CAPÍTULO 3

O SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO - SGB

"As mudanças são a solução, não o problema."

Pamela Godwin

3.1 - INTRODUÇÃO

A intenção deste capítulo é apresentar o Sistema Geodésico Brasileiro, mais especificamente sua componente planimétrica, através:

a) da sua definição;

b) do Sistema Geodésico no qual está integrado;

c) das principais etapas de como foi, e de como continua a ser implantado;

d) e finalmente, de uma incipiente e adequada discussão sobre alguns temas relacionados à rede SAD 69/96, última realização do Sistema SAD 69 no Brasil.

3.2 - DEFINIÇÃO DO SGB

"*Em maio de 1944, o IBGE iniciava o estabelecimento do Sistema Geodésico Brasileiro, orientado por enfoque sistêmico, com a medição da base de Goiânia. No mês seguinte foram iniciados os trabalhos de medição angular.*" [MELLO, 1986, p.63].

O IBGE, de acordo com o Capítulo VIII do Decreto-lei Nº 243, de 28 de fevereiro de 1967, que fixa as 'Diretrizes e Bases para a Cartografia Brasileira', tem a função institucional de implementar e manter o SGB. Assim sendo:

"*O Sistema Geodésico Brasileiro é definido a partir do conjunto de pontos geodésicos implantados na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país - pontos estes que são determinados por procedimentos operacionais e coordenadas calculadas, segundo modelos geodésicos de precisão compatível com as finalidades a que se destinam.*" [IBGE, 1983, p.1].

Um comentário, firmado nos conceitos já explicitados anteriormente, deve ser feito: existe uma certa impropriedade referente ao emprego do termo *definido*. No caso em questão, aplicar-se-ia mais corretamente o termo materializado ou realizado.

"*O Decreto-lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967, que fixa as 'Diretrizes e Bases para a Cartografia Brasileira', preceitua o estabelecimento de um sistema plano-altimétrico único de pontos geodésicos de controle, materializados no terreno, para servir de base ao desenvolvimento de trabalhos de natureza cartográfica, constituindo-se no referencial único para a determinação de coordenadas e altitudes em território brasileiro.*

Para o Sistema Geodésico Brasileiro, a imagem geométrica da Terra é definida pelo Elipsóide de Referência Internacional de 1967, aceito pela Assembléia Geral da Associação Geodésica Internacional que teve lugar em Lucerne, no ano de 1967. O referencial altimétrico coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar,

definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de IMBITUBA, no litoral do Estado de Santa Catarina.

O Sistema Geodésico Brasileiro integra o Sul-Americano de 1969 (SAD-69)." [IBGE, 1983, p.1].

É importante ressaltar que, historicamente, o Sistema Geodésico Brasileiro já esteve associado a outros Sistemas de Coordenadas Geodésicos, como o Sistema Itarare, Córrego Alegre, e o Astro Chuá (todos utilizando como imagem geométrica terrestre o elipsóide de Hayford) [FERRARI, 1979], o que acarreta, em tempo não menos recente, uma série de fatos preocupantes, como ressaltado em SILVA & GRIPP JR. [1996, p.110]: "*podemos verificar a prática da desobediência cultural, científica e profissional, por parte de empresas privadas, de órgãos públicos e de autônomos em relação ao uso do Sistema Geodésico de Referência exigido no Brasil.*"

3.3 - O SISTEMA SAD 69 (*South American Datum of 1969*)

Segundo o IPGH (Instituto Pan-americano de Geografia e História), o propósito de um *Sistema* Sul-americano era o de estabelecer um "*datum uniforme para uma rede continental de controle para todos os levantamentos de engenharia e trabalhos cartográficos*" [FISCHER, 1973, p.5] desenvolvidos na região. Em 1944 foram iniciados os trabalhos para se atingir este ideal, mas somente em 1969 se deu a definição do SAD 69, durante a XI Consulta Pan-americana em Cartografia, em Washington. Estas, e todo um conjunto de informações sobre a definição do SAD 69 podem ser encontrados em FISCHER [1973]. Os parâmetros definidores do sistema, apontados por CASTAÑEDA FILHO [1986], são:

a) relativos ao elipsóide (Sistema de Referência de 1967):

- semi-eixo maior (a) = 6378160,0 metros (m);
- achatamento (f) = 1 / 298,25;

b) relativos ao posicionamento espacial do elipsóide:

- componente meridiana do desvio da vertical = 0,31";
- componente 1º vertical do desvio da vertical = -3,52";
- desnível geoidal = 0,0 m;
- latitude Geodésica do Ponto Chuá = -19° 45' 41,6527";
- longitude Geodésica do Ponto Chuá = -48° 06' 04,0639";
- azimute entre Chuá-Uberaba = 271° 30' 04,05".

