À Coordenação de Geodésia do IBGE, na pessoa do Engenheiro Agrimensor Alberto Silva, ex-aluno deste mestrado, pela atenção que dispensou a mim, desde as pequenas dúvidas sobre procedimentos adotados pelo órgão, passando pela autorização para uso do programa que desenvolveu como parte de sua dissertação e pela gentileza em processar meus dados em um programa científico.

Ao CMG (RM1) Roberto Fernandes, participante incansável em todas as fases deste curso. Foi sua atitude como Hidrógrafo e como professor no Curso de Hidrografia para Oficiais que me serviram de estímulo para fazer este mestrado.

Finalmente, à Daniella, minha esposa, que mesmo sentindo minha ausência nesse período e lamentando ser o assunto da pesquisa algo tão distante de seu cotidiano, incentivou-me incessantemente desde o momento da inscrição para o curso, passando pelos dias de maior aperto, até chegar a este resultado final.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE ABREVIATURAS	vi
RESUMO	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. POSICIONAMENTO POR GPS	6
2.1. INTRODUÇÃO	6
2.2. SISTEMAS DE REFERÊNCIA	7
2.3. A REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO (RBMC).....	8
2.4. CARACTERÍSTICAS DOS SINAIS GPS.....	9
2.5. ERROS QUE AFETAM AS OBSERVAÇÕES	11
2.6. PRINCIPAIS FONTES DE ERROS NAS MEDIÇÕES GPS	12
2.6.1. Erros Associados aos Satélites	12
2.6.2. Erros Resultantes da Propagação do Sinal	13
2.6.3. Erros Oriundos do Receptor	15
2.7. PROCESSAMENTO DE DADOS GPS	16
2.7.1. Princípios de Ajustamento	16
2.7.2. Modelos Funcionais das Observáveis GPS	18
3. ESTRATÉGIAS DE AJUSTAMENTO DE REDES GPS	20
3.1. INTRODUÇÃO	20
3.2. LINHAS DE BASE TRIVIAIS E LINHAS DE BASE INDEPENDENTES	21
3.3. CORRELAÇÕES	23
3.4. PROGRAMAS DE PROCESSAMENTO/AJUSTAMENTO	24
3.5. DESDOBRAMENTOS DO USO DAS LB TRIVIAIS	25
4. EXPERIMENTOS REALIZADOS	28
4.1. INTRODUÇÃO	28
4.2. AJUSTAMENTO DE SESSÃO VARIANDO O NÚMERO DE RECEPTORES ...	32
4.2.1. Três Receptores	32
4.2.2. Quatro Receptores	34
4.2.3. Cinco Receptores	35
4.3. ORGANIZAÇÃO E REGISTRO DOS RESULTADOS	36
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	44
5.1. COORDENADAS E SUAS INCERTEZAS	44
	ii

5.2. FATOR ESCALAR	46
5.3. VARIAÇÃO DE RESULTADOS NO DECORRER DO DIA	47
5.4. COMPARAÇÃO COM OS RESULTADOS DO BERNESE	48
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
Anexo A Mapas TEC dos dias rastreados	55
Anexo B Combinações possíveis com linhas de base independentes	60
Anexo C Altura das antenas computada até o centro de fase L1	63
Anexo D Coordenadas aproximadas dos vértices rastreados em Florianópolis	65
Anexo E Receptores e antenas utilizados em Florianópolis	66
Anexo F Comportamento do PDOP no vértice UFPR	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquema simplificado do posicionamento pelo GPS	6
Figura 2	Distribuição das estações da RBMC	8
Figura 3	Linhas de base independentes	21
Figura 4	Linha de base trivial	22
Figura 5	Sessão com três receptores	23
Figura 6	Efeito da correlação física nos sinais que chegam ao receptor	23
Figura 7	Estações da RBMC usadas no cálculo de CPSC e CAIS	30
Figura 8	Pontos rastreados nos dias 316 e 319	33
Figura 9	Pontos rastreados no dia 276	34
Figura 10	Pontos rastreados no dia 277	35
Figura 11	Padrão adotado para registro dos dados obtidos em cada Ajustamento.....	36
Figura 12	Padrão adotado para registro dos resultados da análise prévia dos ajustamentos	38
Figura 13	Valores médios das incertezas no decorrer do dia	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Incertezas esperadas conforme a portadora captada	10
Tabela 2	Precisão relacionada a alguns princípios de posicionamento GPS	11
Tabela 3	Exatidão esperada no uso de diferentes efemérides	13
Tabela 4	Varição do Centro de Fase da antena TRM22020.00+GP	16
Tabela 5	Programas Comerciais de Processamento GPS disponíveis no mercado ..	24
Tabela 6	Exemplos de Programas Científicos	25
Tabela 7	Dias de Rastreio	28
Tabela 8	Coordenadas SIRGAS 2000 dos pontos fixos	29
Tabela 9	Ajustamentos efetuados no TGO	31
Tabela 10	Resumo dos Resultados obtidos no TGO	39
Tabela 11	Resultados do TGO x Bernese	40
Tabela 12	Comportamento dos sigmas horizontais e verticais.....	45
Tabela 13	Fator escalar da incerteza, obtido conforme o número de vértices ajustados.	47
Tabela 14	Varição nas coordenadas, conforme o programa utilizado no ajustamento	48

LISTA DE ABREVIATURAS

ARP	<i>Antenna Reference Point</i>
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IAG	<i>International Association of Geodesy</i>
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHO	<i>International Hydrographic Organization</i>
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
ITRF	<i>International Terrestrial Reference Frame</i>
ITRS	<i>International Terrestrial Reference System</i>
LB	Linha de base
LH	Levantamento hidrográfico
MB	Marinha do Brasil
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
MT	Marco testemunho
MVC	Matriz Variância-covariância
NGS	<i>National Geodetic Survey</i>
PDOP	<i>Position Dilution of Precision</i>
PIGN	Projeto Infra-Estrutura Geoespacial Nacional
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RIBaC	Rede Incra de Bases Comunitárias
RINEX	<i>Receiver Independent Exchange Format</i>
RN	Referência de nível
SCN	Sistema Cartográfico Nacional
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TGO	<i>Trimble Geomatics Office</i>
UNB	Universidade de New Brunswick
TEC	<i>Total Electron Content</i>
WGS	<i>World Geodetic System</i>

RESUMO

Neste trabalho foi feita uma análise dos resultados de uma série de ajustamentos de rede GPS, realizados a partir de diferentes combinações de linhas de base. Buscou-se criar condições para a comparação entre um ajustamento que envolve todas as linhas de base de uma sessão (independentes + triviais) e um ajustamento que usa apenas as linhas de base independentes dessa mesma sessão. Quando apenas linhas de base independentes são usadas, surge o inconveniente de haver diferentes combinações possíveis de linhas. Procurou-se determinar quão significativamente se alteram as coordenadas dos vértices da rede e seus desvios-padrão, a partir de diversas combinações de pontos e configurações de rede, em diferentes dias de rastreamento. Processamentos foram feitos também em diferentes programas, para que se dispusesse de outras fontes de comparação. Com tal finalidade, foram usados dados de algumas estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo, mantida pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e dados de um conjunto de rastreios estáticos realizados durante um levantamento da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), no decorrer do último trimestre de 2007, na cidade de Florianópolis-SC. Os testes desenvolvidos mostraram que os valores das coordenadas dos vértices sofrem variação de poucos centímetros em função do procedimento adotado no ajustamento. Já as incertezas mostraram-se mais realistas quando o ajustamento da rede é feito com todas as LB da sessão. A forma como as incertezas variam no decorrer do dia, torna possível associá-las ao atraso ionosférico.

Palavras-Chave: ajustamento de rede GPS, linhas de base triviais, incertezas.

ABSTRACT

This research describes the results analysis of a series of GPS adjustment, made from different baseline combinations. It was tried to create conditions to a comparison between a adjustment which uses all baselines of a session (independent + trivial) and a adjustment which uses only the independent baselines of the session. When only independent baselines are used, there is a inconvenient: it's possible to choose different baseline combinations. The aim was to determine how significantly the net stations coordinates and their uncertainties alter, when distinct points combinations and net configurations are made, in different positioning days. The processing was made also in different programs, with the purpose to increase the comparison sources. With this finality, they were used data from the Brazilian Network for Continuous GPS Monitoring (RBMC), maintained by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), and data from a static positioning obtained during a hydrographic survey, carried out by the Directorate of Hydrography and Navigation (DHN), during the last three months of 2007, in Florianópolis-SC. The tests show that the station coordinates vary little centimeters in function of the way adopted in the adjustment. Otherwise, the uncertainties seem more coherent when the net adjustment is made using all the session baselines. The form as the uncertainties varies in elapsing of the day, becomes possible to associate them to the ionospheric delay.

Keywords: GPS net adjustment, trivial baselines, uncertainties.

1. INTRODUÇÃO

Para o estabelecimento de redes geodésicas de apoio local são realizados levantamentos a partir de pontos de ordem superior. Nos dias de hoje, por razões econômicas e de praticidade, as estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) são adotadas como referência nos cálculos dessas redes.

Vértices de redes geodésicas rastreados em campo são pós-processados em programas que, geralmente, são adquiridos em conjunto com os receptores GPS geodésicos, no contexto deste trabalho chamados de **programas comerciais**, e que vão gerar coordenadas com suas respectivas incertezas. Um exemplo desse tipo de programa é o Trimble Geomatics Office (TGO). Dados oriundos do rastreamento são correlacionados entre si, mas o programa comercial não considera a maioria dessas correlações e, regra geral, os desvios-padrão das coordenadas obtidas nesse tipo de programa são superotimistas, isto é, possuem valores mais baixos do que deveriam (Craymer e Beck, 1992). Esse tipo de programa faz, inicialmente, o que será chamado aqui de **processamento de linhas de base (LB)**.

No programa comercial, durante o passo seguinte ao processamento da LB, o **ajustamento de sessão**, surge mais uma dúvida: incluir ou não as **linhas de base triviais**? Esse é o nome que se dá àquelas LB que são originadas com dados da mesma sessão de rastreamento, os quais já foram usados para gerar outras linhas, as **linhas de base independentes**. O uso dessas linhas triviais no ajustamento da sessão amplia artificialmente a redundância de dados e, por isso, os valores das incertezas resultantes para os vértices ficam menores. Em contrapartida, se forem usadas somente LB independentes, o resultado varia de acordo com a combinação de linhas adotada.

No presente trabalho, a qualidade da rede ajustada será dimensionada por meio do desvio-padrão, ao qual também será feita referência utilizando-se os termos incerteza e sigma.

Algumas instituições desenvolvem seus próprios programas de processamento de dados GPS, que têm aplicação mais científica e que, por isso, neste trabalho serão denominados **programas científicos**. Esses programas não processam LB para depois fazer um ajustamento. Neles são introduzidos os dados do rastreamento e efetua-se o chamado **processamento de sessão**, computando-se todas as correlações existentes entre os dados e, assim, fornecendo coordenadas e incertezas mais confiáveis. Esses programas são de manuseio bem mais complexo, requerem um treinamento mais longo e específico e uma boa prática. No presente trabalho, alguns resultados obtidos a partir desse tipo de programa são adotados para comparação com os resultados fornecidos por um programa comercial.

Para avaliar o efeito do uso de LB triviais nos ajustamentos GPS, foram utilizados dados de um levantamento hidrográfico realizado pela Marinha em Florianópolis–SC no final de 2007, durante o qual foram executados rastreamentos estáticos usando receptores GPS geodésicos de dupla frequência. Foram utilizadas também algumas estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), mantida pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os vértices utilizados distam de 2 a 1000 km entre si:

- Com 3 receptores – 2 triângulos com um lado comum, cada um rastreado em dias distintos em 2 sessões. É a situação que vai permitir diversas combinações de linhas de base no momento do ajuste;
- Com 4 receptores – quadrilátero com duas diagonais, configuração muito comum nos rastreios GPS, por ser de grande rigidez, isto é, possibilita um bom controle de erros;
- Com 5 receptores – polígono com estação central, configuração boa, também de grande rigidez; e
- Com 6 receptores – polígono com duas estações centrais, configuração também de boa rigidez.

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o efeito do emprego de linhas de base triviais sobre as coordenadas e as incertezas dos vértices de uma rede GPS, em relação ao uso de linhas independentes, quando o ajustamento é efetuado com um programa comercial.

Os objetivos específicos:

- Determinar o fator de escala para as incertezas obtidas em um ajustamento que tenha sido realizado a partir de todas as LB de uma ou mais sessões, de forma que os valores dessas incertezas se aproximem dos valores tidos como mais realistas, produzidos em ajustamentos a partir somente das LB independentes dessas sessões;
- Definir se há influência da configuração da rede GPS – número de vértices, número de sessões de rastreio, comprimento das LB – nos resultados do processamento realizado com *software* comercial; e
- Analisar a influência do atraso ionosférico sobre os valores das incertezas das coordenadas.

Para os dados testados, foi observada uma variação máxima de 4 cm nas coordenadas quando se variou o número de sessões combinadas ou se trocaram as linhas de base selecionadas para os ajustamentos.

Foi constatado que usar apenas LB independentes, em ajustamentos de rede GPS feitos em um programa comercial, faz com que as incertezas na posição dos vértices sejam mais realistas. Porém, essas incertezas serão diferentes para cada combinação de LB independentes feita, ainda que as coordenadas não se alterem de maneira expressiva.

Dessa forma, os testes efetuados recomendam a inclusão de linhas de base triviais nos ajustamentos. Para compensar o aumento artificial na redundância, provocado pela inclusão das LB triviais, alguns autores propõem que, antes de efetuar o ajustamento, as incertezas de cada coordenada sejam escaladas por $\frac{n}{2}$, onde n é o número de receptores usados simultaneamente em cada sessão de rastreamento. Esse escalar não seria aplicável a ajustamentos feitos com linhas de base de sessões diferentes, somente para LB obtidas a partir de uma mesma sessão de rastreamento.

Ao fim dos testes, o escalar de $\frac{n}{2}$ mostrou-se não aplicável à quase totalidade dos ajustamentos realizados nesta pesquisa. Para os ajustamentos de linhas de base de diferentes sessões foi desenvolvido pelo autor, de forma empírica, um escalar correlacionando o número de vértices da sessão (n) e o número de sessões (s) envolvidas:

$$1,10.\left(\frac{n}{2}\right)^{\frac{1}{s}}.$$

A forma como as incertezas variam no decorrer do dia, torna possível associá-las ao atraso ionosférico. Essa preocupação deve existir na fase de planejamento dos rastreios GPS, para que os trabalhos sejam programados para períodos de menor interferência.

Esta dissertação foi desenvolvida mediante a seguinte estrutura: no capítulo 2 são revistos conceitos sobre o GPS, os erros inerentes às observações e o processamento dos dados rastreados. No capítulo 3 são comentados os fundamentos do ajustamento de rede, os conceitos de linhas de base triviais e independentes e a diferença entre programas de processamento. No capítulo seguinte descrevem-se os experimentos desenvolvidos e como foram organizados e registrados os resultados. No capítulo 5 os resultados são analisados e é estabelecida uma comparação com os resultados obtidos em um programa científico de processamento GPS. Por fim, no último capítulo são registradas as conclusões e feitas algumas recomendações.

2. POSICIONAMENTO POR GPS

2.1. INTRODUÇÃO

O princípio básico de navegação pelo GPS é a medição de distâncias entre o usuário e quatro satélites: conhecendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência dos satélites. Explicando por meio da figura 1, a informação de posição é fornecida pelo GPS de maneira indireta: obtém-se o tempo de viagem do sinal desde o satélite até o receptor que, multiplicado pela velocidade da onda eletromagnética, fornece a distância do satélite ao receptor. Sendo a posição do satélite (S_1) conhecida e referenciada ao sistema WGS-84, forma-se uma calota (representada na figura por uma circunferência), que é o lugar geométrico dos pontos que estão àquela distância (d) do satélite. Até este momento sabe-se que o receptor está em algum ponto sobre essa calota. Quando um segundo satélite é captado, forma-se uma nova calota, que intercepta a primeira em uma linha. O receptor necessariamente está sobre algum ponto dessa linha. Para definir esse ponto, capta-se um terceiro satélite, ficando definida, então, a posição do receptor. Se o posicionamento estiver sendo realizado em tempo real (em uma navegação, por exemplo), o equipamento vai nesse instante exibir as coordenadas da antena. As aplicações que utilizam este tipo de observação são aquelas que buscam primordialmente o posicionamento em tempo real (navegação).

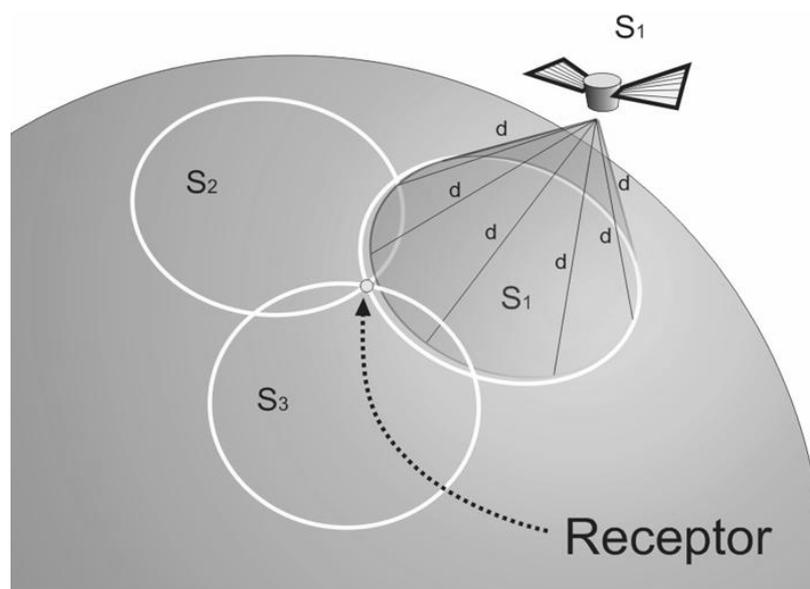


Fig. 1 – Esquema simplificado do posicionamento pelo GPS.

Como os receptores apresentam osciladores de quartzo, não tão estáveis quanto os atômicos dos satélites, inclui-se na modelagem matemática da solução do problema uma incógnita a mais, correspondente à correção associada ao relógio do receptor, chamada erro de sincronização. Isso faz com que se eleve para 4 o número mínimo de satélites necessários para a determinação das coordenadas da antena do receptor.

Rastrear um satélite é conduzir observações sobre ele, obtendo-se assim a posição desse satélite num dado sistema de referência e numa dada época.

2.2. SISTEMAS DE REFERÊNCIA

O advento da geodésia por satélite forçou a adoção de um referencial geocêntrico único, com uma boa aproximação com o sistema terrestre médio. Os primeiros sistemas com essas características foram desenvolvidos e aprimorados, chegando ao atual World Geodetic System 1984 (WGS84), que é representado por um sistema cartesiano com origem no centro da Terra, em que o eixo Z aponta na direção do Pólo Terrestre Convencional, o eixo X aponta na direção média do meridiano de Greenwich, e o eixo Y é tal que forma um sistema dextrogiro.

O IBGE coordena, desde 2004, o Projeto Infra-Estrutura Geoespacial Nacional (PIGN), em parceria com a Universidade de New Brunswick (UNB). O principal objetivo do PIGN é envidar esforços na adoção no Brasil de um sistema de coordenadas geocêntricas, compatível com tecnologias modernas de satélites (IBGE, 2006).

Conforme IBGE (2005) estabelece, o sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) é o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS2000).

O SIRGAS2000 corresponde a um adensamento nas Américas da realização do *International Terrestrial Reference Frame (ITRF2000)*, ocorrida em maio de 2000. O ITRF2000 corresponde à realização do Sistema Geodésico de Referência mais preciso existente, o ITRS (*International Terrestrial Reference System*).

Desde o estabelecimento do *Global Positioning System (GPS)*, o seu Sistema Geodésico de Referência (WGS84) já passou por três atualizações com vistas a refinar sua realização. Nestas três atualizações o objetivo sempre foi aproximá-lo ao ITRF. A mais recente atualização recebeu a denominação de WGS84 (G1150), adotado pelo GPS a partir de 20 de janeiro de 2002.

O WGS84 (G1150) é essencialmente idêntico ao ITRF2000, ao nível de precisão de 1 cm. Portanto, em termos práticos, não existem diferenças entre os sistemas SIRGAS2000

e o WGS84 (IBGE, 2006).

2.3. A REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO (RBMC)

Para realizar posicionamento relativo, o usuário deve dispor de dois ou mais receptores, estando um instalado em um ponto de coordenadas conhecidas. Com o advento dos chamados Sistemas de Controle Ativos, o usuário dispõe de receptores instalados em pontos de coordenadas precisas e rastreando permanentemente. No Brasil, tal sistema é mantido pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e recebe o nome de Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).

As estações da RBMC desempenham justamente o papel do ponto de coordenadas conhecidas, eliminando a necessidade de que o usuário disponha de um receptor para a estação de referência.

A RBMC vem sendo integrada à Rede Incri de Bases Comunitárias (RIBaC). Isso fez com que houvesse um grande salto no número de estações: de 24 estações em 2006 para 44 estações em MAR/08 (figura 2). A expectativa é de que esse número chegue a 80 estações até 2009 (IBGE 2007).