Deve-se aceitar, por convenção, que as latitudes negativas são as relativas ao hemisfério Sul; as longitudes negativas são a oeste do Meridiano de *Greenwich*. O azimute entre Chuá-Uberaba é contado a partir do ponto Sul. RODRIGUEZ [1977] apresenta valores diferentes para as componentes do desvio da vertical referentes ao vértice Chuá: para a componente meridiana, igual a 0,1771"; para a componente primeiro vertical, igual a 2,6327". A leitura do trabalho não fornece subsídios que justifiquem a diferença entre os valores, a menos da suposição de que estes valores estão associados ao elipsóide Internacional de 1924 (ou elipsóide de Hayford, ou ainda elipsóide de Madri). De acordo com CASTAÑEDA FILHO [1986, p.50], um erro nas componentes do desvio da vertical tem influência direta nas coordenadas geodésicas do ponto origem. O efeito causado seria a de uma translação na origem do sistema.

Na pesquisa conduzida por CASTAÑEDA FILHO [1986], onde se encontra elucidativa discussão sobre a definição e realização do sistema SAD 69, importante constatação é feita

a respeito da orientação do elipsóide: existe uma discrepância, no valor de 0,11", entre o azimute geodésico definido e o azimute geodésico, este obtido via redução do azimute astronômico pela aplicação da Equação de Laplace [CASTAÑEDA FILHO, 1986, p.74]. Conceitualmente, no caso do sistema SAD 69, estes valores deveriam ser idênticos, já que o mesmo é de natureza astro-geodésica. A razão para esta diferença reside no fato do azimute para a direção inicial, imposto na definição do sistema SAD 69, ser coincidente com o resultado do ajustamento que possibilitou a sua realização, ou seja: o azimute de orientação do sistema, inicialmente produto da condição de Laplace, sofreu uma correção quando do processo de ajuste. Este procedimento é conhecido por "*técnica de orientação por relaxação do azimute de partida*" [CASTAÑEDA FILHO, 1986, p.54]. Assim sendo, o valor corrigido, o azimute de Laplace mais o resíduo associado, para a direção de partida foi tomado como sendo o definido.

No contexto desta pesquisa, o fato mencionado a respeito do azimute, numa análise menos criteriosa, pode não ter importância. Isto porque a transformação se dá entre as realizações do mesmo sistema de coordenadas, considerando, portanto, invariante sua definição. É importante ressaltar que não importa como as grandezas que definem o sistema foram quantificadas: a partir do momento em que um determinado conjunto de valores é estabelecido como definidor de um sistema, qualquer realização para este específico sistema tem que mantê-los inalterados. No entanto, com a integração de novas tecnologias, a exemplo do emprego do sistema GPS para a obtenção das componentes do vetor espacial (Dx,Dy,Dz) entre quaisquer dois pontos que estejam sendo posicionados, a constatação da questão azimutal assume relevância, já que determinadas hipóteses poderiam apresentar inconsistências quanto ao objetivo a ser alcançado no reprocessamento da RGB.

Por exemplo, uma delas é considerar que o vetor espacial entre os dois pontos, dado pelas componentes Dx, Dy e Dz, tem a mesma magnitude para os sistemas SAD 69 e WGS 84. Esta hipótese assume, explicitamente, o paralelismo entre os dois sistemas, eliminando a existência de qualquer rotação ou diferença de escala entre eles. No espaço abstrato, quando da definição dos sistemas, o paralelismo existe. Entretanto, o mesmo não pode ser aceito quando é considerada a realidade física. Desta forma, é preciso que se tenha adequado conhecimento, tanto da definição quanto da realização do(s) Sistema(s) em uso, de modo que possa existir coerência entre o que se quer produzir, e o que se pode, na verdade, obter, no que diz respeito ao emprego simultâneo de Sistemas de Coordenadas Geodésicas, e das Redes associadas à eles.