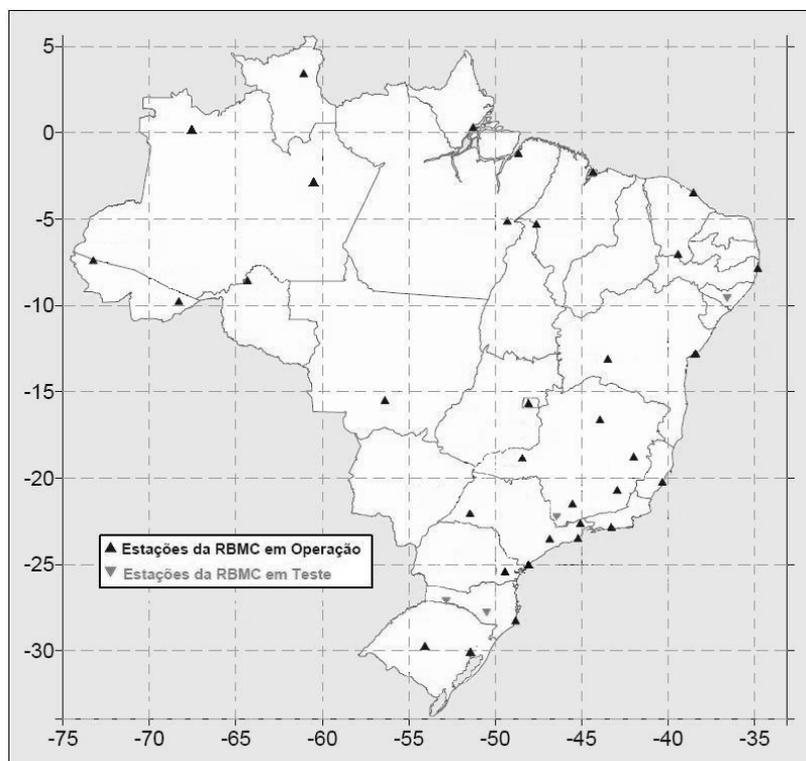


Fig. 2 – Distribuição das estações da RBMC.

(Extraído de www.ibge.gov.br)

No presente trabalho foram usados dados das seguintes estações da RBMC: Curitiba - PR (UFPR), Imbituba – SC (IMBT), Cananéia – SP (NEIA), Santa Maria – RS (SMAR), Cachoeira Paulista – SP (CHPI), Escola Politécnica – SP (POLI), Rio de Janeiro – RJ (RIOD), Varginha – MG (VARG), Vitória – ES (CEFE) e Uberlândia – MG (UBER).

Os dados coletados pelas estações estão sendo disponibilizados através do portal do INCRA (<http://ribac.incra.gov.br>) e do IBGE (<ftp://geoftp.ibge.gov.br/RBMC>). No primeiro são disponibilizados arquivos horários com intervalo de coleta de cinco segundos, já no outro portal, os arquivos são diários com intervalo de coleta de 15 segundos (IBGE, 2007).

A RBMC/RIBaC, além de manter o serviço para os usuários que necessitam utilizar os dados no modo pós-processado, passará a oferecer um serviço de correção tipo WADGPS, disponibilizando dados e correções em tempo real, o que permitirá aos usuários referenciar seus levantamentos ao novo sistema SIRGAS2000, de uma forma rápida e transparente. A previsão é que a partir do início de 2009 estejam disponíveis correções, em caráter experimental, em tempo real, determinadas pela utilização de uma sub-rede formada por seis estações da rede (IBGE, 2007).

2.4. CARACTERÍSTICAS DOS SINAIS GPS

Os satélites GPS transmitem duas ondas portadoras, chamadas L1 e L2. Sobre essas frequências são modulados dois códigos (C/A e P) e as mensagens de navegação. O código P possibilita excelente exatidão, mas é de uso exclusivo do Departamento de Defesa do EUA. Todos os receptores captam a mensagem de navegação, que contém informações do satélite (seu relógio e sua posição). De acordo com as características de construção de cada receptor, o que vai diferenciá-los é o sinal com que trabalham e a parte que é aproveitada desse sinal. Isso vai definir a precisão com que os equipamentos podem fornecer a informação de posição. Assim, existem fundamentalmente dois tipos de receptores GPS:

- De navegação – que recebem os códigos C/A e P e cujo ruído está na faixa de 3cm a 3m;
- Geodésicos – de uma e duas frequências – que recebem o código C/A e P e, conforme o caso, a fase da portadora L1 ou das portadoras L1 e L2.

Destacam-se como de fundamental importância para os levantamentos geodésicos: os receptores que utilizam ambas as frequências (L1 e L2); utilizam acesso ao comprimento de onda completo de L2; utilizam código P em L1 e L2; têm baixo ruído da fase portadora (menor que 1mm); têm baixo ruído do código (da ordem de decímetro); têm alta taxa de dados (maior que 1 Hertz); entre outros (SEEBER e ROMÃO, 1997).

As incertezas que, segundo IHO (2005), devem ser esperadas na medição da fase das portadoras L1 ou L1/L2 encontram-se na tabela 1.

Tab. 1 – Incertezas esperadas conforme a portadora captada.

(Fonte: IHO, 2005)

Comprimento da LB	L1	L1/L2
Até 10 km	$\pm 1 \text{ cm } \pm 1 \text{ ppm}$	$\pm 1 \text{ cm } \pm 1 \text{ ppm}$
10 a 40 km	$\pm 1 \text{ cm } \pm 2 \text{ ppm}$	
40 a 200 km	Não se aplica	$\pm 2 \text{ cm } \pm 2 \text{ ppm}^*$
Acima de 200 km		

*com período de tempo adequado e equipamento e software especiais, incertezas menores que $\pm 1 \text{ cm } \pm 1 \text{ ppm}$ podem ser alcançadas.

Essencialmente, há três princípios de posicionamento por meio do GPS. Os graus de incerteza relacionados a cada um deles estão descritos na tabela 2.

- Posicionamento absoluto ou posicionamento por ponto – fornece coordenadas em WGS84 em tempo real, com o uso de 1 receptor. São medidas pseudodistâncias por meio do tempo que o código C/A leva para se deslocar do satélite ao receptor. É possível também ser feito usando-se as ondas portadoras, após um processo denominado inicialização, em que as ambigüidades dos satélites são determinadas. Enquadra-se nessa classificação uma técnica denominada Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), por meio da qual rápidas sessões de rastreo (de até 1 hora) possibilitam exatidão submétrica, em virtude de na etapa de pós-processamento serem aplicadas todas as correções inerentes ao sistema GPS.

- Posicionamento relativo – tendo-se receptores instalados em dois ou mais pontos, são determinados vetores que os ligam. Conhecendo-se as coordenadas de um desses pontos, as coordenadas dos outros pontos podem ser determinadas. Por meio de um pós-processamento dos dados, eliminam-se erros comuns aos pontos que formam as linhas de base e aumenta-se a exatidão das coordenadas.

- Posicionamento Diferencial (DGPS) – o receptor do usuário recebe, via *link* de rádio, as informações de correção geradas e transmitidas por uma estação de referência, de coordenadas conhecidas, onde há um outro receptor instalado.

No posicionamento GPS relativo espera-se que os erros que afetam o rastreo (erros dos relógios dos rastreadores, erros dos relógios dos satélites, erros orbitais, erros atmosféricos, erros não modelados) cancelem-se mutuamente. Contudo, alguns desses

erros não se cancelam inteiramente e seu efeito no posicionamento é proporcional ao comprimento da linha de base, sendo expresso em termos de erro relativo.

Tab. 2 – Precisão relacionada a alguns princípios de posicionamento GPS

(Fonte: MONICO, 2000)

PRINCÍPIO DE POSICIONAMENTO	PRECISÃO
Absoluto com medições a partir do código C/A	10 metros
Relativo estático	0,1 a 1 ppm
Relativo estático rápido	1 a 10 ppm
Diferencial (DGPS)	1 a 5 metros

2.5. ERROS QUE AFETAM AS OBSERVAÇÕES

A qualidade do resultado do ajustamento é limitada devido à impossibilidade de o modelo matemático representar a realidade física com total fidelidade e devido às imperfeições do sistema de observação. Tais limitações são originadas nos erros inerentes às observações, os quais são divididos em três classes: grosseiros, sistemáticos e aleatórios (GEMAEL, 1994).

Erros acidentais ou randômicos são uma dispersão com respeito à média, presentes nas medidas que representam uma mesma quantidade. Já os erros maiores que 3 vezes o desvio-padrão são, geralmente, oriundos de enganos de notação, digitação, identificação do objeto medido, etc, sendo chamados de erros grosseiros (DALMOLIN, 2004). Para os erros grosseiros, a única solução é descartar os dados e repetir as medições. Os erros sistemáticos podem ser corrigidos por meio da aferição do instrumento de medida ou compensados com o uso de fórmulas matemáticas. Já os erros acidentais têm comportamento aleatório, são inevitáveis e o seu tratamento é baseado na teoria da probabilidade (GEMAEL, 1994)

A precisão (também chamada de “precisão interna”) expressa o grau de proximidade entre os diversos valores medidos, enquanto a exatidão (também chamada de “precisão externa”) expressa o grau de proximidade dos valores medidos a um valor adotado como verdadeiro. O termo precisão está vinculado apenas a efeitos aleatórios, enquanto a exatidão vincula-se tanto a efeitos aleatórios quanto a sistemáticos (GEMAEL, 1994).

2.6. PRINCIPAIS FONTES DE ERROS NAS MEDIÇÕES GPS

Três grupos de erros degradam o posicionamento GPS: os relacionados com os satélites (como erros orbitais e erros no relógio), os relacionados com a propagação do sinal na atmosfera (atrasos troposférico e ionosférico) e os relacionados com os receptores (erro de relógio, ruídos, multicaminhamento, etc.).

2.6.1. Erros Associados aos Satélites

As efemérides transmitidas dos satélites GPS são obtidas por previsão, estimativa, extrapolação, o que deteriora, em parte, a sua precisão. O erro dessas efemérides é da ordem de 15 a 25m, mas garantem o uso imediato e permitem o posicionamento em tempo real. Esse erro nas efemérides vai significar 1 ppm na precisão relativa (1 mm de erro no comprimento de uma base de 1 km), considerando-se um posicionamento relativo (GEMAEL e ANDRADE, 2004).

O Serviço GPS Internacional (IGS), estabelecido pela Associação Internacional de Geodésia (IAG), tem capacidade de produzir efemérides com precisão da ordem de poucos centímetros em cada uma das coordenadas do satélite, permitindo atender à maioria das aplicações que exige alta precisão (MONICO, 2000). Essas efemérides ficam disponíveis aos usuários doze dias a partir da coleta dos dados (IGS, 2008). No presente trabalho todos os processamentos foram executados usando efemérides precisas. Elas podem ser obtidas no site do IGS (http://igs.cb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html). Nesse site podem ser também obtidas efemérides rápidas (disponibilizadas com 17 horas de atraso) e ultra-rápidas, que contém uma parte de efemérides calculadas a partir de observações e outra de efemérides preditas. A tabela 3 mostra a exatidão esperada para as diversas efemérides disponíveis.

As efemérides precisas vêm sendo calculadas desde 1994. Inicialmente tinham o propósito de aumentar a precisão nos estudos de deformação da crosta (JONGE, 1998). Hoje já podem ser adotadas por usuários que necessitam de posicionamento com melhor precisão que a proporcionada pelas efemérides transmitidas. As efemérides transmitidas são referenciadas ao WGS84. Porém, no cálculo das efemérides precisas adota-se o *International Terrestrial Reference System* (ITRS).

Tabela 3 – Exatidão esperada no uso de diferentes efemérides.

(Fonte: IGS, 2008)

EFEMÉRIDES		EXATIDÃO	LATÊNCIA	ATUALIZAÇÃO	INTERVALO AMOSTRAL
Transmitidas	Orbitas	~ 160 cm	Em tempo real	-	Diário
	Relógio dos sat	~ 7 ns			
Ultra-rápidas (metade predita)	Orbitas	~ 10 cm	Em tempo real	4 vezes por dia	15 min
	Relógio dos sat	~ 5 ns			
Ultra-rápidas (metade observada)	Orbitas	< 5 cm	3 horas	4 vezes por dia	15 min
	Relógio dos sat	~ 0,2 ns			
Rápidas	Orbitas	< 5 cm	17 horas	Diária	15 min
	Relógio dos sat	0,1 ns			5 min
Finais	Orbitas	< 5 cm	12 dias	Semanal	15 min
	Relógio dos sat	< 0,1 ns			5 min

2.6.2. Erros Resultantes da Propagação do Sinal

SMITH (1996) afirma que os efeitos atmosféricos são bem conhecidos nos levantamentos e que os sinais sofrem atrasos que podem gerar erros significativos. Esses erros ocorrem na trajetória do sinal através da ionosfera e da troposfera e são causados por:

- Refração troposférica – a troposfera é a camada mais baixa da atmosfera, estendendo-se até uma altura de 16 km na região do equador. Os processos meteorológicos ocorrem nessa região e nela se concentram 90% da massa atmosférica. Ela é seguida da tropopausa (uma camada de transição) e da estratosfera, que se estende até 50 km da superfície. Dá-se o nome de refração troposférica ao efeito causado no interior dessas três camadas (TORGE, 2001). A refração é nula nas camadas mais elevadas (próximas dos 40 km) e mais intensa nas proximidades da crosta. Isso ocorre porque a refração troposférica depende da densidade da atmosfera e do ângulo de elevação do satélite, e afeta igualmente todas as frequências transmitidas pelos satélites (MONICO, 2000). A refração anula-se no posicionamento relativo de estações próximas entre si. Porém, quando a distância entre as estações é grande (maior que 50 km), ou quando a diferença de altura entre elas é significativa (regiões montanhosas), as condições atmosféricas observadas em cada estação não se correlacionam (SEEBER, 2003). A refração troposférica deve ser corrigida com o uso de modelos troposféricos e funções de mapeamento que estimam o valor do atraso nos sinais GPS provocado por esta refração (SILVA et al, 1999).

No software científico de processamento utilizado na presente pesquisa, o Bernese, foi utilizado o modelo troposférico de Niell. Já no software comercial Trimble Geomatics

Office (TGO) foi usado o modelo Hopfield. Não há argumentos claros que indiquem haver prioridade de um modelo sobre outro (SEEBER, 2003).

- Refração ionosférica – existem muitas camadas atmosféricas acima dos 50 km, mas a de maior interesse ao lidar com GPS é a que fica entre 50 e 1500 km acima da terra, denominada ionosfera (WOLF e GHILANI, 2006). Ela é primariamente composta por íons positivos que afetam a propagação das ondas eletromagnéticas e o atraso é proporcional ao número de elétrons livres ao longo da trajetória do sinal, o chamado *Total Electron Content - TEC* (EL RABBANY, 1994). Os mapas TEC dos dias rastreados nesta pesquisa foram obtidos no endereço <http://madrigoal.haystack.mit.edu/madrigoal>, seguindo o caminho: *Access Data; Simple Madrigal Data Access; select a instrument; World-wide GPS Receiver Network*. Nesse momento deve-se selecionar a data de interesse (o site disponibiliza mapas com latência de alguns meses), clicar *plot data, click here for TEC maps (...)* e escolher um dentre os mapas apresentados, disponíveis em intervalos de 20 em 20 min. Os mapas TEC de interesse neste estudo estão no anexo A.

Para obter mapas TEC em tempo real, recomenda-se o site http://iono.jpl.nasa.gov/latest_rti_global.html.

O TEC varia conforme:

- a hora do dia – mais alto às 14:00 (hora local);
- o período do ano – mais alto no equinócio da primavera;
- o ciclo solar – que dura 11 anos; e
- a posição geográfica – classicamente, as zonas sob grande perturbação ionosférica situam-se em altas latitudes (acima de 55º Norte ou Sul), que não é o caso do território brasileiro (IBGE, 2008),

Os distúrbios na ionosfera podem causar a perda do sinal, ocasionando aparentemente dados com ruídos (IBGE, 2008). Os ruídos podem ter a dimensão de um ciclo ou mais, tornando impossível distinguir entre variações da ionosfera e perda de ciclos (*cycle slips*).

Quanto mais baixa a frequência da onda, mais ela é afetada pelo atraso ionosférico. Assim, as portadoras L1 e L2 sofrem diferentes atrasos na ionosfera (EL RABBANY, 1994). Receptores de dupla frequência fazem uso dessa propriedade, permitindo aos usuários corrigir grande parte dos efeitos em razão da refração (SEEBER, 2003). Nesta pesquisa todos os receptores utilizados são de dupla frequência e não foram adotados modelos de correção ionosférica no Bernese ou no TGO.

2.6.3. Erros Oriundos do Receptor

Neste grupo enquadram-se os erros originados nos arredores da estação, os multicaminhos, e na própria antena receptora, devido às variações no centro de fase da antena.

- Multicaminhos – esse erro ocorre quando, além do sinal direto do satélite, reflexos desse mesmo sinal alcançam a antena do receptor (SEEBER, 2003). Os sinais são refletidos por ruas, corpos d'água, edificações, veículos, etc. O efeito dessa mistura é algo semelhante a uma televisão com fantasmas, e pode ser reduzido se for dada especial atenção à escolha do ponto de instalação da antena, se for priorizado o uso de antenas protegidas com prato e antenas especiais, tais como a “*choke ring*”, e se forem usados receptores que filtram sinais refletidos (TEUNISSEN, 1998). Em virtude da mudança na geometria dos satélites, verificou-se que o efeito do multicaminho nas portadoras obedece a um ciclo com período de 15 a 30 min. Dessa forma, no caso do rastreamento estático, o efeito do multicaminho pode também ser minimizado fazendo-se observações com duração de 30 min ou mais (SEEBER, 2003). Nos métodos rápidos de medidas, os efeitos do multicaminho permanecem integralmente nos resultados. Por isso se faz necessária uma repetição das medidas no mínimo 30 minutos depois (SEEBER e ROMÃO, 1997).

Se há suspeita de haver multicaminhos na área de rastreamento, TRIMBLE (2001) recomenda que a estação seja ocupada por um período mais longo, de forma que no processamento haja dados suficientes para eliminar efeitos indesejados.

- Variação do centro de fase da antena – a altura da antena GPS, medida em campo no momento do rastreamento, é um dado inserido no programa antes do processamento. Para a determinação exata dessa altura exige-se o conhecimento também exato da posição do centro de fase da antena. Entretanto, esse centro de fase não é um ponto físico, nem tampouco estável. Para quaisquer antenas GPS o centro de fase muda conforme a direção dos sinais de um satélite, dependendo, sobretudo, da elevação desse satélite. Ignorar a variação nos centros de fase significa inserir erros verticais de até 10 cm na posição medida.

Os domos, que cobrem algumas antenas a fim de reduzir o multicaminho e protegê-las de efeitos ambientais, também contribuem para a variação no centro de fase (DACH, 2007).

A tabela 4 apresenta os dados do vetor deslocamento do centro de fase da portadora L1 para a antena usada nesta pesquisa com o receptor Trimble 4000SSE (antena TRM22020.00+GP), medido a partir do Ponto/Plano de Referência da Antena (ARP). Três componentes do vetor estão relacionadas: duas horizontais (norte e leste) e uma vertical. A componente norte tem cerca 0,1 mm, é relativamente pequena e até desprezível, bem como

a componente leste, que tem 0,6 mm. Porém, é a componente vertical que carrega a quase totalidade da diferença: de 11,7 mm (para um satélite elevado em 0°) a 32,8 mm (para um satélite elevado em 50°). Fica claro que não conhecer a posição correta do centro de fase implica em produzir erros possivelmente significantes (MADER, 2008).

No TGO só é possível entrar com uma altura para centro de fase e, na presente pesquisa, usou-se a altura do centro de fase L1, conforme dados de calibração fornecidos pelo *National Geodetic Survey* (NGS). Os dados de calibração de diversas antenas podem ser obtidos no endereço <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL>.

Tabela 4 – Variação do Centro de Fase da antena TRM22020.00+GP.

(Fonte: www.ngs.noaa.gov/ANTCAL)

DESLOCAMENTO DO CENTRO DE FASE	ORIGEM DA INFORMAÇÃO		DIFERENÇA entre dados nominais e dados calibrados
	Dados nominais da Trimble	Dados calibrados Pelo NGS	
SENTIDO			
Ao NORTE	0	-0,1 mm	-0,1 mm
A LESTE	0	-0,6 mm	-0,6 mm
ACIMA	62,5 mm	74,2 mm (satélite no horizonte) 95,3 mm (satélite 50° elevado)	11,7 mm 32,8 mm

As antenas GPS são calibradas sob condições ideais, sempre em um mesmo local (MADER, 2008). A situação perfeita seria que cada antena fosse calibrada no local onde iria ocorrer o rastreamento. Isso é viável para o caso de redes ativas, como a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), de caráter permanente, mas é impraticável para rastreios eventuais.

2.7. PROCESSAMENTO DE DADOS GPS

2.7.1. Princípios de Ajustamento

É usual em um projeto de Geodésia coletar-se uma quantidade de dados maior que o mínimo necessário para se obter uma única solução para os parâmetros envolvidos no modelo, o que permite efetuar o controle de qualidade do processo (MONICO, 2000). A estimativa dos parâmetros incógnitos com dados redundantes é geralmente baseada no Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Esse é hoje o principal método de ajustamento de observações. A partir de seu surgimento e até pouco tempo atrás, o método tinha limitações

com relações à aplicação em certos problemas por causa da quantidade de operações exigidas para chegar a um resultado. Hoje, os computadores e calculadoras eliminaram essas limitações (GARNÉS et al, 1997).

No ajustamento pelo método paramétrico, também denominado método das equações de observação, um modelo linear (ou linearizado) inconsistente torna-se consistente pela introdução de um vetor V dos resíduos (MONICO, 2000):

$$V = AX - L_b \quad \text{com } n > u \quad (2.1)$$

Onde:

n é o número de observações;

u é o número de incógnitas (parâmetros);

L_b é o vetor ($n \times 1$) das observações;

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

A é uma matriz ($n \times u$) de escalares conhecidos, designada matriz dos coeficientes das incógnitas ou Jacobiana; e

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

Assumindo que a natureza probabilística da variabilidade das medidas é definida pelo vetor V , parece aceitável assumir que o valor esperado da variabilidade seja zero na média, isto é: $E\{V\} = 0$, onde $E\{\cdot\}$ representa a esperança matemática. A medida da variabilidade é representada pela matriz variância-covariância (MVC), a qual é assumida ser conhecida, sendo representada por $\sum L_b$:

$$D\{L_b\} = \sum L_b \quad (2.2)$$

onde $D\{\cdot\}$ representa o operador de dispersão. A equação (2.1), acrescida do modelo estocástico, pode ser reescrita como:

$$E\{L_b\} = AX \quad D\{L_b\} = \sum L_b \quad (2.3)$$

que são, respectivamente, o modelo funcional e o modelo estocástico do vetor das observações, supondo que se trata de um modelo superabundante, onde o número de observações (n) é maior que o número de incógnitas (u).

2.7.2. Modelos Funcionais das Observáveis GPS

O ajustamento de observações GPS pelo MMQ é efetuado pelo método paramétrico. Cada observação gera um modelo funcional com base na equação 2.3, e recebe o nome de equação de observação. As equações de observação da pseudodistância para os sinais L1 e L2 são:

$$PD_{1r}^s + v_{PD_1} = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + I_r^s + T_r^s$$

$$PD_{2r}^s + v_{PD_2} = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + \bar{I}_r^s + T_r^s$$

Onde:

PD_{1r}^s é a pseudodistância entre o satélite s e o receptor r , medida a partir da portadora L1. De forma análoga define-se o PD_{2r}^s , medida a partir da portadora L2.

v_{PD_1} representa os resíduos das observações realizadas sobre L1. Inclui os efeitos do multicaminhamento. De forma análoga define-se o v_{PD_2} , referente à L2;

ρ_r^s é a distância geométrica entre o satélite s e o receptor r ;

c é a velocidade da onda eletromagnética;

dt_r é o erro do relógio do receptor r ;

dt^s é o erro do relógio do satélite s ;

I_r^s representa os efeitos da ionosfera na pseudodistância em L1. De forma análoga define-se o \bar{I}_r^s , referente à L2; e

T_r^s representa os efeitos da troposfera na pseudodistância.

As equações de observação da fase de cada uma das portadoras (L1 e L2) são:

$$\phi_{1r}^s + v_{\phi_1} = f_1 \left(\frac{\rho_r^s - I_r^s + T_r^s}{c} \right) + f_1(dt_r - dt^s) + [\phi_1^s(t_o) - \phi_{1r}(t_o)] + N_1$$

$$\phi_{2r}^s + v_{\phi_2} = f_2 \left(\frac{\rho_r^s - \bar{I}_r^s + T_r^s}{c} \right) + f_2(dt_r - dt^s) + [\phi_2^s(t_o) - \phi_{2r}(t_o)] + N_2$$

Onde:

ϕ_{1r}^s representa a diferença entre a fase da frequência L1, do sinal do satélite captado no receptor (ϕ_1^s) e a fase do sinal gerado no receptor (ϕ_{1r}). De forma análoga define-se o ϕ_{2r}^s , referente à portadora L2.

v_{ϕ} representa os resíduos das observações realizadas sobre L1. Inclui os efeitos do multicaminhamento. De forma análoga define-se o v_{ϕ_2} , referente à L2;

f_1 é a frequência da portadora L1;

$\phi_1^s(t_o)$ sinal L1 do satélite, captado no receptor, em uma época de referência t_o . De forma análoga define-se $\phi_2^s(t_o)$ para L2;

$\phi_{1r}(t_o)$ fase da cópia do sinal L1, gerado no receptor, em uma época de referência t_o . De forma análoga define-se $\phi_{2r}(t_o)$ para L2;

N_1 é a ambigüidade da fase L1, isto é, o número de ciclos inteiros entre o satélite e o receptor. De forma análoga define-se N_2 em relação ao L2; e

$\rho_r^s, I_r^s, \bar{I}_r^s, T_r^s, c, dt_r, dt^s$ já foram definidos anteriormente.

3. ESTRATÉGIAS DE AJUSTAMENTO DE REDES GPS

3.1. INTRODUÇÃO

Todas as observações feitas simultaneamente e continuamente no decorrer de um determinado projeto GPS constituem uma sessão. Uma sessão pode durar poucos minutos, se técnicas de resolução rápida da ambigüidade forem aplicadas em pequenas redes, ou pode durar horas e até dias, quando alta exatidão é requerida em trabalhos com grandes redes. Para que duas sessões estejam conectadas, é necessário que uma ou mais estações tenham sido observadas em cada uma dessas sessões. Quanto maior o número de estações em comum, maior a estabilidade, exatidão e confiabilidade de toda a rede (SEEBER, 2003).

As seguintes definições abaixo serão adotadas no presente trabalho para fazer referência a várias soluções e ajustamento de coordenadas GPS. Elas são uma adaptação da terminologia adotada em CRAYMER e BECK (1992):

Linha de Base (LB) – vetor resultante de qualquer par de estações;

Processamento de Linha de Base – processamento dos dados de um único par de estações quaisquer. O processamento de linhas de base gera para o vetor que liga o par de estações: 3 componentes (Δx , Δy , Δz) e uma matriz variância-covariância (MVC);

Ajustamento de Sessão – ajustamento das LB já processadas de uma ou mais sessões, utilizando o método dos mínimos quadrados. Vai fornecer como resultado as coordenadas dos vértices, com suas respectivas incertezas; e

Processamento de Sessão – operação em que os dados de todas as estações de uma única sessão são processados em conjunto, computando-se as correlações matemáticas existente entre as LB (que nem mesmo são processadas). Trata-se de um ajustamento rigoroso das observações, usando todas as relações estocásticas mútuas (SEEBER, 2003). Para fins geodésicos, o processamento de sessão tem vantagens conceituais sobre o processamento de linhas de base/ajustamento de sessão, pois o potencial de exatidão do GPS é completamente explorado. Vai fornecer como resultado as coordenadas dos vértices, com suas respectivas incertezas.

Os programas, via de regra, expressam essas incertezas por meio do desvio-padrão (σ) ou do erro médio quadrático (m):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M)^2}{(n-1)}} \quad (3.1)$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - M)^2}{(n-1)}} \quad (3.2)$$

Onde:

- x_i cada um dos elemento da amostra
- l_i cada uma das observações
- M média das amostras ou das observações
- n número de elementos da amostra ou de observações

Assim, m corresponde a σ com duplo sinal. No entanto, a expressão de m foi estabelecida intuitivamente, por Gauss, enquanto a expressão de σ representa a raiz quadrada positiva da variância. Os Hidrógrafos, bem como os demais geodestas, freqüentemente se valem do erro médio quadrático para quantificar a exatidão de um valor, afastamento em relação ao valor tido como verdadeiro (média populacional, μ), uma vez que admitem que os erros sistemáticos tenham sido eliminados da amostragem ou estão sendo considerados (FERNANDES, 1998).

3.2. LINHAS DE BASE TRIVIAIS E LINHAS DE BASE INDEPENDENTES

Um conjunto de linhas de base independentes consiste no número mínimo de LB requerido para conectar todos os pontos ocupados em uma sessão de rastreio. Como mostra a figura 3, em uma sessão com cinco receptores, há dez linhas de base possíveis, sendo que apenas quatro delas são independentes.

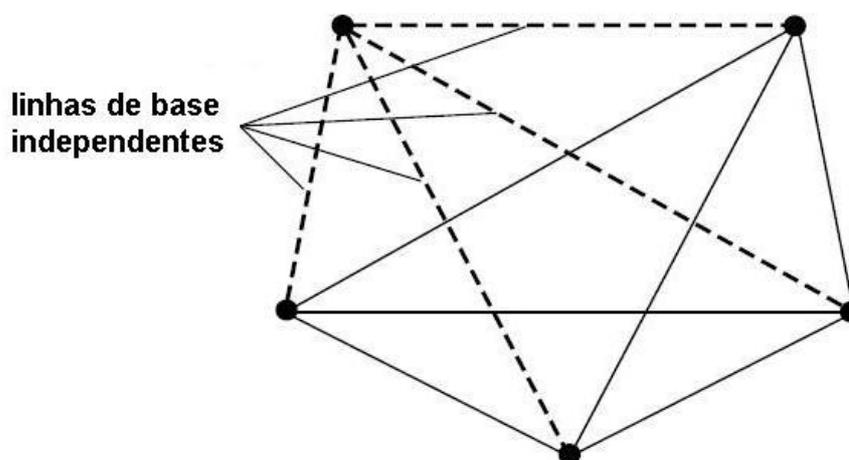


Fig 3 – Linhas de base independentes.

Em uma sessão de rastreamento que use três receptores, três linhas de base são formadas. Porém, duas linhas, que vamos chamar de independentes, seriam suficientes para que se obtivessem as coordenadas de todos os pontos. Logo, a terceira linha é redundante. Linhas triviais são as linhas redundantes de uma sessão. Qualquer sessão de rastreamento que use três ou mais receptores vai produzir linhas de base triviais. Para n receptores operando simultaneamente, valem as seguintes expressões (SEEBER, 2003):

$$\frac{n(n-1)}{2} \quad \text{número total de linhas de base produzidas na sessão} \quad (3.3)$$

$$(n-1) \quad \text{número de linhas de base independentes da sessão} \quad (3.4)$$

Observando a figura 4, nota-se que a terceira linha (AB), que fecha a figura, foi produzida com dados já utilizados para produzir RA e RB. Sendo assim, quando ela é usada no ajustamento, cria uma falsa redundância. Para que essa linha possa contribuir para a solução do problema, deve ser oriunda de uma outra sessão de rastreamento. (FERNANDES, 2004).

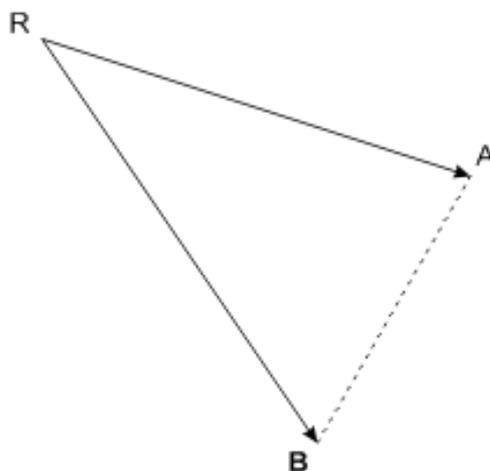


Fig 4 – Linha de base trivial.

Na figura 5 há três combinações possíveis de linhas independentes: AB e AC, AB e BC, ou AC e BC. Cada uma dessas combinações vai gerar resultados e erros diferentes. Já se todas as LB são incluídas no ajustamento, só haverá um resultado e um sigma. Porém, estar-se-á inserindo uma falsa redundância nos cálculos e gerando um resultado que, apesar de único, será superotimista por conter erros menores que os tomados como corretos. Para evitar tal situação, VINCENY (1987), BECK et al. (1989), CRAYMER et al. (1990), CRAYMER e BECK (1992) e CRAYMER (1995) indicam como procedimento mais

apropriado fazer o ajustamento com todas as LB e escalar os erros resultantes por um fator. Dessa forma os erros crescem e chegam a um valor assumido como mais realista.

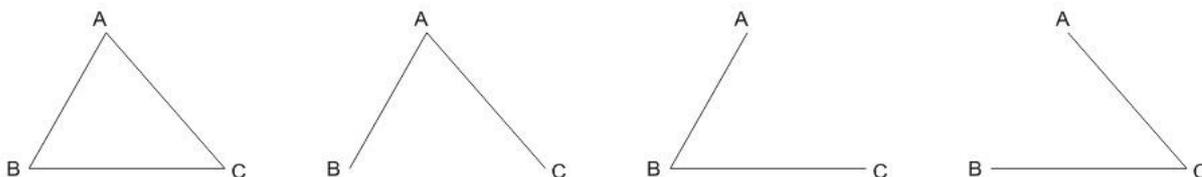


Fig. 5 – Sessão com três receptores.

Ainda nos estudos realizados por esses autores, foi matemática e empiricamente verificado que esse escalar tem o valor aproximado à metade do número de receptores utilizados na sessão. Assim, para sessões com três receptores, o escalar seria algo em torno de 1,5; com quatro receptores escalar, próximo de 2; e daí por diante.

3.3. CORRELAÇÕES

As observações de dupla diferença de fase estão sujeitas a dois tipos de correlação (EL RABBANY, 1994):

- Matemática – vai depender de como são formadas as duplas diferenças de fase; e
- Física – os modelos matemáticos não descrevem perfeitamente as observações.

Permanecem não modelados alguns efeitos dos erros orbitais, dos atrasos ionosférico e troposférico, dos multicaminhos e dos ruídos do sistema. Assim, ao desconsiderar a correlação física, faz-se com que resultados superotimistas sejam produzidos. A correlação física pode ser de natureza temporal e/ou espacial (figura 6).

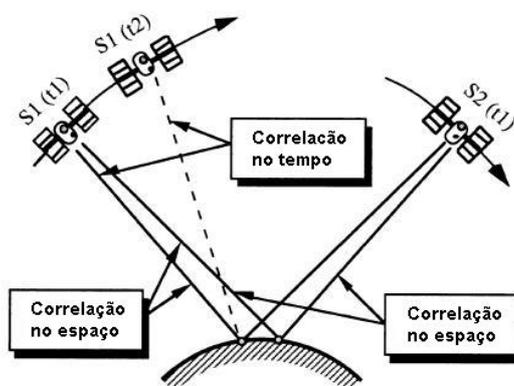


Fig. 6 – Efeito da correlação física nos sinais que chegam ao receptor.

(Extraído de EL RABBANY, 1994).

Quando um ponto é rastreado, é feito o que se chama de “redução inicial”, isto é, um ajustamento das informações de fase + órbita + tempo. O propósito é obter as incógnitas, dentre elas suas coordenadas, tendo um ponto fixo como referência. A redução inicial gera variâncias para todas as variáveis e covariâncias entre elas. Isto é, haverá covariância entre as coordenadas do ponto (VINCENTY, 1987).

Se duas estações são rastreadas nessa mesma sessão e se todas as observações são reduzidas ao mesmo tempo (*session solution*), haverá também covariância entre os vetores.

3.4. PROGRAMAS DE PROCESSAMENTO/AJUSTAMENTO

Segundo SEEBER (2003), os “softwares” de processamento GPS podem ser basicamente divididos em:

- Programas Comerciais – geralmente fornecidos por fabricantes de receptores GPS geodésicos. Como regra, apenas códigos objeto executáveis ficam disponíveis ao usuário, e a maioria dos modelos matemáticos não são documentados em detalhe. São programas adequados para os trabalhos do dia-a-dia e oferecem uma larga variedade de aplicações e são de operação relativamente fácil (SEEBER, 2003). Comumente possuem um módulo que processa linhas de base e um segundo que ajusta as sessões. É comum também que permitam aplicações estáticas e cinemáticas. A tabela 5 relaciona alguns dos principais fabricantes de receptores GPS geodésicos e os programas que os acompanham. Neste trabalho, será considerado que todos os programas comerciais realizam o **processamento de linhas de base** e, em seguida, o **ajustamento de sessão**.

Tab. 5 – Alguns Programas Comercias de Processamento GPS disponíveis no mercado

RECEPTORES	PROGRAMA
Trimble	Trimble Geomatics Office
Leica	Leica Geo Office
Rascal	GrafNav / GrafNet
Topcon	Topcon Tools
Ashtech	Ashtech Solutions

É comum que os *softwares* comerciais de um fabricante não aceitem o formato dos dados oriundos de receptores de um segundo fabricante. Para contornar essa limitação, foi desenvolvido o formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*), de caráter

universal e utilizado para entrada de dados na maioria dos programas computacionais de processamento GPS, sejam eles comerciais ou científicos.

A maioria dos softwares comerciais não permite que se introduzam as incertezas das coordenadas dos pontos de controle (injunção absoluta), seja no processamento das linhas de base ou no ajustamento de redes GPS. Logo, os resultados fornecidos por esses softwares são extremamente otimistas, visto que as incertezas das coordenadas dos pontos de controle não são propagadas para as coordenadas a serem determinadas.

- **Programas Científicos** – de aplicação mais ampla, desenvolvido por entidades científicas. Requer muito mais tempo para ser desenvolvido, é formado por um grande número de programas individuais. Geralmente são compatíveis com dados de uma grande variedade de receptores. Neles, a operação interativa é essencial para que se alcancem resultados adequados com fins didáticos, científicos, profissionais, etc. Alguns pacotes incluem opção para determinação das órbitas dos satélites e estimação de modelos atmosféricos. Sua operação requer profundo conhecimento sobre os sinais e os erros envolvidos com GPS. O processamento fica muito comprometido quando os dados estão contaminados por distúrbios ionosféricos e quando exatidão é requerida para longas distâncias a partir de dados com ruído. São programas bem documentados e sobre os quais há muita literatura disponível. Em alguns casos o usuário pode acessar o código do programa e incluir novas partes ou modificações de seu interesse (SEEBER, 2003). A tabela 6 exibe uns exemplos de softwares científicos e as entidades que os desenvolveu e mantém. Neste trabalho, será considerado que todos os programas científicos realizam o **processamento de sessão**.

Tab 6 – Exemplos de Programas Científicos

ENTIDADE DESENVOLVEDORA	PROGRAMA
Universidade de Berne (Suíça)	BERNESE
Universidade de Hanover (Alemanha)	GEONAP
Jet Propulsion Laboratory - NASA (EUA)	GIPSY-OASIS II *

* *software* gratuito

3.5. DESDOBRAMENTOS DO USO DAS LB TRIVIAIS

Os valores das coordenadas dos pontos envolvidos no ajustamento não variam de forma expressiva com a inclusão das LB triviais no ajustamento, fato citado por BECK et al.

(1989) e HOLLMANN et al (1990). A variação significativa ocorre somente nas incertezas dessas coordenadas.

Conforme a equação 2.6, se são usados n receptores em uma determinada sessão de rastreamento, serão produzidos $n-1$ vetores independentes. Os demais são triviais, combinações lineares dos independentes. VINCENY (1987) afirma que a covariância atua como um elo de ligação entre as LB, garantindo a solução única, independente do ponto mantido fixo na redução inicial.

Como somente programas científicos fazem processamento de sessão, a seguinte linha de ação pode ser adotada a partir de um programa comercial:

- fazer inicialmente um **processamento de linhas de base**, gerando $\frac{n(n-1)}{2}$ linhas de base, o que faz do método uma aproximação. Nesse caso os vetores não são mais linearmente correlacionados, pois o elo de ligação entre eles – a covariância – se perdeu ou nem mesmo foi obtida. Esse tipo de solução já produz erros de fechamento; e
- fazer o **ajustamento de sessão**. Se apenas LB independentes forem usadas, o resultado dependerá de quais $n-1$ linhas de base são selecionadas dentre as diversas combinações possíveis, e não haverá solução única.

Com isso, o **ajustamento de sessão** funciona melhor se forem efetivamente usadas todas as $\frac{n(n-1)}{2}$ linhas de base no ajustamento. No Canadá, já no início da década passada, CCS (1992) recomendava o uso das linhas de base triviais nos **ajustamentos de sessão**.

Em contrapartida, quando isso é feito, há um aumento artificial nos graus de liberdade e os sigmas das coordenadas apresentam-se menores e irreais. Para compensar esse efeito, VINCENY (1987), BECK et al. (1989), CRAYMER et al. (1990), CRAYMER e BECK (1992) e CRAYMER (1995) defendem que as incertezas das coordenadas devem ser escaladas por $\frac{n}{2}$.

CRAYMER e BECK (1992) afirmam que o uso do escalar $\frac{n}{2}$ só é eficaz, dentre outras coisas, se:

- Nenhuma LB ficar fora do ajustamento; e
- As ambigüidades forem inteiras.

Na prática, não é simples garantir que as condições acima relacionadas sejam atendidas.

HAN e RIZOS (1995) propõem um procedimento em que dados de saída de programas comerciais sofreriam alterações em busca de se obter resultados equivalentes àqueles que seriam produzidas caso a **correlação entre épocas** fosse computada no cálculo de cada LB. Isto é, resultados semelhantes aos de um programa científico, a partir de cálculos em um programa comercial. Porém, seria necessário dispor de um programa comercial que fornecesse os resíduos produzidos época a época no **processamento de linhas de base**, e nenhum dos programas consultados disponibiliza tais dados. Consta que alguns dos programas comerciais em uso em 1995 forneciam essas informações.

4. EXPERIMENTOS REALIZADOS

4.1. INTRODUÇÃO

Nesta pesquisa, linhas de base independentes de **diferentes sessões** são mescladas para formar a rede a ser ajustada, caso que não é citado nos estudos anteriores. Será feita uma análise para determinar se existe um escalar que possa ser aplicado em todas as situações semelhantes, de acordo com o número de vértices da rede.

As sessões são identificadas pelo número do dia, seguido do número da sessão. Então, 316.1 indica a primeira sessão do dia 316.

Deve-se estar atento ao fato de que linhas de base independentes de uma única sessão formam sempre figuras abertas. No escopo deste trabalho, nos casos em que linhas de base independentes de duas sessões distintas são unidas em um mesmo ajustamento, elas não se sobrepõem (a menos que seja informado no texto) e formam sempre figuras fechadas. Em redes que têm três vértices, duas sessões de rastreamento dão origem a seis combinações possíveis de LB independentes. Se forem quatro e cinco vértices, esse número sobe para 12 e para 33, respectivamente. Todas as combinações possíveis estão ilustradas no anexo B.

Todas as informações de horário contidas neste trabalho referem-se ao fuso horário com três horas de atraso em relação a Greenwich. Quando outro fuso for usado, isso será claramente informado no texto. Os dias de rastreamento serão citados pelo calendário juliano, que conta os dias de maneira corrida, desde o início de cada ano, conforme contido na tabela 7.

Tab. 7 – Dias de Rastreamento.