3.4 - A REALIZAÇÃO DO SAD 69 NO BRASIL

O sistema Córrego Alegre, adotado em caráter provisório pelo Brasil, teve o Desvio da Vertical arbitrado igual a zero. Porém, "*sua escolha não foi produto do acaso, mas, sim, o resultado de um processo expedito de comparação de desvio da vertical observado, ao longo do arco de triangulação do meridiano de 49°.*" [RODRIGUEZ, 1977, p.5]. Pelo fato de ser um sistema provisório, de não mais se adequar aos propósitos a que destinava, e de já se encontrarem concluídos os estudos referentes ao SAD 69, foi feita a recomendação pelo IBGE de que fossem utilizados, "*para todas as finalidades, os novos valores do Datum SAD-69*" [SBC, 1978, p.26]. De acordo com BLITZKOW & LAZARRO [1988], a adoção do sistema geodésico SAD 69 para referência ao SGB se deu em 1977.

A realização do SGB, até o início da década de 90, foi obtida pelo emprego dos métodos clássicos de Triangulação e Poligonação. Estes métodos têm como observações básicas

direções horizontais, ângulos verticais, distâncias e valores astrônomicos - coordenadas e azimutes. Todas estas grandezas, se adequadamente reduzidas à superfície do elipsóide, e empregadas com determinados modelos matemáticos, possibilitam o cálculo de coordenadas. Atualmente, estes métodos não são mais usados para fins geodésicos, em vista do aparecimento dos sistemas de posicionamento por satélites artificiais, atualmente empregados na implantação da rede brasileira.

As coordenadas das estações no sistema SAD 69 foram estimadas utilizando-se o MMQ (Método dos Mínimos Quadrados), modelo Paramétrico (usual a denominação Variação de Coordenadas), empregando-se a técnica de ajustamento em blocos, justificado pelo fato da não disponibilidade de um sistema computacional adequado a um cálculo simultâneo, bem como pelo próprio desenvolvimento da rede. Considerando o ano de 1985 como referência, a RGB foi dividida em 36 blocos, sendo que 10 deles, num total aproximado de 60% de toda a RGB, tiveram o processamento realizado pelo IAGS (*InterAmerican Geodetic Survey*), quando do processo de definição do SAD 69. Neste processamento foi utilizado o sistema HAVOC (*Horizontal Adjustment by Variation of Coordinates*) [SILVA, 1985].

3.5 - A REALIZAÇÃO SAD 69/96

A evolução dos equipamentos, das técnicas de posicionamento, da modelagem para a estimativa das coordenadas, da análise dos dados, e das informações disponíveis em Geodésia resultam num refinamento dos produtos geodésicos. Desta forma, torna-se necessário, num dado momento, incorporar esta inequívoca evolução à realidade existente. Assim sendo, respeitando o contexto da pesquisa, não é difícil, dentre outros fatos, entender as razões para:

a) a definição de novos sistemas de coordenadas geodésicas;

b) o reprocessamento de redes geodésicas, acarretando, como conseqüência imediata, uma nova materialização. As novas coordenadas podem continuar associadas ao Sistema Geodésico até então vigente, a um outro sistema de coordenadas já existente, ou a ser definido;

c) o desenvolvimento de modelos que buscam melhor adequação da realidade física.

O reajustamento da RGB realizado pelo IBGE, que originou a nova materialização do Sistema SAD 69 no Brasil, segue a tendência do contexto mundial no sentido de minimizar as deformações existentes nos Sistemas Geodésicos, a exemplo de FEATHERSTONE [1997]; MALYS; SLATER; SMITH; KUNZ & KENYON [1997]; MALYS & SLATER [1994]; NAKIBOGLU; EREN & SHEDAYED [1994]; SWIFT [1994] e GRUNTHAL [1992]. A recente realização é denominada, somente para efeito desta pesquisa, como SAD 69/96. A realização anterior, em atendimento à legislação atual, tem a denominação SAD 69. Oficialmente, as realizações não sofreram nenhuma diferenciação em termos de nomenclatura, fato que pode provocar problemas na interpretação do nome SAD 69, já que pode significar: a própria definição do Sistema, a primeira ou a segunda realização. A distinção entre Sistema e Rede é facilitada pelo contexto em que é empregado o termo SAD 69: se num sentido abstrato, trata-se da definição do Sistema; se num sentido físico, suas materializações. Neste caso, é necessário poder especificar a qual das realizações pertencem as coordenadas de determinada estação. De maneira a poder minimizar, senão eliminar totalmente possíveis problemas originados por este aspecto, novas realizações de sistemas já

tem apresentado uma nomenclatura particularizada, a exemplo dos Sistemas NAD 83, cujas atualizações passam a ter denominaçao NAD 83 (199x) [GRUNTHAL, 1992, p.214]; WGS 84, cujas realizações são denominadas por WGS 84; WGS 84 (G730); e WGS 84 (G873) [MALYS; SLATER; SMITH; KUNZ & KENYON, 1997, p.842]; e a família de realizações ITRF, do Sistema ITRS, já comentadas (*vide* Capítulo 1, ítem 1.2, alínea *c*).