Calendário típico	Dia do ano	Semana GPS
01/OUT/07	274	1447.1
03/OUT/07	276	1447.3
04/OUT/07	277	1447.4
08/NOV/07	312	1452.4
09/NOV/07	313	1452.5
12/NOV/07	316	1453.1
15/NOV/07	319	1453.4

Foram utilizados dados GPS de duas fontes:

– Levantamento realizado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) em Florianópolis-SC, nas datas contidas na tabela 7, durante o qual foram executados rastreamentos estáticos usando receptores geodésicos de dupla frequência; e

– Estações da RBMC.

O anexo C contém uma relação com todas as estações usadas nesta pesquisa, incluindo as pertencentes à RBMC. Nesse anexo estão registradas as alturas das antenas até o centro de fase da frequência L1, conforme calibração realizada pelo NGS, disponibilizadas em www.ngs.noaa.gov/ANTCAL.

Para o processamento das redes formadas por pontos rastreados em Florianópolis pela DHN, dois pontos foram adotados como fixos:

- CPSC – adotado como fixo nos dias 276, 316 e 319; e
- CAIS – adotado como fixo no dia 277.

O ponto CPSC teve suas coordenadas calculadas a partir de dados dos dias 274 e 276, num total de 20h19min de rastreamento. Já as coordenadas do ponto CAIS foram calculadas a partir de dados dos dias 277, 312 e 313, totalizando 21h16min de rastreamento. Tanto as coordenadas de CPSC quanto as de CAIS foram obtidas no TGO por meio de um **processamento de linhas de base**, seguido de um **ajustamento de sessão**, utilizando-se as seguintes estações da RBMC: UFPR, SMAR, NEIA e IMBT, sendo considerado como ponto fixo a estação UFPR. A conversão para coordenadas cartesianas foi feita no aplicativo TCGeo, obtido no site do IBGE. Essas coordenadas encontram-se relacionadas na tabela 8.

Tab. 8 – Coordenadas SIRGAS 2000 dos pontos fixos.

GEODÉSICAS	PONTO	LATITUDE (sul)	LONGITUDE (oeste)	ALTURA (m)
	CPSC	27° 35' 45.23352"	048° 34' 06.68742"	7.26626
	CAIS	27° 35' 45.67253"	048° 34' 02.73184"	2.51062

CARTESIANAS	PONTO	X (m)	Y (m)	Z (m)
	CPSC	3743113807	-4241030.234	-2936895.534
	CAIS	3743188.206	-4240950.598	-2936905.307

A disposição dessas estações da RBMC em relação à cidade de Florianópolis encontra-se na figura 7.

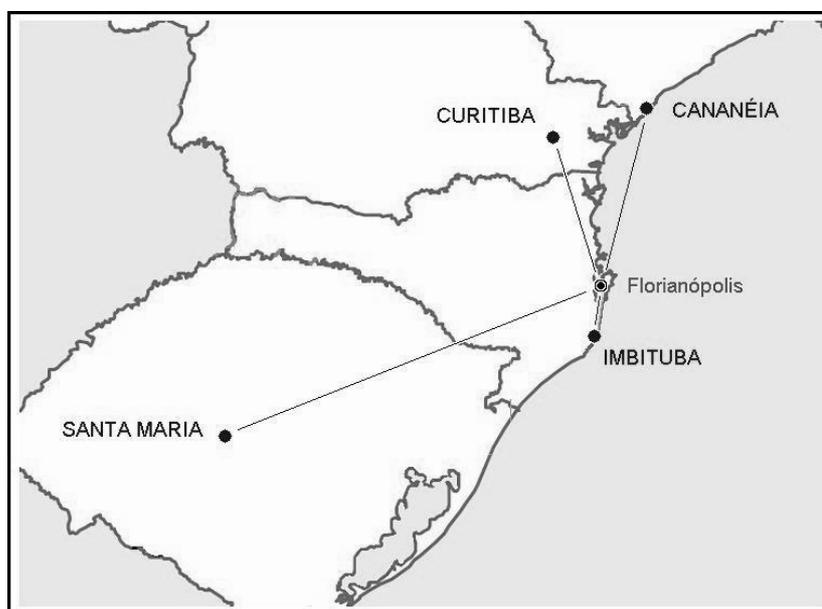


Fig. 7 - Estações da RBMC usadas no cálculo de CPSC e CAIS

Para testar o efeito do uso de LB triviais, foram processados e ajustados dados de rastreios GPS realizados em sessões:

- Com diferentes números de receptores, fazendo com que as configurações abrangessem a maior parte dos casos práticos:
 - Com três receptores – dois triângulos com um lado comum, cada um rastreado em dias distintos em duas sessões. É a situação apropriada para rastreios com LB triviais, pois vai permitir diversas combinações de LB triviais no momento do ajuste;
 - Com quatro receptores – quadrilátero com duas diagonais (configuração de grande rigidez, isto é, possibilita um bom controle de erros); e
 - Com cinco receptores – polígono com uma ou duas estações centrais (configuração excelente, também de grande rigidez).
 - Com seis receptores – polígono com três estações centrais. Caso não muito comum em virtude de envolver um grande número de receptores (porém, também de grande rigidez)
- Com diferentes tempos de rastreio – 10min a 17h
- Em diferentes períodos do dia – entre 00:00 e 20:30
- Com diferentes comprimentos de linhas de base – de 2 a 1000 km

Além disso, os ajustamentos foram feitos combinando diferentes números de sessões: uma, duas, três ou quatro sessões.

Na tabela 9 os ajustamentos executados durante a pesquisa foram agrupados de acordo com as características da sessão de rastreamento, quais sejam: os vértices rastreados, os dias de rastreamento, os horários e o tempo de rastreamento e o teste pretendido. Para cada sessão, diversas combinações de linhas de base independentes foram testadas, o que representou cerca de 1000 ajustamentos executados no TGO. As letras indicadas na coluna da esquerda serão doravante usadas para fazer referência aos respectivos ajustamentos. Os vértices que pertencem à RBMC estão destacados em negrito. Todos os ajustamentos foram executados tendo um ponto como fixo, que está sempre em primeiro na lista de vértices. Quando os ajustamentos são realizados em alguns intervalos de tempo contidos em um intervalo maior, apenas os horários de início e fim desse intervalo maior (que aparece em negrito na coluna “tempo”) são informados na coluna “horário”.

Tab. 9 – Ajustamentos efetuados no TGO.

CÁLCULO / VÉRTICES		DIAS (SESSÕES)	HORÁRIO	TEMPO	TESTAR EFEITO...
A	CPSC	316.1	10:30 – 12:30	10, 30, 60, 90 e 120min	<ul style="list-style-type: none"> do uso de redes com 3 vértices; da variação do tempo da sessão; e na rede com linhas de 3 a 5 Km.
	EAMA, LAZA	316.2	13:00 – 15:00		
B	CPSC	319.1	14:00 – 15:00	10, 30 e 60min	<ul style="list-style-type: none"> do uso de redes com 3 vértices; da variação do tempo da sessão; e na rede com linhas de 2 a 4 Km.
	EAMA, SAUD	319.2	15:20 – 16:20		
C	CPSC EAMA, LAZA, SAUD	316.1, 316.2, 319.1, 319.2	Os contidos nos itens A e B	10, 30 e 60min	<ul style="list-style-type: none"> do uso de redes distintas com 3 vértices e uma LB em comum; da variação do tempo da sessão; e na rede com as mesmas linhas dos itens A e B.
D	CPSC	276.1	09:30 – 11:30	10, 30, 60, 90 e 120min	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 4 vértices; da variação do tempo da sessão; e na rede com linhas de 7 a 19 Km.
	CACU, FORT, TOME	276.2	14:00 – 16:00		
E	CAIS	277.1	10:30 – 12:30	10, 30, 60, 90 e 120min	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 5 vértices; da variação do tempo da sessão; e na rede com linhas de 6 a 24 Km.
	ARMA, CANA, FORT, HOTA	277.2	13:00 – 15:00		
F	UFPR	276.1	09:45 – 11:15	90min	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 4 vértices; no mesmo horário do item D; e na rede com linhas de 70 a 360 Km.
	CPSC, IMBT, NEIA	276.2	14:00 – 15:30		
G	UFPR	277.1	10:40 – 12:10	90min	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 5 vértices; no mesmo horário do item E; e na rede com linhas de 70 a 770 Km.
	CAIS, IMBT, NEIA, SMAR	277.2	13:20 – 14:50		
H	UFPR	274	12:00 – 13:30	90min	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 4 vértices; de sessões no mesmo horário do dia; e na rede com linhas de 70 a 360 Km.
	CPSC, IMBT, NEIA	276			
I	UFPR	274	12:00 – 13:30	90min	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 5 vértices; de sessões no mesmo horário do dia; e na rede com linhas de 70 a 770 Km.
	CAIS, IMBT, NEIA, SMAR	276			

J	UFPR CPSC, IMBT, NEIA	274 276	10:00 – 16:00	30min, 2, 4 e 6h	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 4 vértices; da variação do tempo da sessão; e na rede com linhas de 70 a 360 Km.
K	UFPR IMBT, NEIA, SMAR	274	03:00 – 21:00	30, 60, 90min, 3, 6, 12 e 18h	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 4 vértices; da variação do tempo da sessão; e na rede com linhas de 140 a 770 Km.
L	UFPR CPSC, IMBT, NEIA	274.1 274.2 276	10:00 – 15:00 16:00 – 21:00 09:00 – 16:00	5, 8, 10, 12, 14, 15 e 17h	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 4 vértices; da variação do tempo da sessão; e na rede com linhas de 70 a 360 Km.
M	UFPR IMBT, NEIA, SMAR	274	Entre 03:00 e 20:30	90min	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 4 vértices; do adoção de sessões em diferentes períodos do dia; e na rede com linhas de 140 a 770 Km.
N	UFPR IMBT, NEIA, SMAR	276	Entre 03:00 e 20:30	90min	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 4 vértices; do adoção de sessões em diferentes períodos do dia; e na rede com linhas de 140 a 770 Km.
O	CHPI POLI, RIOD, VARG	276.1 276.2	23:15 – 02:15 06:45 – 09:45	3h	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 4 vértices; e na rede com linhas de 130 a 360 Km.
P	CHPI CEFE, UBER, UFPR	276.1 276.2	23:15 – 02:15 06:45 – 09:45	3h	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 4 vértices; e na rede com linhas de 500 a 1000 Km.
Q	VARG CEFE, POLI, UBER, UFPR	276.1 276.2 276.3	23:15 – 02:15 03:00 – 06:00 06:45 – 09:45	3h	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 5 vértices; da combinação de 3 sessões; e na rede com linhas de 130 a 1000 Km.
R	VARG CEFE, POLI, RIOD, UBER, UFPR	276.1 276.2 276.3	23:15 – 02:15 03:00 – 06:00 06:45 – 09:45	3h	<ul style="list-style-type: none"> do uso de 6 vértices; da combinação de 3 sessões; e na rede com linhas de 130 a 1000 Km.

4.2. AJUSTAMENTO DE SESSÃO VARIANDO O NÚMERO DE RECEPTORES

As redes referentes aos cálculos A, B, C, D e E da tabela 9 estão detalhadas abaixo e indicam o procedimento padrão adotado em todas as demais redes usadas neste trabalho

4.2.1. Três Receptores

Com três receptores é possível rastrear uma seqüência de triângulos que tenham um lado em comum, cada um rastreado em uma sessão distinta. É uma situação que permite diversas combinações de linhas de base no momento do ajuste.

Os rastreios nos dias 316 e 319 foram efetuados com três receptores. No dia 316 temos duas sessões com os pontos CPSC, EAMA e LAZA. No dia 319 também temos duas sessões, agora com os pontos CPSC, EAMA e SAUD. A linha CPSC-EAMA é comum a ambos os dias de rastreo, como pode ser visto na figura 8. Também nessa figura podem ser

observados os comprimentos aproximados das linhas de base. O ponto CPSC foi adotado como fixo em ambos os dias.

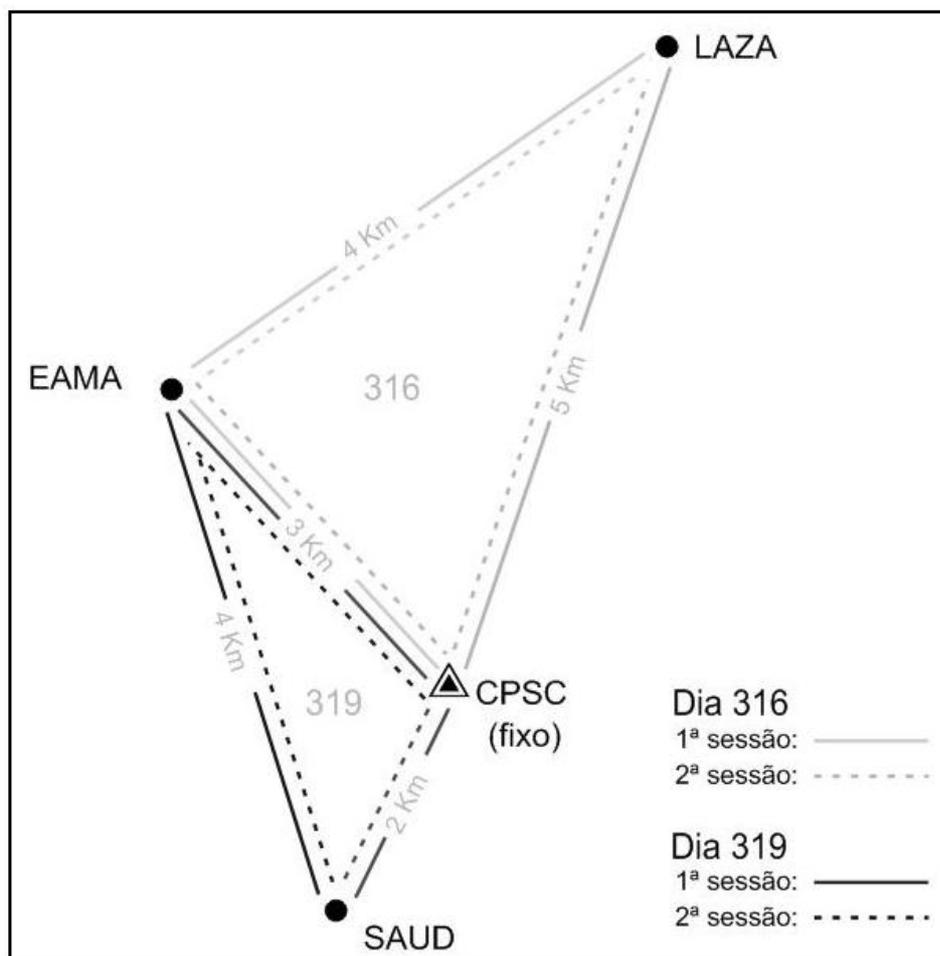


Fig. 8 – Pontos rastreados nos dias 316 e 319.

Primeiro trabalhou-se com cada uma das sessões do dia 316, primeiro de maneira isolada (um ajustamento usando todas as LB da sessão e mais três ajustamentos usando combinações de LB independentes) e depois unindo as sessões (um ajustamento usando todas as LB das sessões e mais seis ajustamentos usando combinações com três LB independentes). O mesmo foi feito com o dia 319. Em seguida, linhas de base das sessões 316.1+319.1 foram combinadas e ajustadas (um ajustamento usando todas as LB das sessões e mais quatro ajustamentos usando combinações com quatro LB independentes, onde duas linhas CPSC-EAMA se sobrepõem), o mesmo sendo feito com linhas das sessões 316.1+319.2, 316.2+319.1 e 316.2+319.2. Por último, fez-se um ajustamento combinando linhas das quatro sessões: 316.1+316.2+319.1+319.2 (um ajustamento usando

todas as LB das sessões e mais dez ajustamentos usando combinações de LB independentes, escolhidos aleatoriamente dentre as 20 combinações possíveis.

4.2.2. Quatro Receptores

O rastreamento com quatro receptores permite formar um quadrilátero com duas diagonais, figura de grande rigidez, que possibilita um bom controle de erros.

Os rastreios do dia 276 foram realizados em duas sessões, usando quatro receptores. Os seguintes pontos foram rastreados: CPSC, CACU, FORT e TOME. O ponto CPSC foi adotado como fixo. A figura 9 mostra a distribuição dos pontos. Conforme pode ser visto nessa figura, a menor linha de base tem 7 km e a maior tem 19 km, aproximadamente.

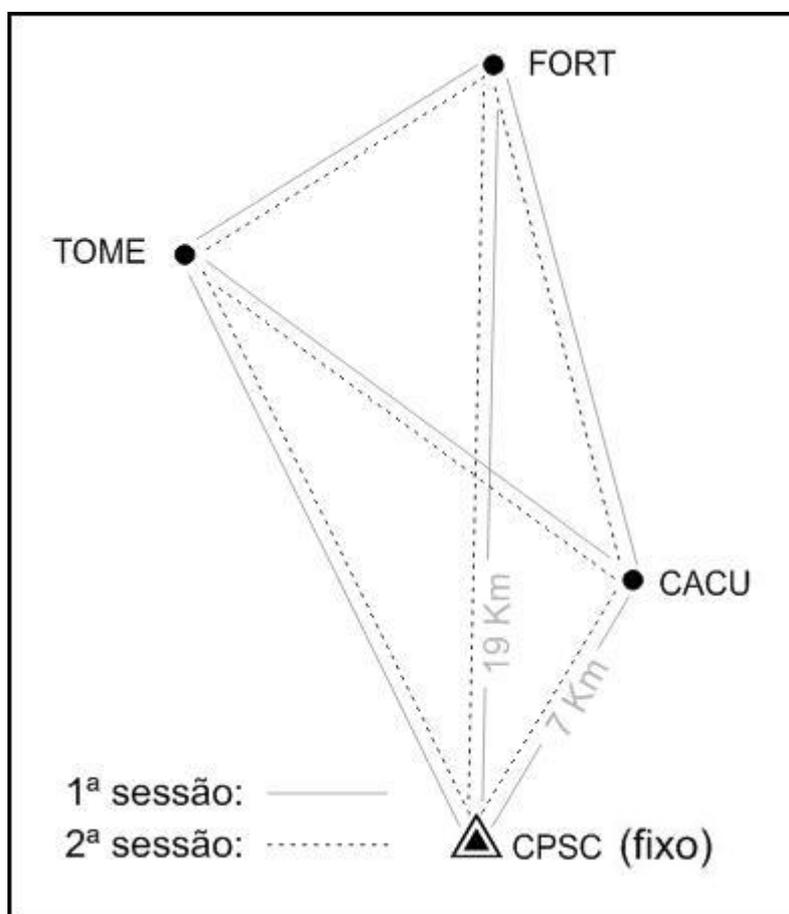


Fig. 9 – Pontos rastreados no dia 276.

4.2.3. Cinco Receptores

Com cinco receptores pode-se formar um quadrilátero com uma estação central, figura também de grande rigidez e que possibilita um bom controle de erros.

No dia 276 os pontos CAIS, ARMA, CANA, FORT e HOTA foram rastreados em duas sessões. O ponto CAIS foi adotado como fixo nos ajustamentos. Na figura 10 pode ser observado o posicionamento dos vértices, que distam de 6 a 24 km entre si.

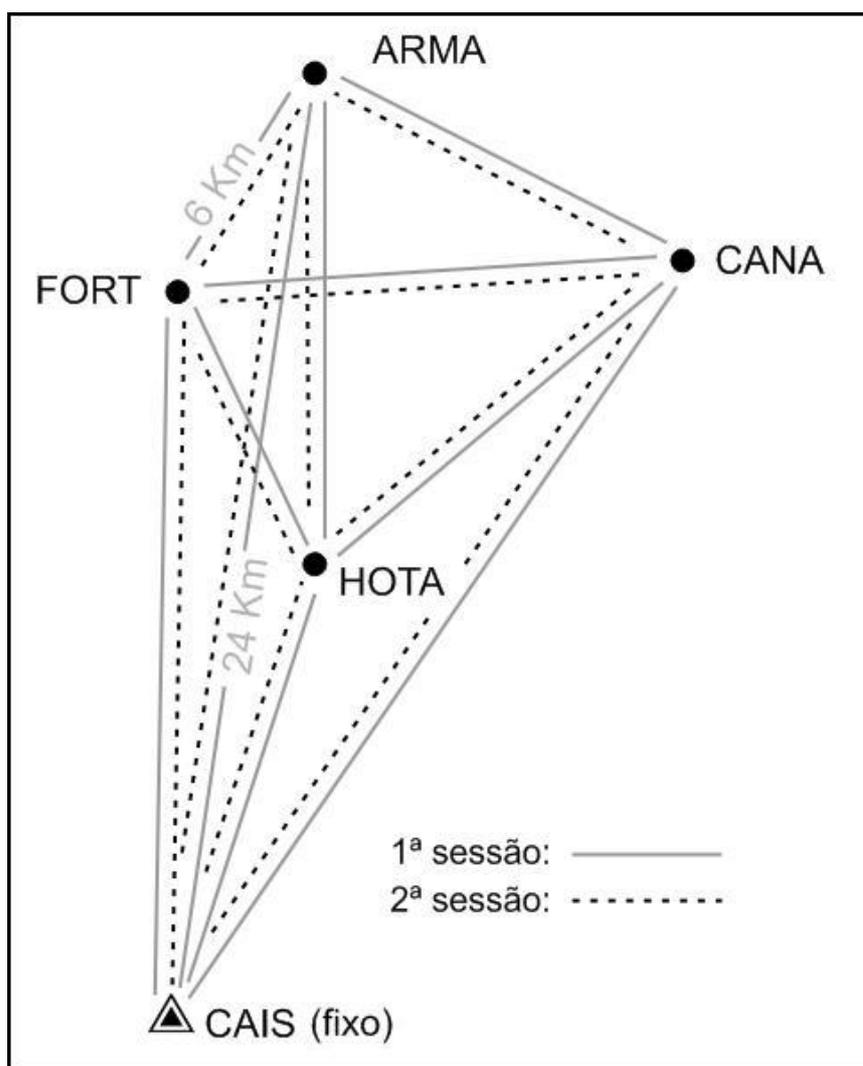


Fig. 10 – Pontos rastreados no dia 277.

4.3. ORGANIZAÇÃO E REGISTRO DOS RESULTADOS

De maneira geral, cada sessão isolada foi submetida a um **processamento de linhas de base** usando-se o programa TGO. Dispondo-se de todas as $\frac{n(n-1)}{2}$ linhas de base dessa sessão, foi feito inicialmente um **ajustamento de sessão** usando-se todas as LB. Fez-se o registro das coordenadas determinadas e suas incertezas. Em seguida foram feitos **ajustamentos de sessão** a partir de uma série de diferentes combinações de LB independentes. Novamente todas coordenadas e incertezas foram registradas. Por fim, foram calculadas as médias das coordenadas e das incertezas obtidas a partir de LB independentes e foi determinada, para cada vértice, a razão entre o sigma médio oriundo das LB independentes e o primeiro sigma resultante do uso de todas as LB. O mesmo cálculo foi executado para outras sessões e combinações de LB independentes. A forma como essas informações foram registradas encontra-se exemplificada na figura 11.

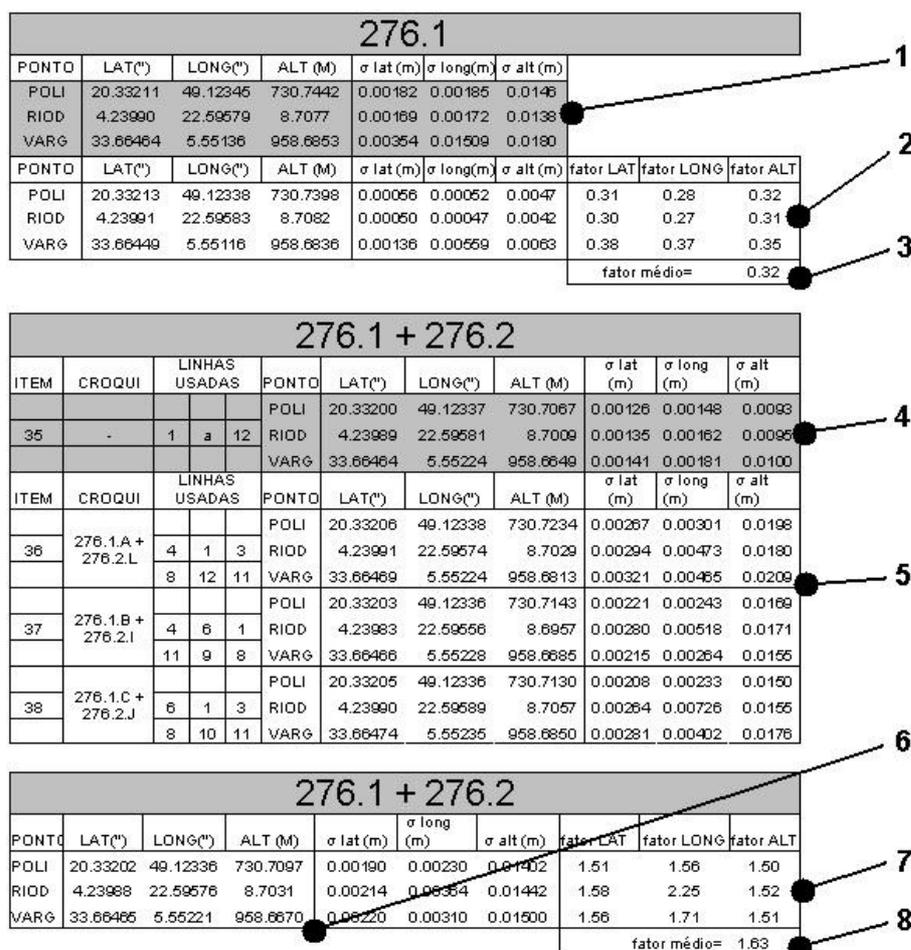


Fig. 11 – Padrão adotado para registro dos dados obtidos em cada ajustamento.

As linhas com sombreado contêm os resultados dos ajustamentos feitos com todas as LB da sessão. As sessões são indicadas pelo número do dia seguido do número da sessão. Então, 276.1 indica a primeira sessão do dia 276. Um detalhe importante: linhas de base independentes de uma única sessão formam sempre figuras abertas. No escopo deste trabalho, nos casos em que linhas de base independentes de duas sessões distintas são unidas em um mesmo ajustamento, elas não se sobrepõem (a menos que seja informado no texto) e formam sempre figuras fechadas.

A seguir é feito um detalhamento dessa tabela. No alto de cada grupo de linhas há a identificação da sessão a que os resultados se referem. No grupo 276.1 há, na linha sombreada **(1)**: o nome dos vértices (coluna da esquerda); as coordenadas desses vértices obtidas a partir do ajustamento usando todas as LB da sessão (três colunas centrais); e os sigmas de cada coordenada (três colunas da direita). Nas linhas inferiores **(2)** há esses mesmos resultados, só que referentes a um ajustamento usando somente LB independentes (figura aberta, pois é uma sessão isolada). Quando nesse campo só houver um resultado, ele será o da combinação de LB independentes que se irradiam do vértice adotado como fixo, conforme exemplificado na próxima figura. Nas três colunas da direita é exibido o fator para cada sigma calculado anteriormente. Isto é, os sigmas da linha **2** divididos pelos seus equivalentes da linha **1**. Por fim, é exibida **(3)** uma média dos fatores exibidos em **2**.

No grupo 276.1+276.2 intermediário ocorre algo semelhante: nas linhas sombreadas **(4)** estão os resultados referentes ao ajustamento usando todas as LB das duas sessões. Quando se trata de duas sessões do mesmo dia, tal como o que ocorre neste exemplo, as linhas de uma sessão se sobrepõem as da outra. Nas linhas seguintes **(5)** são exibidos os resultados de ajustamentos feitos a partir de cada uma das combinações possíveis de LB independentes das duas sessões, que não se sobreponham e que formem figuras fechadas.

No grupo de linhas inferior são exibidas **(6)** as médias das coordenadas e a média dos sigmas já relacionados em **5**. No campo da direita **(7)** são exibidos os fatores obtidos da razão entre os sigmas médios de **6** e os sigmas obtidos a partir do uso de todas as LB das duas sessões, exibidos em **4**. Por fim, é exibida **(8)** uma média dos fatores exibidos em **7**.

Dependendo do número de vértices da rede, pode haver um grande número de combinações de LB independentes passível de ajuste. Com isso, apenas uma parte dessas combinações foi adotada. O exemplo dessas combinações está detalhado no anexo B (Combinações Possíveis com Linhas de Base Independentes)

A partir de 44 tabelas produzidas conforme a figura 11, foi efetuada uma análise dos resultados obtidos e elaborada uma nova tabela onde foram anotados:

- a) a variação absoluta das coordenadas horizontais e verticais dos vértices;

- b) a variação relativa das incertezas das coordenadas;
- c) o valor médio das incertezas horizontais e verticais; e
- d) o escalar a ser aplicado às incertezas das coordenadas resultantes do ajustamento que usou todas as LB, a fim de tornarem-se mais realistas.

Essa nova tabela foi organizada respeitando o padrão contido da figura 12.

Sessão	pag	vértices	Δ das coord horiz	Δ das coord vert	Δ dos sigmas	σ horiz (médio)	σ vert (médio)	Fator	
								calculado	n/2
276.1 90min 09:45 a 11:15	17	4 CPSC CACU FORT TOME 7 a 19Km	< 0.001"	5 mm	20%	1mm	2,5mm	1,8	2,0
276.2 90min 14:00 a 15:30	19		< 0.001"	1 cm	20%	1mm	3mm	3,5	
combinação	21		< 0.001"	3 cm	40%	3mm	9mm	1,4	

1
2
3
4
5
6
7

Fig. 12 – Padrão adotado para registro dos resultados da análise prévia dos ajustamentos.

Na coluna 1 são citadas as sessões que foram ajustadas isoladamente e, depois, de forma combinada. Nesse campo é especificado o tempo de rastreo, sendo citados também o instante de início e o de término das sessões. Na coluna 2 é especificado o número de estações rastreadas e seus nomes. Esse campo traz também os comprimentos da maior e da menor LB da sessão. Nas colunas 3 são exibidas as variações verificadas nas coordenadas dos vértices. É natural que as coordenadas das estações em estudo variem dentro de um intervalo, conforme a combinação de LB independentes selecionada. A diferença entre os extremos desses intervalos vai fornecer um delta para cada coordenada, para cada ponto. O maior delta horizontal e o maior delta vertical apresentados dentre todos os pontos da sessão são, então, registrados na tabela. O delta horizontal considera tanto a latitude quanto a longitude dos pontos. O delta vertical é calculado a partir da altura geométrica dos pontos. A expectativa é a de que os valores das coordenadas dos pontos envolvidos no ajustamento não variem de forma expressiva. Assim, pequenos deltas são desejáveis para as coordenadas, sobretudo as horizontais. A coluna 4 é preenchida com um valor relativo: primeiro, para cada uma das combinações possíveis de LB independentes, é feita uma média dos sigmas de todas as coordenadas de todos os pontos. Em seguida é calculada uma razão entre a maior dessas médias e a menor delas. O resultado é expresso em valores percentuais. Se em uma determinada sessão têm-se 0,05; 0,04; 0,07 e 0,06 como médias de sigmas para diferentes combinações de LB independentes, a razão entre a maior e a menor média é de $0,07/0,04 = 1,75$. Logo, o delta relativo dos sigmas é de 75%.

Deltas menores significam resultados mais homogêneos e, portanto, mais adequados, pois entende-se que qualquer combinação de LB independentes selecionada vai levar aos mesmos resultados (os mesmos sigmas das coordenadas, sejam eles grandes ou pequenos). Deltas maiores indicam que, de acordo com a combinação de LB independentes adotada, o resultado varia bastante. Esse último caso é indesejável, pois não permite afirmar que a combinação de LB independentes representa corretamente o comportamento da sessão. Nas colunas **5** são registradas a média de todos os sigmas horizontais e a de todos os verticais. Esse dado é especialmente útil para estabelecer uma comparação entre ajustamentos realizados com LB independentes de uma única sessão, que gera figuras abertas, e os ajustamentos com LB independentes de múltiplas sessões, que geram figuras fechadas. É esperado que os sigmas no segundo caso, ainda que maiores sejam mais realistas. Os campos **6** exibem a razão entre a média de todos os sigmas obtidos nos ajustamentos usando diversas combinações de LB independentes e a média dos sigmas obtidos no ajustamento usando todas as LB. É esperado que essa última média seja menor que a primeira, em virtude de o ajustamento incluir linhas redundantes (as triviais), e que a razão seja de $\frac{n}{2}$, conforme registrado no campo **7**.

A tabela 10 traz o fator escalar médio encontrado nos ajustamentos, de acordo com o número de estações rastreadas e o número de sessões combinadas no ajustamento.

Tab. 10 – Resumo dos Resultados obtidos no TGO.

nº. de vértices	nº. de sessões	Fator escalar	
		Esperado para 1 sessão ($\frac{n}{2}$)	Calculado
3	2	1,5	1,36
4	2	2	1,53
	4	2	1,30
5	2	2,5	1,71
	3	2,5	1,50
6	3	3	1,60

Em algumas etapas do trabalho, os resultados de um software científico, o Bernese, são adotados como padrão e servem para análise dos resultados fornecidos pelo TGO. São eles os cinco primeiros cálculos da tabela 9, para o tempo de 90min (A, D e E) e de 60min

(B e C). A tabela 11 contém os resultados obtidos nos ajustamentos em cada um desses programas. Em cada célula da tabela, os dados superiores referem-se ao TGO e estão em cinza; e os inferiores foram os obtidos no Bernese. Por simplificação, foram suprimidos os graus e os minutos das latitudes e das longitudes. Vale lembrar que o Bernese faz o chamado **processamento de sessão**, fornecendo um resultado único para a sessão, não fazendo sentido falar em LB trivial ou independente. O resultado do TGO lançado na tabela 11 é sempre o do ajustamento com todas as LB da sessão.

Tab. 11 – Resultados do TGO x Bernese.

Ponto fixo: CPSC								
DADOS			LATITUDE (S)	SIGMA (m)	LONGITUDE (W)	SIGMA (m)	ALTURA (m)	SIGMA (m)
316.1	EAMA	TGO	32.5559"	0.0019	21.2688"	0.0017	3.110	0.006
		BER	32.5559"	0.0005	21.2689"	0.0004	3.107	0.003
	LAZA	TGO	9.0194"	0.0026	6.1059"	0.0022	2.151	0.008
		BER	9.0191"	0.0006	6.1057"	0.0003	2.114	0.004
316.2	EAMA	TGO	32.5559"	0.0042	21.2687"	0.0036	3.101	0.010
		BER	32.5559"	0.0005	21.2689"	0.0007	3.142	0.004
	LAZA	TGO	9.0190"	0.0052	6.1063"	0.0046	2.160	0.013
		BER	9.0188"	0.0006	6.1064"	0.0007	2.150	0.004
316.1+ 316.2	EAMA	TGO	32.5559"	0.0031	21.2688"	0.0027	3.105	0.008
		BER	32.5559"	0.0004	21.2689"	0.0004	3.124	0.003
	LAZA	TGO	9.0192"	0.0040	6.1061"	0.0035	2.156	0.011
		BER	9.0189"	0.0005	6.1058"	0.0003	2.103	0.003

Ponto fixo: CPSC								
DADOS			LATITUDE (S)	SIGMA (m)	LONGITUDE (W)	SIGMA (m)	ALTURA (m)	SIGMA (m)
319.1	EAMA	TGO	32.5561"	0.0005	21.2688"	0.0005	3.126	0.001
		BER	32.5553"	0.0014	21.2692"	0.0013	3.188	0.009
	SAUD	TGO	40.9103"	0.0004	36.2555"	0.0004	2.698	0.001
		BER	40.9106"	0.0007	36.2563"	0.0015	2.653	0.006
319.2	EAMA	TGO	32.5562"	0.0005	21.2688"	0.0004	3.121	0.001
		BER	32.5569"	0.0025	21.2661"	0.0054	3.017	0.014
	SAUD	TGO	40.9106"	0.0005	36.2555"	0.0004	2.696	0.001
		BER	40.9104"	0.0006	36.2552"	0.0004	2.715	0.005

319.1	EAMA	TGO	32.5562"	0.0014	21.2688"	0.0012	3.123	0.004
		BER	32.5558"	0.0010	21.2690"	0.0012	3.143	0.008
319.2	SAUD	TGO	40.9105"	0.0013	36.2555"	0.0011	2.698	0.003
		BER	40.9105"	0.0007	36.2553"	0.0005	2.701	0.004

Ponto fixo: CPSC								
DADOS			LATITUDE (S)	SIGMA (m)	LONGITUDE (W)	SIGMA (m)	ALTURA (m)	SIGMA (m)
316.1 + 319.1	EAMA	TGO	32.5559"	0.0016	21.2688"	0.0015	3.113	0.005
		BER	32.5559"	0.0005	21.2689"	0.0004	3.112	0.003
	LAZA	TGO	9.0194"	0.0023	6.1059"	0.0020	2.154	0.007
BER		9.0192"	0.0007	6.1057"	0.0003	2.112	0.004	
316.2 + 319.2	SAUD	TGO	40.9103"	0.0031	36.2555"	0.0028	2.694	0.008
		BER	40.9103"	0.0009	36.2563"	0.0014	2.697	0.006
	EAMA	TGO	32.5560"	0.0032	21.2687"	0.0026	3.105	0.008
BER		32.5560"	0.0021	21.2688"	0.0029	3.138	0.004	
316.1 + 316.2 + 319.1 + 319.2	LAZA	TGO	9.0191"	0.0044	6.1064"	0.0039	2.164	0.011
		BER	9.0189"	0.0007	6.1064"	0.0007	2.151	0.004
	SAUD	TGO	40.9105"	0.0061	36.2555"	0.0045	2.690	0.016
BER		40.9105"	0.0009	36.2552"	0.0005	2.716	0.005	
316.1 + 316.2 + 319.1 + 319.2	EAMA	TGO	32.5559"	0.0022	21.2688"	0.0019	3.109	0.006
		BER	32.5559"	0.0003	21.2689"	0.0003	3.125	0.002
	LAZA	TGO	9.0193"	0.0030	6.1061"	0.0026	2.159	0.008
BER		9.0189"	0.0005	6.1059"	0.0003	2.104	0.003	
SAUD	TGO	40.9104"	0.0040	36.2555"	0.0034	2.693	0.010	
	BER	40.9105"	0.0007	36.2553"	0.0005	2.700	0.004	

Ponto fixo: CPSC								
DADOS			LATITUDE (S)	SIGMA (m)	LONGITUDE (W)	SIGMA (m)	ALTURA (m)	SIGMA (m)
276.1	CACU	TGO	21.2060"	0.0005	50.6600"	0.0004	4.022	0.001
		BER	21.2055"	0.0004	50.6598"	0.0004	4.025	0.003
	FORT	TGO	41.5050"	0.0005	49.2290"	0.0004	13.691	0.001
		BER	41.5052"	0.0007	42.2293"	0.0004	13.663	0.004
	TOME	TGO	9.6260"	0.0005	13.9470"	0.0004	2.096	0.001
		BER	9.6257"	0.0006	13.9468"	0.0005	2.061	0.003
276.2	CACU	TGO	21.2050"	0.0003	50.6590"	0.0002	4.049	0.001
		BER	21.2053"	0.0007	50.6597"	0.0004	4.039	0.005

	FORT	TGO	41.5060"	0.0003	49.2290"	0.0002	13.717	0.001
		BER	41.5054"	0.0009	49.2291"	0.0004	13.672	0.005
	TOME	TGO	9.6260"	0.0003	13.9470"	0.0002	2.091	0.001
		BER	9.6257"	0.0008	13.9465"	0.0004	2.049	0.005
276.1	CACU	TGO	21.2060"	0.0024	50.6600"	0.0021	4.033	0.006
		BER	21.2054"	0.0004	50.6597"	0.0003	4.026	0.003
+	FORT	TGO	41.5050"	0.0023	49.2290"	0.0020	13.704	0.006
		BER	41.5053"	0.0005	49.2292"	0.0003	13.661	0.003
276.2	TOME	TGO	9.6260"	0.0023	13.9470"	0.0020	2.096	0.006
		BER	9.6257"	0.0005	13.9466"	0.0003	2.054	0.003

Ponto fixo: CAIS								
DADOS			LATITUDE (S)	SIGMA (m)	LONGITUDE (W)	SIGMA (m)	ALTURA (m)	SIGMA (m)
277.1	ARMA	TGO	43.0708"	0.0005	43.6281"	0.0005	5.025	0.002
		BER	43.0709"	0.0007	43.6282"	0.0004	5.077	0.004
	CANA	TGO	16.0089"	0.0005	5.4806"	0.0006	24.413	0.002
		BER	16.0088"	0.0006	5.4807"	0.0005	24.452	0.005
FORT	TGO	41.5055"	0.0004	49.2289"	0.0005	13.767	0.001	
	BER	41.5055"	0.0006	49.2291"	0.0004	13.818	0.004	
HOTA	TGO	29.1893"	0.0004	21.0692"	0.0005	2.829	0.001	
	BER	29.1894"	0.0005	21.0693"	0.0004	2.852	0.004	
277.2	ARMA	TGO	43.0708"	0.0003	43.6281"	0.0003	5.006	0.001
		BER	43.0709"	0.0009	43.6281"	0.0004	5.025	0.004
	CANA	TGO	16.0089"	0.0004	5.4805"	0.0003	24.375	0.001
		BER	16.0091"	0.0008	5.4805"	0.0005	24.406	0.005
FORT	TGO	41.5057"	0.0003	49.2287"	0.0003	13.784	0.001	
	BER	41.5057"	0.0008	49.2289"	0.0004	13.804	0.004	
HOTA	TGO	29.1895"	0.0003	21.0689"	0.0003	2.818	0.001	
	BER	29.1895"	0.0006	21.0691"	0.0004	2.866	0.004	
277.1 + 277.2	ARMA	TGO	43.0708"	0.0016	43.6282"	0.0016	5.016	0.005
		BER	43.0709"	0.0006	43.6281"	0.0003	5.047	0.003
	CANA	TGO	16.0089"	0.0018	5.4806"	0.0018	24.394	0.005
		BER	16.0090"	0.0005	5.4806"	0.0004	24.443	0.003
FORT	TGO	41.5056"	0.0016	49.2288"	0.0016	13.777	0.004	
	BER	41.5057"	0.0005	49.2289"	0.0003	13.811	0.003	
HOTA	TGO	29.1894"	0.0016	21.0690"	0.0016	2.827	0.005	
	BER	29.1895"	0.0004	21.0692"	0.0003	2.858	0.003	

Tendo em vista que o Bernese usa dados RINEX como entrada, decidiu-se trabalhar também com esse formato no TGO. Dessa forma, todos os dados de rastreo foram convertidos para RINEX 2.11 utilizando-se um aplicativo existente no TGO. Os dados das RBMC já são disponibilizados pelo IBGE nessa mesma versão do RINEX.

Para se dispor de dados com o número exato de minutos, a partir de rastreios com maior duração, duas ações são possíveis:

- Editar manualmente os arquivos RINEX de observação de cada estação, abrindo-os em um editor de texto convencional, tal como o EditPad, usado neste trabalho; ou
- Editar o tempo da sessão no TGO, usando um recurso chamado “*Timeline*”.