A exigência de um reajustamento da componente planimétrica da RGB já era evidenciada em 1985, fundamentada, basicamente, pelas seguintes razões [SILVA, 1985]:

a) deformações impostas à rede pela técnica de ajustamento utilizada, processamento em blocos, e pela modelagem inerente ao conjunto de reduções aplicadas às observações integrantes da RGB;

b) recuperação de trechos da RGB por motivos de destruição, inserindo tanto novos vértices quanto observações, proporcionando, desta forma, alterações na estrutura até então existente;

c) possibilidade de refinar a materialização do SGB, pela disponibilidade e introdução de controle externo à rede, principalmente através do emprego de satélites artificiais com fins de posicionamento.

Ainda de acordo com SILVA [1985], 3 necessidades básicas tinham de ser cumpridas, para que o objetivo de um reajustamento global da RGB fosse atingido:

1) montagem do arquivo contendo o conjunto das observações primárias que integram a rede, criticadas e consolidadas;

2) criação de um arquivo adicional que contivesse informações complementares, necessárias ao processamento da rede, como por exemplo, as informações geoidais e de controle;

3) disponibilização de um sistema computacional, capaz de processar grande volume de dados, e analisar os resultados.

Em função do exposto, foi criado pelo IBGE, no ano de 1985, o projeto denominado REPLAN (Projeto de Reajustamento da REde Geodésica PLANimétrica Brasileira) [SILVA & FORTES, 1986], cujo término aconteceu no segundo semestre do ano de 1996. A quase totalidade das informações sobre a mais recente realização do SAD 69 no Brasil, bem como as que serão a partir de agora evidenciadas, importantes no contexto da tese, podem ser encontradas no relatório referente ao Projeto REPLAN [COSTA, 1996].

Até julho de 1996, a realização SAD 69 do SGB continha 6.012 pontos, materializados por vários métodos de posicionamento, dentre eles: Triangulação - 3.498 vértices; Poligonação - 1.158 estações (maior concentração nos estados das regiões Norte e Nordeste); Trilateração HIRAN (*HIght precision SHORAN*, sendo que SHORAN é o acrônimo de *SHOrt RAnge Navigation*) - 26 vértices; Sistema TRANSIT - 1.143 estações (maioria das estações na Amazônia, através da técnica de posicionamento isolado, sendo que somente 14 implantadas pelo técnica de translocação, ou seja, posicionamento relativo); e pelo Sistema GPS - 187 estações. Devido a vários problemas de natureza técnica, envolvendo, por exemplo:

a) a inexistência de dados primários;

b) a falta de informação de estações no Banco de Dados Geodésicos do IBGE;

c) o reprocessamento de diversos levantamentos;

um grande número de vértices existentes não puderam ser aproveitados na realização SAD 69/96, principalmente aqueles posicionados pelo emprego do sistema de satélites NNSS (*Navy Navigation Satellite System*), também conhecido por *TRANSIT*. Para maiores informações sobre este sistema, consultar, por exemplo, ROMÃO [1982].

Do total existente foram utilizados 4.939 vértices, visualizados pelas Figuras 01 a 04, em que são mostrados os vértices de triangulação, poligonação, e os posicionados pelos sistemas de satélites artificiais *TRANSIT* (método *doppler*) e GPS, respectivamente.

3.5.1 - O CONJUNTO DE OBSERVAÇÕES

As observações são parte fundamental do processo, portanto, requerem extremo cuidado quanto ao seu tratamento, crítica e armazenamento, de modo a poderem ser dadas como consolidadas para o cálculo. No tocante ao conjunto de observações de natureza clássica, pertencentes aos métodos de Triangulação e Poligonação, no contexto do REPLAN tiveram de ser desenvolvidos 3 sub-projetos: RDH (Resumo das Direções Horizontais); REBASE (Reprocessamento de Bases Geodésicas); e PRÓ-ASTRO (Reprocessamento das Estações Astrônomicas), este desenvolvido como dissertação de mestrado [COSTA, 1989]. As estações astronômicas podem ser visualizadas na Figura 05. Tratamento igual foi dispendido às observações ditas espaciais, referentes aos sistemas *TRANSIT* e GPS.