Partindo da limitação de que o TGO não permite a entrada de dados de incerteza das coordenadas dos pontos adotados como fixos, e para que houvesse padronização entre os cálculos efetuados no TGO e no Bernese, as coordenadas dos pontos CPSC e CAIS foram consideradas isentas de incertezas. Também com o propósito de obter uma padronização que favorecesse a comparação de resultados, tanto nos processamentos efetuados no TGO quanto nos efetuados no Bernese:

- Foram usadas efemérides precisas produzidas pelo IGS;
- Considerou-se não haver erros na medição da altura da antena e na centragem do tripé;
- Foi usada máscara de elevação de 13º; e
- Os erros fornecidos eram de 1 sigma, o que equivale a um grau de confiança de 68%.

O anexo D traz as coordenadas aproximadas dos demais pontos rastreados em Florianópolis e o anexo E relaciona os receptores e as antenas usados em cada sessão rastreada.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. COORDENADAS E SUAS INCERTEZAS

Os dados armazenados nas tabelas, elaboradas conforme o modelo na figura 12, fornecem subsídios para a análise dos ajustamentos executados. Nessas tabelas foram organizados diversos indicadores criados para privilegiar a comparação entre os diversos resultados.

Para cada combinação de LB independentes que se ajusta são produzidas diferentes latitudes, longitudes e alturas, com suas respectivas incertezas (sigmas), para cada vértice da rede. As seguintes informações podem ser extraídas dessas tabelas:

a) Em 83% dos casos, as coordenadas horizontais (latitude e longitude) de cada um dos vértices da sessão de rastreio (ou combinação de sessões) estudada variou menos que **0,001”** de uma combinação de LB independentes ajustada para outra. Portanto, a variação das coordenadas horizontais, em 83% dos casos, é menor que **3 cm**. As coordenadas que ficaram fora desses 83% variaram entre 4.3 e 32 cm.

b) No caso da coordenada vertical (a altura geométrica), a variação não ultrapassou o valor de **4 cm** em 83% dos casos. As coordenadas que ficaram fora desses 83% variaram entre 5.7 e 41 cm.

c) Quando duas sessões foram combinadas, as coordenadas horizontais produzidas apresentaram valores similares aos obtidos nos ajustamentos das sessões isoladas. Já a coordenada vertical apresentou um valor intermediário aos obtidos em cada sessão isolada;

d) A variação dos sigmas foi, em média, 4 vezes maior nos ajustamentos combinando sessões. A média dos sigmas das sessões 316.1 e 319.1 varia, dependendo da combinação de LB independentes adotada, entre 1,0 mm e 1,6 mm, o que em valores relativos representa uma variação de 60%. Já a média dos sigmas da combinação 316.1 + 319.1 varia entre 3 mm e 10 mm, também dependendo da combinação de LB independentes adotada. Em valores relativos isso indica uma variação de 230% e, portanto, cerca de 4 vezes maior.

Isso indica que os sigmas obtidos a partir das sessões isoladas mostraram-se mais homogêneos que os obtidos nos ajustamentos feitos a partir da combinação de sessões;

e) As incertezas das coordenadas foram maiores na componente vertical. Tanto nos ajustamentos de sessões isoladas, como nos ajustamentos combinando sessões, o sigma vertical foi, aproximadamente, três vezes maior que os horizontais. Isso fica bem evidente na tabela 12, que contém os valores médios dos sigmas obtidos em diferentes situações.

Nota-se que os valores de **sigma vertical** são aproximadamente o triplo dos valores de **sigma horizontal**.

Tab. 12 – Comportamento dos sigmas horizontais e verticais.

Valores	Dados extraídos dos ajustamentos de sessões isoladas		Dados extraídos dos ajustamentos de sessões combinadas	
	Sigma horizontal	Sigma vertical	Sigma horizontal	Sigma vertical
Mínimo	0.75 mm	2.10 mm	5,30 mm	21,30 mm
Máximo	2.60 mm	10.00 mm	21,70mm	78,20 mm
Médio	1.31 mm	4.10 mm	11.5 mm	39.2 mm

f) Os sigmas obtidos nos ajustamentos envolvendo combinação de sessões foram, em média, dez vezes maiores que os sigmas das sessões isoladas. Observando a tabela 12, nota-se que os valores contidos nas colunas de **ajustamentos de sessões combinadas** são aproximadamente dez vezes maiores que seus correspondentes na coluna **ajustamentos de sessões isoladas**, e podem ser considerados mais realistas, em virtude de terem sido calculados a partir de uma porção maior de dados; sobretudo dados obtidos em diferentes horários ou dias;

g) Nos ajustamentos combinando duas sessões, foi realizada experiência fazendo-se combinações em que LB se sobreponham para ajustamento. Verificou-se que os sigmas variaram muito conforme a(s) LB que era(m) duplicada(s). No caso da combinação 276.1+276.2 os fatores variaram de 0.99 a 2.43 (variação de 84%) no uso de uma LB sobreposta. Com 2 LB sobrepostas a variação do fator foi de 1.09 a 2.36 (variação de 73%). Para 3 sobrepostas, de 1.35 a 2.21 (variação de 48%). Quando não há sobreposição de LB, o fator varia de 1.21 a 1.69.

Para o caso 276, a decisão de sobrepor LB significa, por exemplo, deixar de usar uma diagonal, diminuindo a rigidez da figura. Idem para o caso 277. Já quando as figuras são triângulos, como nos dias 316 e 319, a segunda LB independente de uma das sessões deve ser usada, sob pena de ficar ociosa.

Dependendo do conjunto de LB independentes selecionado para o ajustamento, pode-se ter uma variação significativa nos sigmas das coordenadas. Isto é, o processo de seleção das LB torna-se decisivo. No caso do experimento E, essa variação no valor dos sigmas das coordenadas é de até 670%.

5.2. FATOR ESCALAR

Somente em alguns casos os fatores escalares, calculados com base em resultados de ajustamentos de sessões isoladas, coincidiram com a expressão $\frac{n}{2}$, conforme defendem VINCENY (1987), BECK et al. (1989), CRAYMER et al. (1990), CRAYMER e BECK (1992) e CRAYMER (1995). Nesta pesquisa, houve 31 experimentos em que sessões de rastreo foram ajustadas isoladamente antes de serem combinadas em pares. Nesses ajustamentos, apenas em seis casos o fator escalar obtido em uma das sessões do par foi igual ou bem próximo de $\frac{n}{2}$; e somente em dois casos ambas as sessões do par, ajustadas isoladamente, resultaram em escalares iguais ou bem próximos de $\frac{n}{2}$. Nos demais 83% dos casos os escalares oscilaram de valores menores que 0.1 até 10, quando deveriam ficar próximos de 1.5, 2.0 e 2.5, dependendo do número de vértices da sessão. Isso evidencia o quanto instável é o valor do escalar para situações de sessões isoladas.

Porém, quando múltiplas sessões são ajustadas em combinado, os valores do escalar é bem mais coerente com expressões dependentes de n . A expressão abaixo, obtida empiricamente no decorrer desta pesquisa, fornece uma boa aproximação para o fator escalar dos ajustamentos que combinam linhas de base independentes de mais de uma sessão:

$$\text{Fator escalar} = 1,10 \cdot \left(\frac{n}{2}\right)^{\frac{1}{s}} \quad (5.1)$$

Onde:

- n número de receptores na sessão; e
- s número de sessões combinadas no ajustamento.

Na terceira coluna da tabela 13, foi relacionado cada fator escalar médio encontrado nos ajustamentos, conforme o número de estações rastreadas e o número de sessões combinadas no ajustamento. Na coluna da direita foram relacionados os valores de escalar obtidos a partir da expressão empírica, conforme a equação 5.1.

Tab. 13 – Fator escalar da incerteza, obtido conforme o número de vértices ajustados.

nº. de vértices (<i>n</i>)	nº. de sessões (<i>s</i>)	Fator obtido nos ajustamentos	$1,10 \cdot \left(\frac{n}{2}\right)^{\frac{1}{s}}$
3	2	1,36	1,35
4	2	1,53	1,56
	4	1,30	1,31
5	2	1,71	1,74
	3	1,50	1,49
6	3	1,60	1,59

5.3. VARIAÇÃO DE RESULTADOS NO DECORRER DO DIA

Com base em sessões de 90 min, rastreadas em diferentes momentos do dia e ajustadas isoladamente, foi possível estimar que horários proporcionam resultados de menores incertezas. Para produzir uma padronização que favorecesse a comparação dos sigmas, todos os dados ajustados foram de uma rede formada por 4 pontos da RBMC, conforme os cálculos M e N da tabela 9.

Por meio do gráfico na figura 13 é possível notar que os ajustamentos que apresentaram menores sigmas foram resultantes dos rastreios realizados entre 03:00 e 04:30 e entre 19:00 e 20:30. Já os maiores sigmas concentram-se entre 13:00 e 17:00.

A resposta para essa variação nas incertezas das coordenadas no decorrer do dia foi inicialmente buscada nos valores de *Position Dilution of Precision* (PDOP). No anexo F foram colocados os gráficos de valores do PDOP referentes ao vértice UFPR, para os dias 274, 276, 277, 316 e 319. Esses gráficos mostram o PDOP sempre menor que 2,5 e que suas variações no decorrer desses dias, além de inexpressivas, não coincidem com a variação apresentada pelas incertezas. Por outro lado, a variação dessas incertezas no decorrer do dia coincide perfeitamente com a informação fornecida pelos mapas TEC do anexo A, sendo coerente com o que foi abordado sobre refração ionosférica no item 2.6.2 deste trabalho.

Nos cálculos H e I da tabela 9, em que só foram usadas sessões de 12:00 a 13:30, os sigmas encontrados nos ajustamentos que usaram todas as LB de sessões isoladas,

equivalem ao sigma obtido nos ajustamentos combinando duas sessões, depois de escalado.

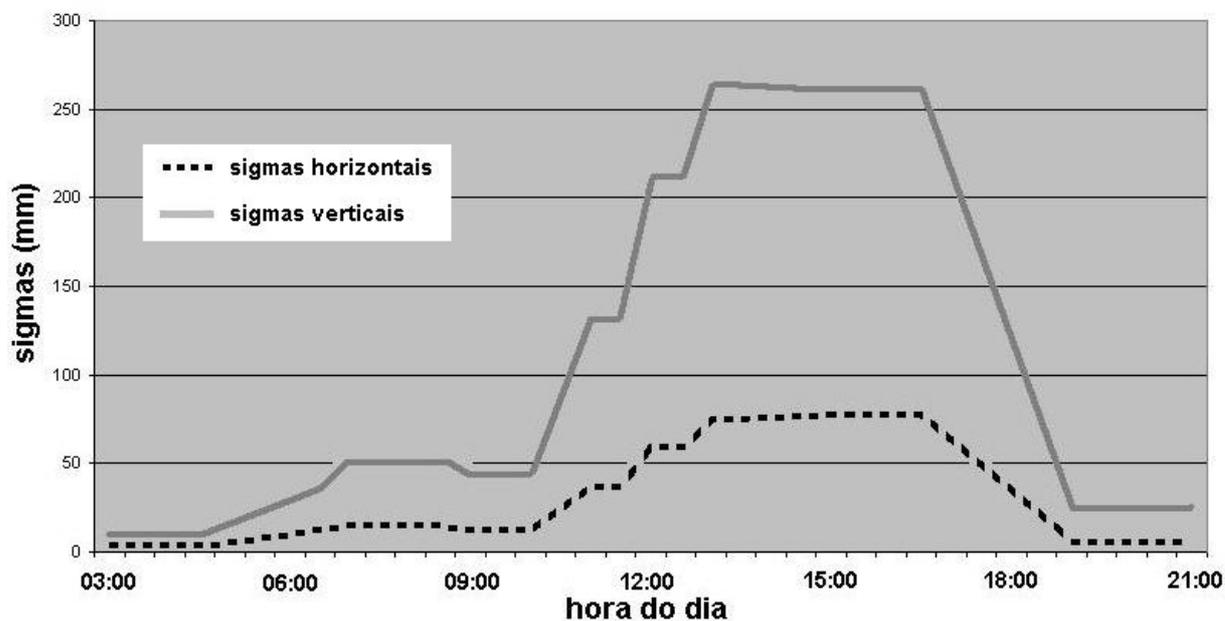


Fig 13 – Valores médios das incertezas no decorrer do dia

5.4. COMPARAÇÃO COM OS RESULTADOS DO BERNESE

Assim como ocorrem com os valores das coordenadas obtidas no TGO, as coordenadas dos vértices obtidas no Bernese sofrem pouca variação, seja por ajustamento de sessões isoladas, seja combinando sessões. Na tabela 14 estão registradas as variações nas latitudes, nas longitudes e nas alturas das coordenadas registradas na tabela 11.

Tab. 14 – Variação nas coordenadas, conforme o programa utilizado no ajustamento.

PROGRAMA	VARIAÇÃO	LATITUDE (mm)	LONGITUDE (mm)	ALTURA (mm)
TGO	Mínima	2	3	0.75
	Máxima	9	10	2
	MÉDIA	6	6	1.3
Bernese	Mínima	3	9	17
	Máxima	13	23	59
	MÉDIA	8	17	40

Com relação às incertezas, os valores obtidos em ambos os programas são semelhantes somente nos ajustamentos de sessões isoladas. Quando sessões são ajustadas de forma conjunta, as incertezas geradas pelo Bernese continuam no mesmo patamar apresentado nas sessões isoladas; porém, os sigmas gerados no TGO tornam-se maiores. No caso do vértice CACU, sessão 276.2, o sigma da latitude sobe de 0,3 mm para 2,3 mm. É um aumento de quase 10 vezes, conforme citado na alínea f do item 5.1.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foram abordados alguns aspectos da inclusão de linhas de base triviais no ajustamento de redes GPS, com uso de um programa comercial de processamento, o TGO. Para um grande número de usuários de dados GPS, o uso de programas desse tipo é a única alternativa viável, em virtude de a manipulação de programas científicos exigir muito treinamento e um conhecimento teórico mais abrangente.

Redes de diferentes configurações foram rastreadas em sessões de características diversas. As diferenças criadas na configuração das redes referem-se ao número de vértices e ao comprimento das linhas de base. Foram estabelecidas redes de 3 a 6 vértices. As LB tiveram comprimentos de 2 a 1000 km. As diferenças nas sessões foram introduzidas em seu tempo de rastreio e no instante do dia em que a sessão foi realizada.

No momento dos ajustamentos, em cada sessão, foram feitos cálculos com todas as LB e também com diferentes combinações de LB independentes. Além disso, foram feitas combinações de LB de 2, 3 e 4 sessões de rastreio, totalizando mais de 1000 ajustamentos.

Pouca variação pôde ser observada nas coordenadas dos vértices das redes em função do número de sessões combinadas ou em função das linhas de base selecionadas. As possíveis variações se observam nas incertezas dessas coordenadas.

Observou-se que os sigmas das coordenadas obtidas nos ajustamentos que usam todas as LB da sessão são menores que a média dos sigmas obtidos nas combinações de LB independentes. Porém, como a inclusão das linhas de base triviais produz uma falsa redundância no ajustamento, as incertezas geradas nos ajustamentos feitos só com LB independentes tornam-se mais realistas. Em contrapartida, o resultado desse tipo de ajustamento varia conforme a combinação de LB independentes feita.

Isso faz com que alguns autores, já citados nesta pesquisa, afirmem que a opção mais adequada seja fazer o ajustamento com todas as linhas de base, evitando o problema da diversidade de resultados, devendo as incertezas ser multiplicadas por $\frac{n}{2}$. Quanto a esse assunto, o seguinte pôde ser verificado:

1. O fator $\frac{n}{2}$ deve ser aplicado às incertezas das coordenadas oriundas de ajustamentos de sessões isoladas. Não se aplica a ajustamentos que combinam linhas de base rastreadas em momentos distintos, ou seja, diferentes sessões de rastreio. Além disso, algumas condições devem ser atendidas para que o fator seja aplicável. Essas condições, citadas no item 2.5, são difíceis de serem atendidas na prática. Por fim, o fator $\frac{n}{2}$ mostrou-

se aplicável em poucos ajustamentos feitos nesta pesquisa; e

2. Quando há dados de mais de uma sessão de rastreo e no ajustamento são usadas todas as linhas de base processadas (independentes + triviais), é possível observar um comportamento bem homogêneo do fator escalar a ser aplicado às incertezas das coordenadas das estações. O autor da presente pesquisa, de forma empírica, conseguiu obter uma expressão para calcular de maneira bem aproximada esse fator escalar. Essa fórmula está vinculada ao número de vértices da rede (n) e ao número de sessões (s) combinadas no ajustamento: $1,10.\left(\frac{n}{2}\right)^{\frac{1}{s}}$.

O fato de os sigmas verticais terem valores três vezes maiores que os horizontais corresponde às características do sistema GPS, que privilegia o posicionamento horizontal.

Ainda que os ajustamentos de redes a partir sessões isoladas produzam incertezas, em média, dez vezes menores, esses valores devem ser considerados irrealistas. A combinação de sessões proporciona uma melhor amostragem de dados, obtidos em diferentes condições.

Nos ajustamentos de LB independentes de sessões combinadas não devem ser adotadas linhas de base que, sendo de sessões distintas, se sobreponham. Esse procedimento reduz a rigidez da rede, além de diminuir o número de circuitos fechados. O que foi denominado aqui de “circuito” é cada um dos diversos triângulos formados pelos vértices da rede.

A refração ionosférica interferiu nas incertezas das coordenadas. Torna-se, assim, recomendável fazer uma consulta aos mapas TEC na fase de planejamento do rastreo GPS, a fim de obter informações sobre o horário do dia em que o atraso ionosférico é menos intenso. Conforme citado no item 2.6.2, mapas TEC em tempo real podem ser obtidos na internet. No caso deste trabalho, o período das 13:00 às 17:00 (horário de Brasília) deveria ter sido evitado ou seus dados deveriam ser descartados.

Recomenda-se que sejam efetuados mais testes para que se confirme a validade da expressão $1,10.\left(\frac{n}{2}\right)^{\frac{1}{s}}$ em ajustamento de dados oriundos de rastreios com outras características e cujas redes tenham configurações diferentes das aqui apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAARDA, W. **A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks**. Publications on Geodesy – New Series, Vol 2, nº 5. Delft: International Association of Geodesy (IAG), 1968. 97p.
- BECK, N.; DUVAL, R.; TAYLOR, P. **GPS Processing Methods: Comparison with Precise Trilateration**. Journal of Surveying and Engineering, Vol. 115, nº 2, 1989. p 181-197.
- CANADA CENTRE FOR SURVEYING (CCS). **Guidelines and Specifications for GPS Surveys**. Release 2.1. Vancouver: Geodetic Survey Division, 1992. 63p.
- CRAYMER, M.R.; WELLS, D.E.; VANICEK, P.; DEVLIN, R.L. **Specifications for Urban GPS Surveys**. Surveying and Land Information System, vol 50, nº 4, 1990. p 251-259
- CRAYMER M. R.; BECK, N. **Session Versus Baseline Processing**. International Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation: New Mexico, 1992. p 995-1004.
- CRAYMER, M.R. **Recomended Procedure for the Adjustment of Individual GPS Baseline Solutions** - Internal Report. Geodetic Survey Division, Geomatics Canada, 1995. 1p.
- DACH, R.; HUGENTOBLE, U.; FRIDEZ, P.; MEINDI, M. **Bernese GPS Software Version 5.0 – User Manual**. Berne: Universidade de Berne, 2007. 612p
- DALMOLIN, Q. **Ajustamento por Mínimos Quadrados**. 2 ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2004. 175p.
- EL-RABBANY, A.E-S. **The Effect of Physical Correlations on the Ambiguity Resolution and Accuracy Estimation in GPS Differential Positioning**. Tese (Doutorado em Filosofia). Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report nº 170. Fredericton: University of New Brunswick, 1994. 161p.
- FERNANDES, R. A. **Estatística Básica - Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais**. Niterói: Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), 1998. 85p.
- FERNANDES, R. A. **Linhas de Base Independentes e Redundância em Redes GPS**. Anais Hidrográficos, Tomo LXI. Rio de Janeiro: Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), 2004. p 35-42.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Resolução do Presidente do IBGE nº 1/05 - Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2005.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Projeto Infra-Estrutura Geoespacial Nacional (PIGN)**. Revista Ponto de Referência, Ano 1, nº 1. Rio de Janeiro, IBGE, 2006. p 2.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Integração da RBMC e RIBaC**. Revista Ponto de Referência, nº 2. Rio de Janeiro, IBGE, 2007. p 22-23.

- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos GPS** (preliminares). Rio de Janeiro: IBGE, 2008. Disponível em www.concar.ibge.gov.br. Acesso em 16/MAR/08.
- GARNÉS, S. J. A.; SAMPAIO, R. J. B.; DALMOLIN, Q. **Ajustamento Paramétrico por Mínimos Quadrados com Análise na Estabilidade da Solução**. Boletim de Ciências Geodésicas, Vol 2. Curitiba: Universidade Federal do Paraná (UFPR), 1997. p 3-11.
- GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações – Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná (UFPR), 1994. 319p.
- GEMAEL, C.; ANDRADE, J. B. **Geodésia Celeste**. Curitiba: Editora UFPR, 2004, 389p.
- HAN, S.; RIZOS, C. **Standardization of the Variance-Covariance Matrix for GPS Rapid Static Positioning**. Geomatics Research Australasia, nº 62, 1995. p 37-54.
- HOLLMANN, R.; OSWALD, W.; WELSCH, W. **Processing of GPS Phase Observations in Every Day Life: How Much Can Various Network Solutions Differ and How Can They Be Compared?** Manuscripta Geodaetica, Vol. 15, 1990. p 124-136.
- INTERNATIONAL GPS SERVICE (IGS). **IGS Final Orbit**. Pasadena, CA: IGS Central Bureau, 2008. Disponível em http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html. Acesso em 21/MAR/08.
- INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO). **Manual on Hydrography – Publication M-13**. 1 ed. Mônaco: International Hydrographic Bureau, 2005, 540 p.
- JONGE, P. J. **A Processing Strategy for the Application on the GPS in Networks**. Tese (Doutorado em Geodésia Matemática e Posicionamento). Delft: Delft University of Technology, 1998. 225p.
- MADER, G. L. **GPS Antenna Calibration**. Silver Spring: National Geodetic Survey (NGS), 2008. Disponível em <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/images/summary.html>. Acesso em 22/MAR/08.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000. 287p.
- SEEBER, G.; ROMÃO, V. M. C. **Princípios Básicos do GPS nas Medições Geodésicas**. Revista Geodésia Online nº 2. Florianópolis: Comissão Brasileira de Geodésia (CBG), 1997. Disponível em <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/1997/02/GO-2-1997-Verse.PDF>. Acesso em 06/ABR/08.
- SEEBER, G., **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. 2. ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2003. 589 p.
- SILVA, N. C. C.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. **Efeito da Refração Troposférica no Posicionamento Geodésico com GPS**. Revista Brasileira de Geofísica, Vol 17 (2,3). Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 1999. p 117-128.
- SMITH, J. R. **Introduction to Geodesy – The History and Concepts of Modern Geodesy**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 224p.

TEUNISSEN, P. J. G.; KLEUSBERG, A. **GPS for Geodesy**. 2 ed. Berlin: Springer, 1998. 650p.

TORGE, W. **Geodesy**. 3 ed. New York: Walter de Gruyter, 2001. 416p.

TRIMBLE GEOMATICS OFFICE (TGO) Version 1.5 – **WAVE Baseline Processing User Guide**. Sunnyvale, EUA: Trimble Navigation Limited, 2001. 178p.

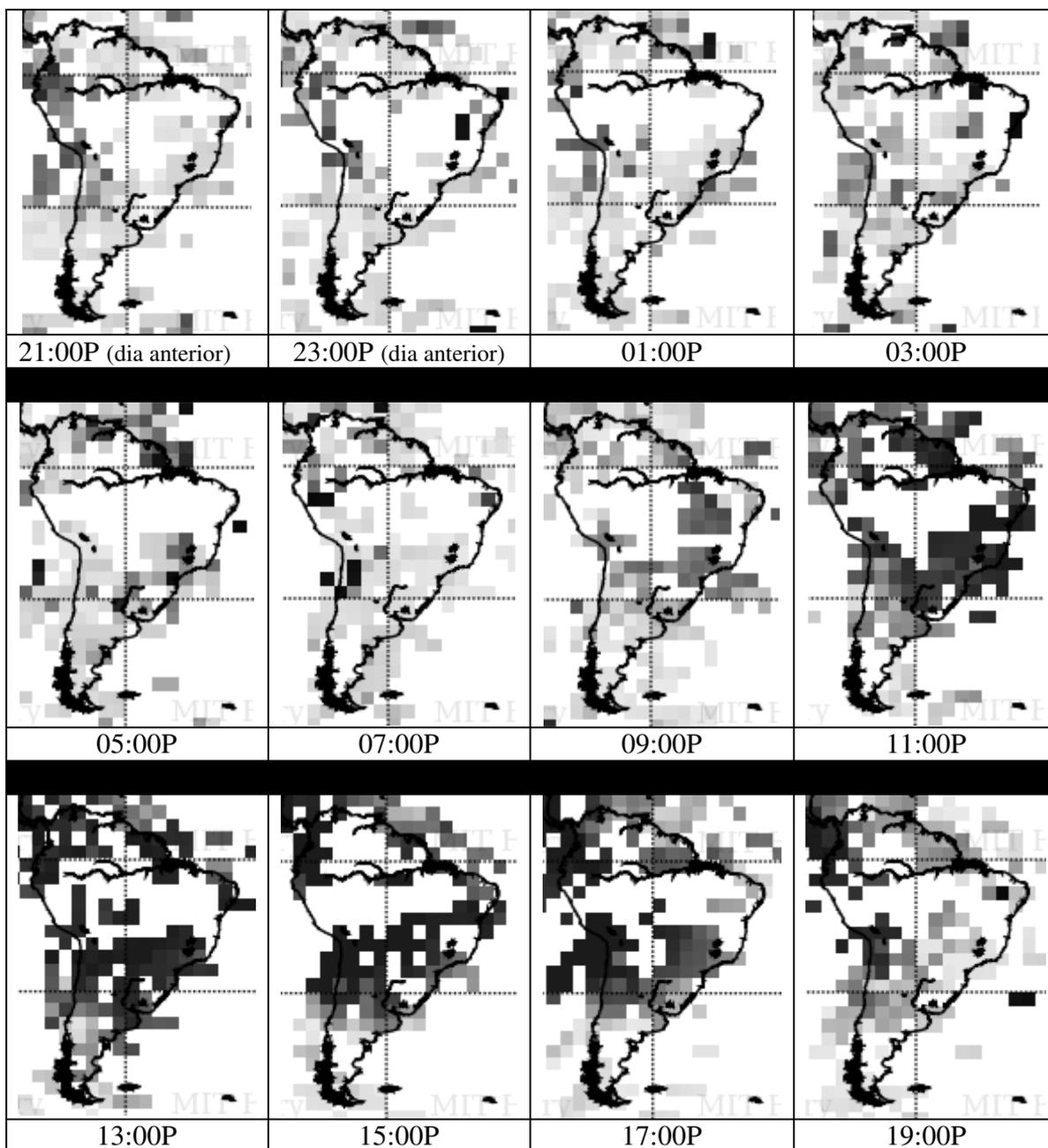
VINCENY, T. **On the Use of GPS Vectors in Densification Adjustments**. Surveying and Mapping, Vol. 47, No. 2, 1987. p 103-108.

WOLF, P. R.; GHILANI, C.D. **Elementary Surveying – An Introduction to Geomatics**. 11 ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2006. 916p.

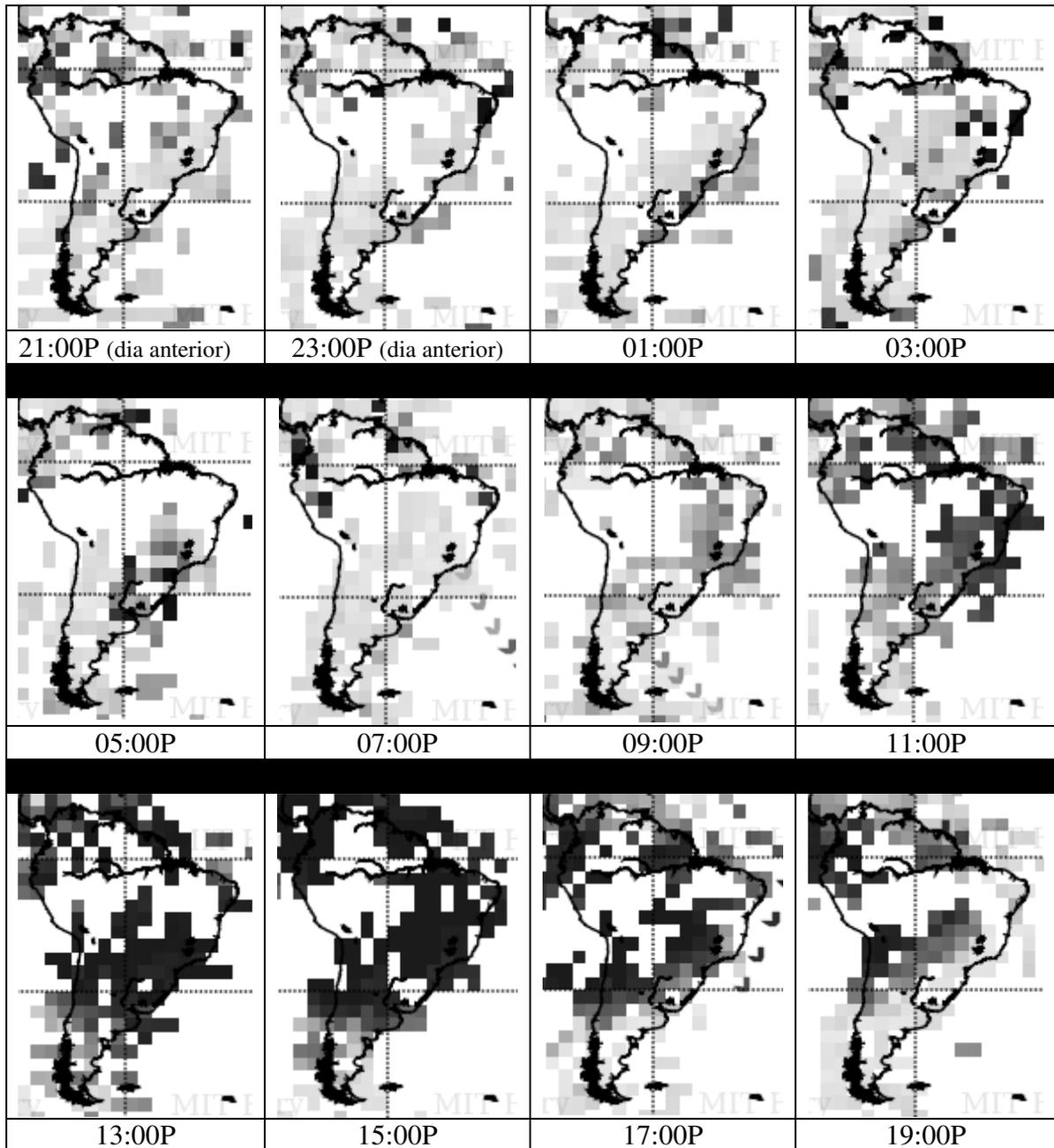
Anexo A

MAPAS TEC DOS DIAS RASTREADOS

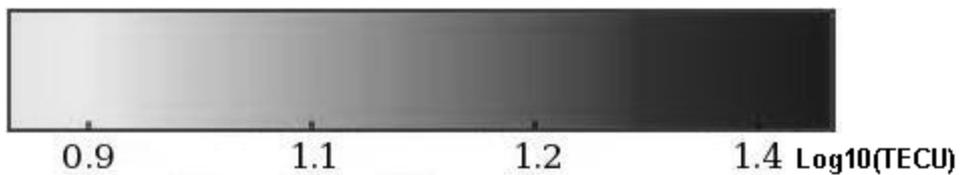
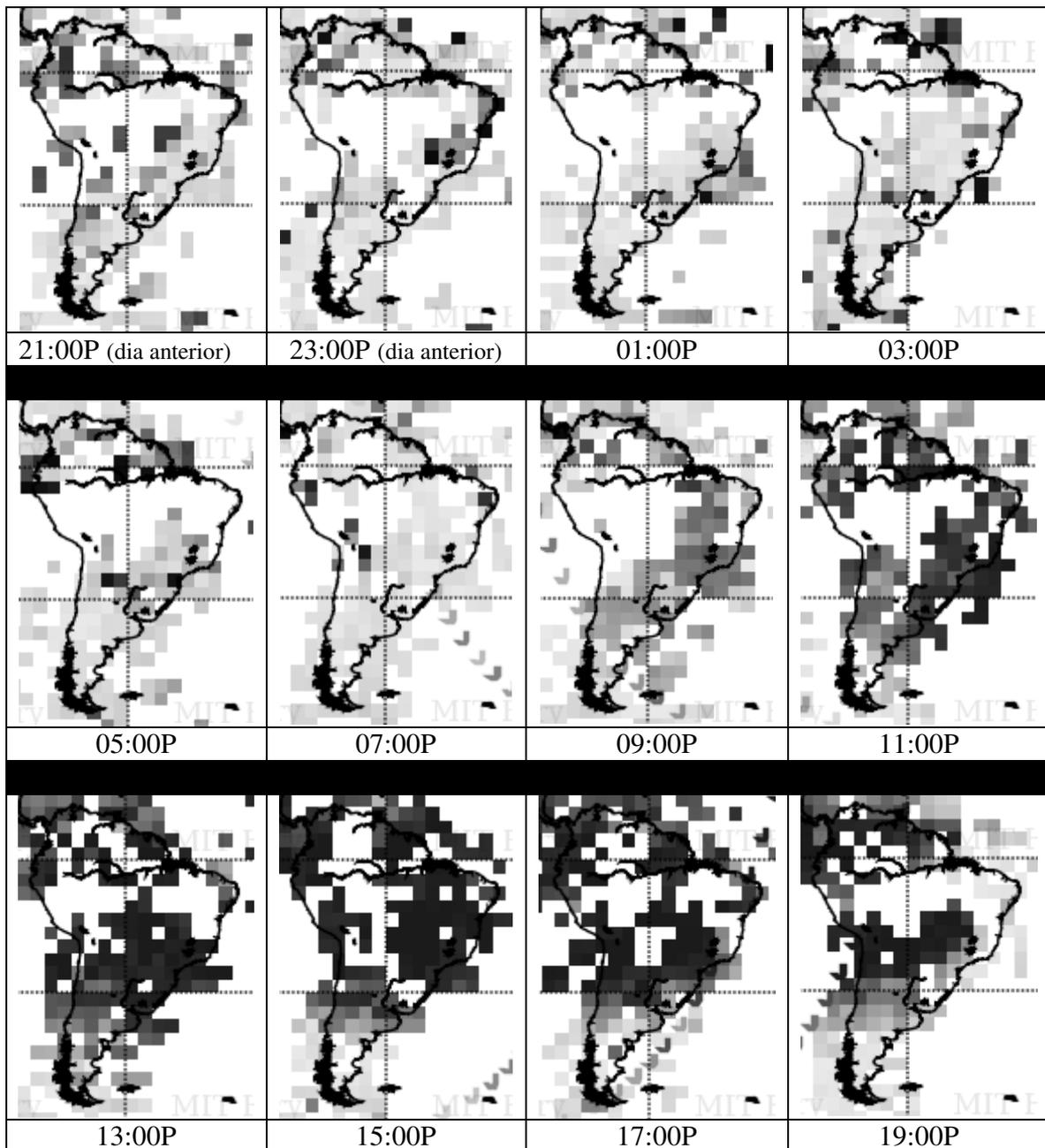
MAPAS TEC para o dia 274



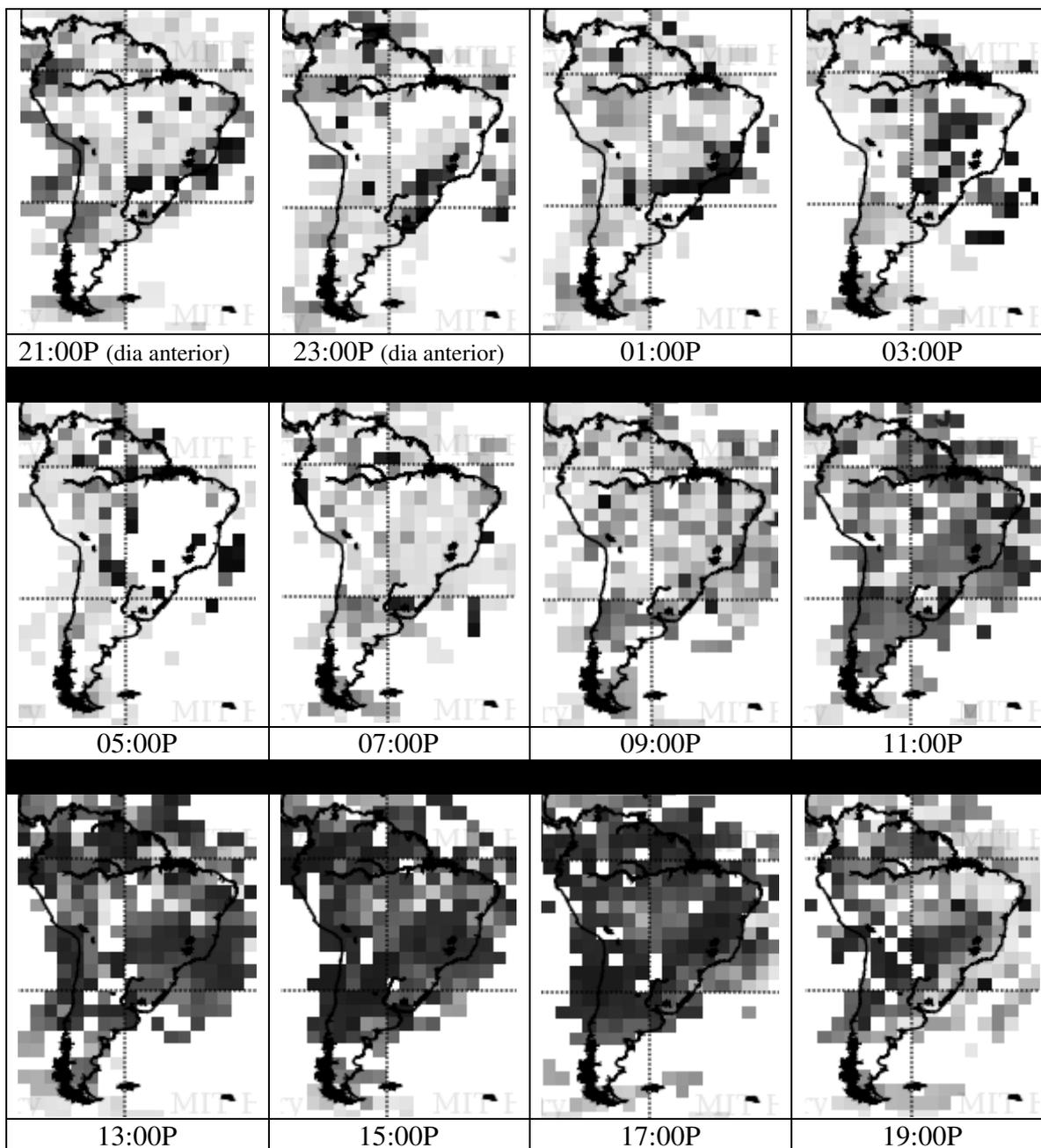
MAPAS TEC para o dia 276



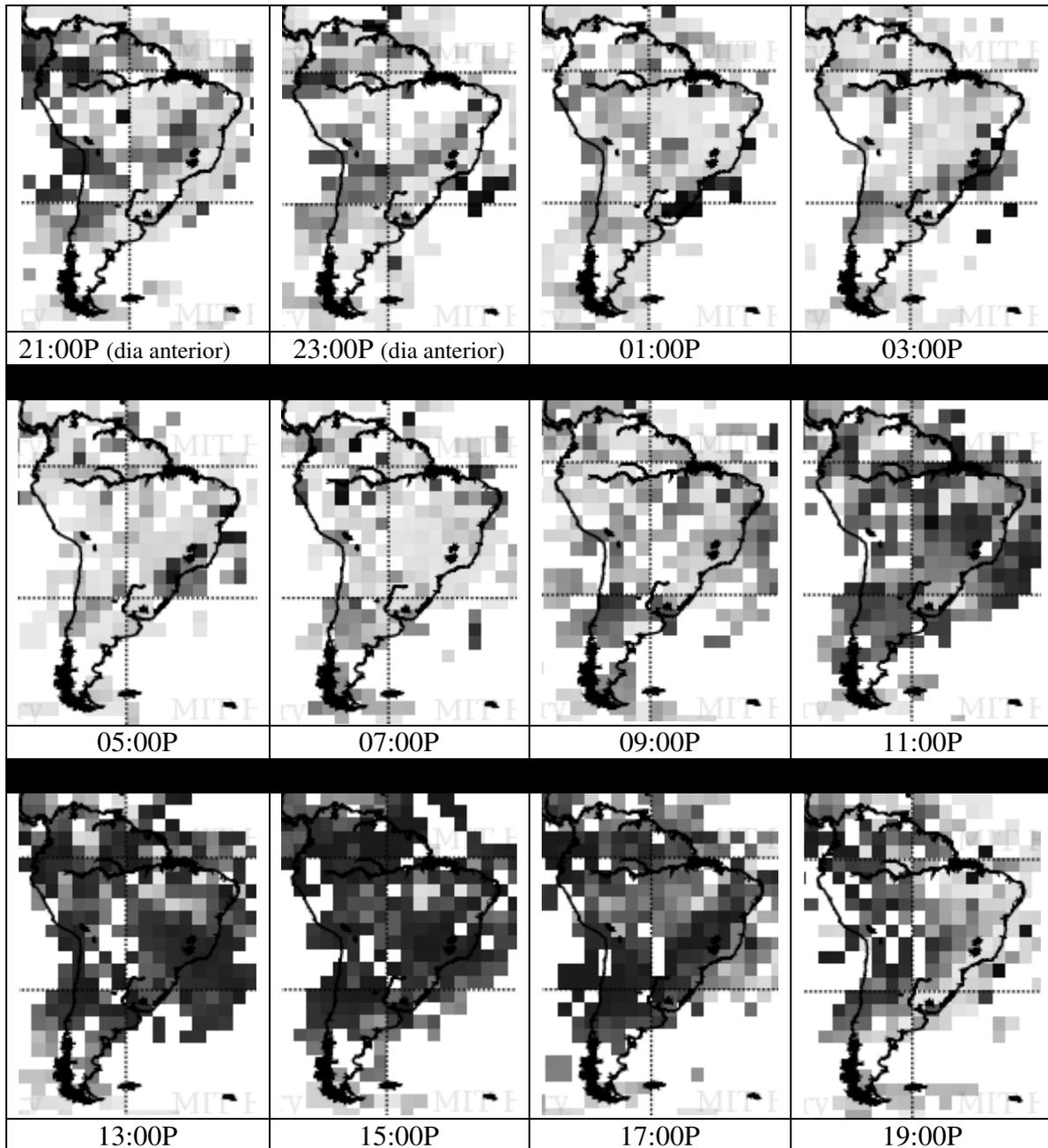
MAPAS TEC para o dia 277



MAPAS TEC para o dia 316



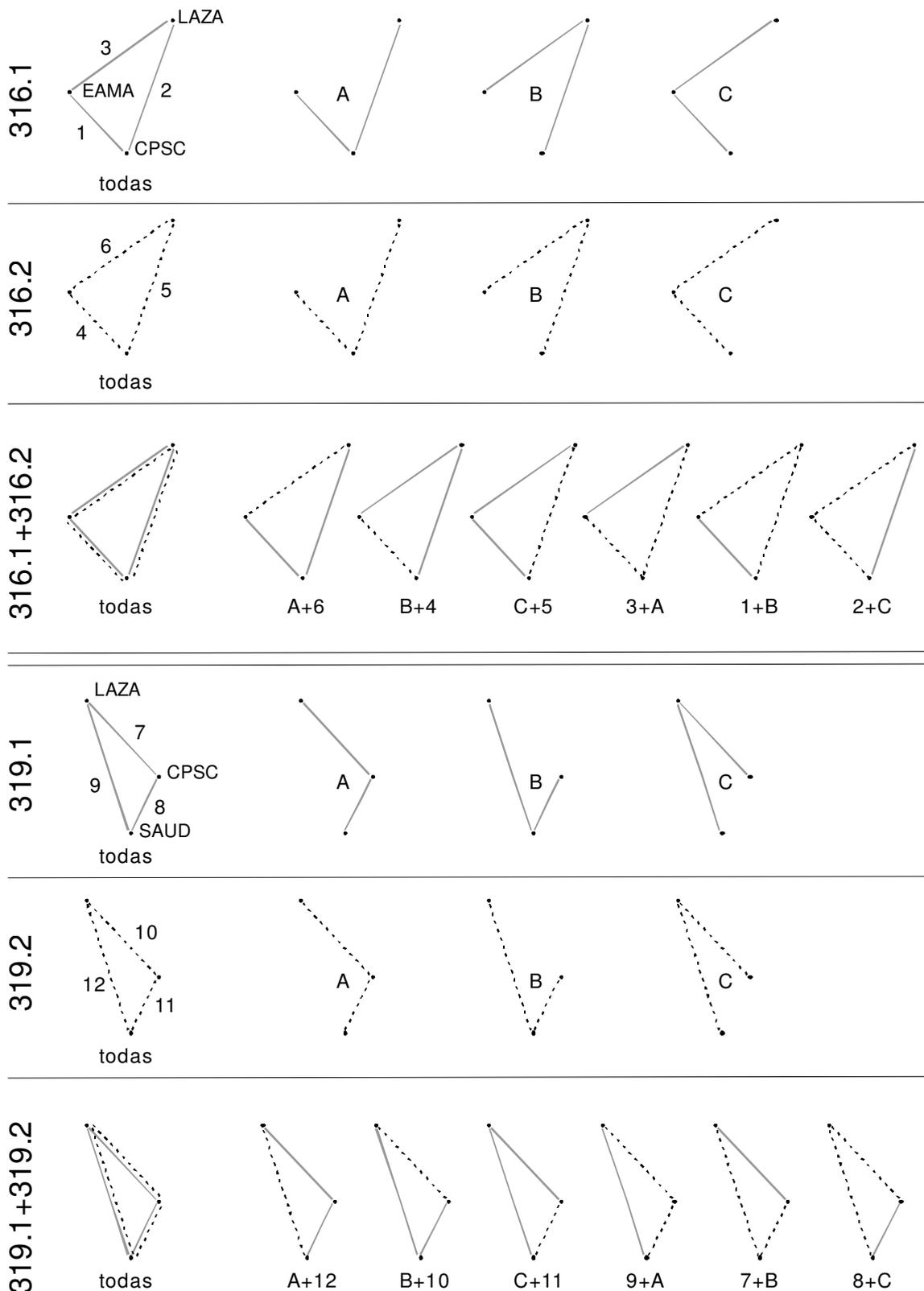
MAPAS TEC para o dia 319



Anexo B

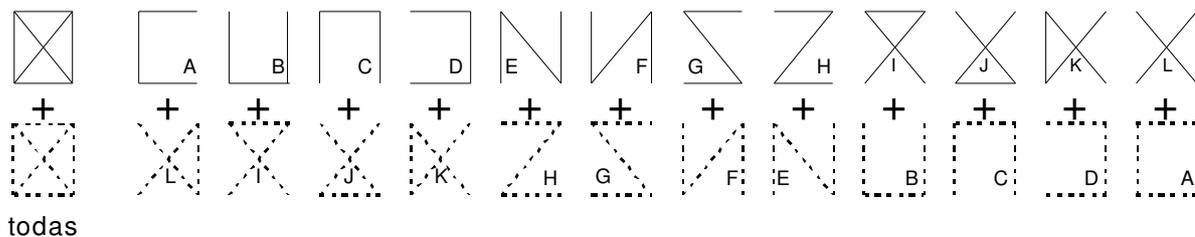
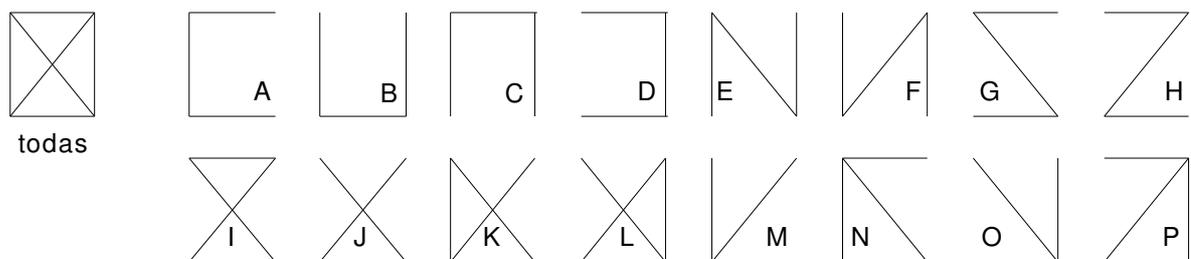
COMBINAÇÕES POSSÍVEIS COM LINHAS DE BASE INDEPENDENTES

Dias 316 e 319

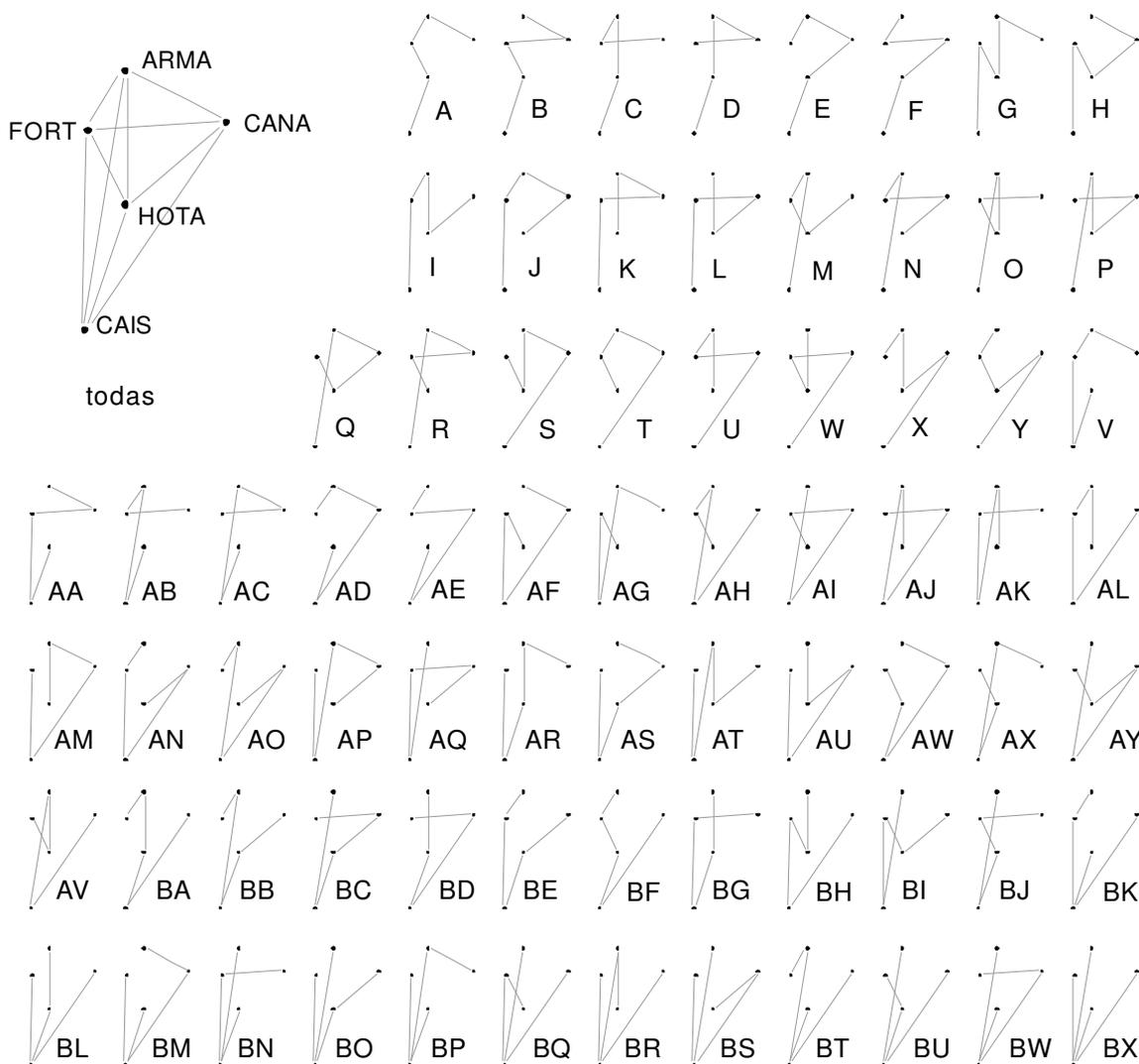


316.1+316.2 + 319.1+319.2		Linha de Base CPSC x EAMA ocorre 2 vezes							
		(A+B) + (C+B)	(A+B) + (A+B)	(A+B) + (B+A)	(A+B) + (B+C)	(C+B) + (C+B)	(C+B) + (A+B)	(C+B) + (B+A)	(C+B) + (B+C)
		(B+A) + (C+B)	(B+A) + (A+B)	(B+A) + (B+A)	(B+A) + (B+C)	(B+C) + (C+B)	(B+C) + (A+B)	(B+C) + (B+A)	(B+C) + (B+C)
		Linha de Base CPSC x EAMA ocorre 3 vezes							
		(A+B) + (C+A)	(A+B) + (A+C)	(C+B) + (C+A)	(C+B) + (A+C)	(B+A) + (C+A)	(B+A) + (A+C)	(B+C) + (C+A)	(B+C) + (A+C)
		(A+C) + (C+B)	(A+C) + (A+B)	(A+C) + (B+A)	(A+C) + (B+C)	(C+A) + (C+B)	(C+A) + (A+B)	(C+A) + (B+A)	(C+A) + (B+C)
		Linha de Base CPSC x EAMA ocorre 4 vezes							
		(C+A) + (C+A)	(C+A) + (A+C)	(A+C) + (C+A)	(A+C) + (A+C)				

Redes com 4 vértices
(usando como modelo um quadrilátero genérico)



Redes com 5 vértices
(usando a rede de Florianópolis do dia 277 como modelo)



Em virtude do grande número de combinações possíveis, apenas algumas foram selecionadas, de maneira aleatória:

Ajustamento isolado da sessão (figuras abertas)	BX	BK	BM	BO	BQ	BS	BU	AF	AJ	AN	AW	BB	BD	BG
	AA	AC	AI	AM	AS	AU	BF	BI	A	E	I	M	Q	U

Ajustamento combinando duas sessões (figuras fechadas)	A+L	C+AF	E+AK	G+BC	K+AO	M+BD	O+E	Q+AE	U+BI	X+R	Y+AI
	AB+AU	AF+N	AH+AR	AJ+AS	AL+Q	AP+BD	AR+M	AT+T	AW+AK	BA+R	BC+AF
	BE+AJ	BG+M	Q+BL	BM+O	T+BN	BO+S	BQ+E	B+BR	BS+D	H+BT	G+BW

Anexo C

ALTURA DAS ANTENAS COMPUTADA ATÉ O CENTRO DE FASE L1
Conforme dados calibrados pelo NGS/NOAA

DIA / SEMANA	ESTAÇÃO		SESSÃO (fuso P)	ALTURA (m)
RBMC	Curitiba	UFPR	-	0.185
	Santa Maria	SMAR	-	0.079
	Imbituba	IMBT	-	0.093
	Cananéia	NEIA	-	0.110
	Cachoeira Paulista	CHPI	-	0.188
	Escola politécnica da USP	POLI	-	0.135
	Rio de Janeiro	RIOD	-	0.074
	Varginha	VARG	-	0.116
	Vitória	CEFE	-	0.085
	Uberlândia	UBER	-	0.091
Dia 274 01.OUT.07 1447.1	Terraço do prédio CPSC (MT 60062)	CPSC	09:45-15:46	1.811
			16:01-22:07	1.810
Dia 276 03.OUT.07 1447.3	Terraço do prédio CPSC (MT 60062)	CPSC	08:20-16:32	1.497
	Ponta Tomé Cardoso (MT 79021)	TOME	09:29-11:35	1.471
			13:50-15:55	1.464
	Ponta Cacupé Grande (MT 79016)	CACU	09:25-11:35	1.237
			13:45-15:55	1.327
	Ilha Anhatomirim (MT 79014)	FORT	09:25-11:35	1.409
13:50-15:55			1.340	
Dia 277 04.OUT.07 1447.4	Cais da CPSC (MT 79009)	CAIS	09:29-15:35	1.188
			16:05-22:05	1.205
	Canasvieiras (MT 79023)	CANA	10:25-16:05	1.563
	Ponta da Ilhota (MT 79015)	HOTA	10:25-12:35	1.543
			12:55-15:05	1.403
	Ponta da Armação (MT 79024)	ARMA	10:30-12:30	1.418
13:00-15:00			1.497	

	Ilha Anhatomirim (MT 79014)	FORT	10:30-12:30	1.453
			13:00-15:00	1.578
Dia 312 08.NOV.07 1452.4	Cais da CPSC (MT 79009)	CAIS	09:55-12:05	1.429
			12:55-15:05	1.425
Dia 313 09.NOV.07 1452.5	Cais da CPSC (MT 79009)	CAIS	10:00-12:05	1.303
			13:31-15:31	1.287
Dia 316 12.NOV.07 1453.1	Terraço do prédio CPSC (MT 60062)	CPSC	10:25-12:35	1.653
			12:55-15:05	1.546
	Escola de Aprendizes (MT 79137)	EAMA	10:30-12:35	1.227
			12:55-15:05	1.237
	Ilha Lazareto (MT 79142)	LAZA	10:30-12:30	1.246
			13:00-15:00	1.261
Dia 319 15.NOV.07 1453.4	Terraço do prédio CPSC (MT 60062)	CPSC	13:55-15:03	1.215
			15:10-16:20	1.230
	Escola de Aprendizes (MT 79137)	EAMA	08:44-16:15	1.274
	Praia da Saudade (MT 79143)	SAUD	14:00-15:00	1.153
			15:15-16:15	1.157

Obs: MT é a sigla para "marco testemunho". Todos os MT citados neste anexo foram implantados pela DHN.

Anexo D

COORDENADAS APROXIMADAS DOS VÉRTICES RASTREADOS EM FLORIANÓPOLIS

Datum WGS-84

GEODÉSICAS

PONTO	LATITUDE (sul)	LONGITUDE (oeste)	ALTURA (m)
TOME	27° 28' 09.626"	048° 38' 13.947"	2.100
CACU	27° 32' 21.206"	048° 31' 50.660"	4.035
FORT	27° 25' 41.506"	048° 33' 49.229"	13.733
CANA	27° 25' 16.009"	048° 26' 05.481"	24.391
HOTA	27° 29' 29.189"	048° 32' 21.069"	2.827
ARMA	27° 22' 43.071"	048° 31' 43.628"	5.011
EAMA	27° 34' 32.556"	048° 35' 21.269"	3.117
LAZA	27° 33' 09.019"	048° 33' 06.106"	2.152
SAUD	27° 36' 40.910"	048° 34' 36.255"	2.705

CARTESIANAS
(convertidas no TCGeo)

PONTO	X (m)	Y (m)	Z (m)
TOME	3742308.087	-4250376.322	-2924457.299
CACU	3747832.674	-4240736.496	-2931326.831
FORT	3749157.540	-4247153.283	-2920416.679
CANA	3758943.092	-4238990.806	-2919724.972
HOTA	3748826.341	-4243121.347	-2926630.328
ARMA	3753411.999	-4246757.813	-2915536.639
EAMA	3742262.885	-4243157.592	-2934910.818
LAZA	3745829.642	-4241595.656	-2932630.866
SAUD	3741977.767	-4240968.281	-2938412.148

Anexo E

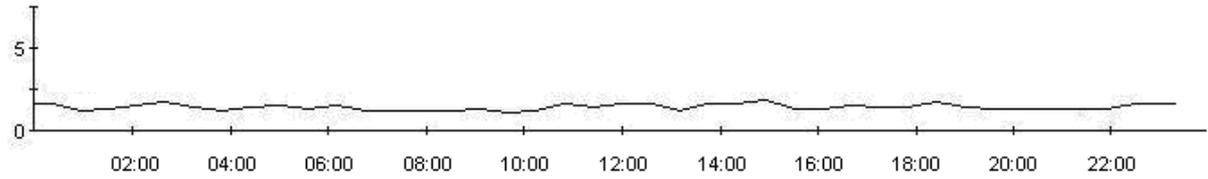
RECEPTORES E ANTENAS UTILIZADOS EM FLORIANÓPOLIS

DIA	ESTAÇÃO	RECEPTOR	ANTENA
274	CPSC	Trimble 4800	Trimble receiver + Internal microcentered antenna (TRM 4800)
276	CPSC	Trimble 4000 SSE	Trimble Geodetic L1/L2 compact + groundplane (TRM 22020.00 + GP)
	TOME	Trimble 4700	Trimble L1/L2 microcentered geodetic + groundplane (TRM 33429.00 + GP)
	CACU	Trimble 4800	Trimble receiver + Internal microcentered antenna (TRM 4800)
	FORT	Trimble 4700	Trimble L1/L2 microcentered geodetic + groundplane (TRM 33429.00 + GP)
277	CAIS	Trimble 4000 SSE	Trimble Geodetic L1/L2 compact + groundplane (TRM 22020.00 + GP)
	CANA	Trimble 4700	Trimble L1/L2 microcentered geodetic + groundplane (TRM 33429.00 + GP)
	HOTA	Trimble 4800	Trimble receiver + Internal microcentered antenna (TRM 4800)
	ARMA	Trimble 4700	Trimble L1/L2 microcentered geodetic + groundplane (TRM 33429.00 + GP)
	FORT	Trimble 4800	Trimble receiver + Internal microcentered antenna (TRM 4800)
312	CAIS	Trimble 4800	Trimble receiver + Internal microcentered antenna (TRM 4800)
313	CAIS	Trimble 4800	Trimble receiver + Internal microcentered antenna (TRM 4800)
316	CPSC	Trimble 4800	Trimble receiver + Internal microcentered antenna (TRM 4800)
	EAMA	Trimble 4800	Trimble receiver + Internal microcentered antenna (TRM 4800)
	LAZA	Trimble 4700	Trimble L1/L2 microcentered geodetic + groundplane (TRM 33429.00 + GP)
319	CPSC	Trimble 4800	Trimble receiver + Internal microcentered antenna (TRM 4800)
	EAMA	Trimble 4700	Trimble L1/L2 microcentered geodetic + groundplane (TRM 33429.00 + GP)
	SAUD	Trimble 4700	Trimble L1/L2 microcentered geodetic + groundplane (TRM 33429.00 + GP)

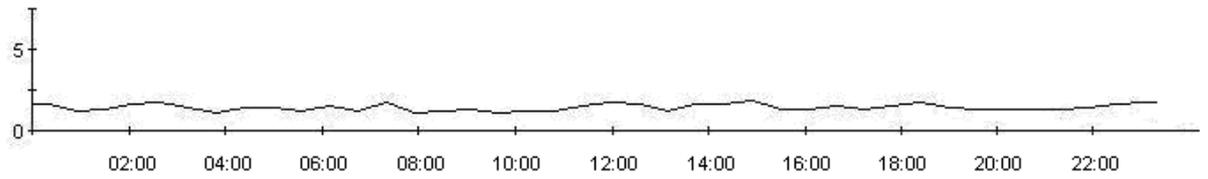
Anexo F

COMPORTAMENTO DO PDOP NO VÉRTICE UFPR

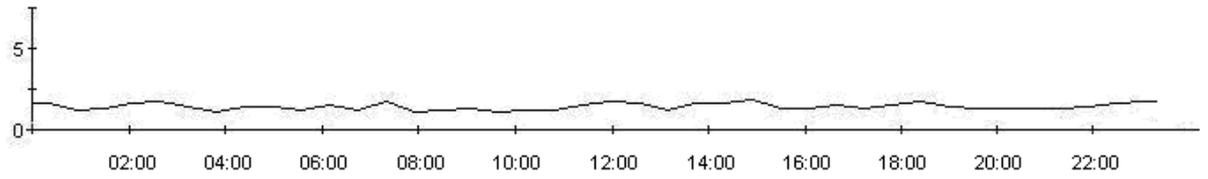
Dia 274



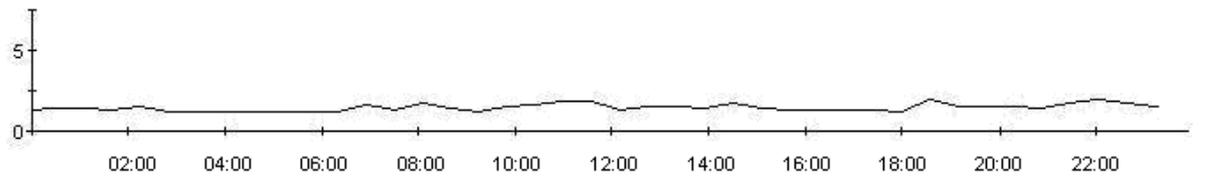
Dia 276



Dia 277



Dia 316



Dia 319