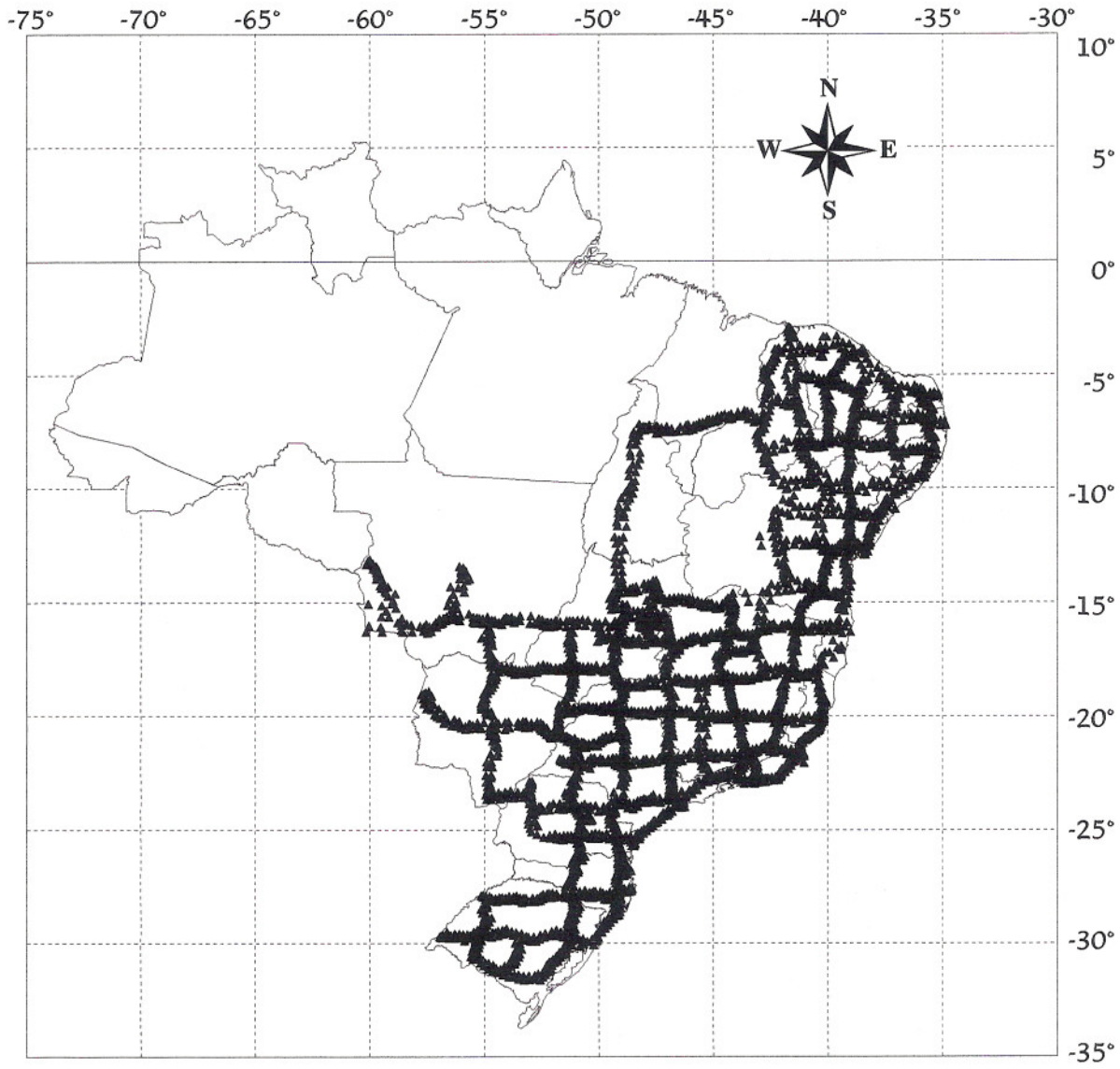


Figura 01: Estações de triangulação do SGB - SAD 69/96

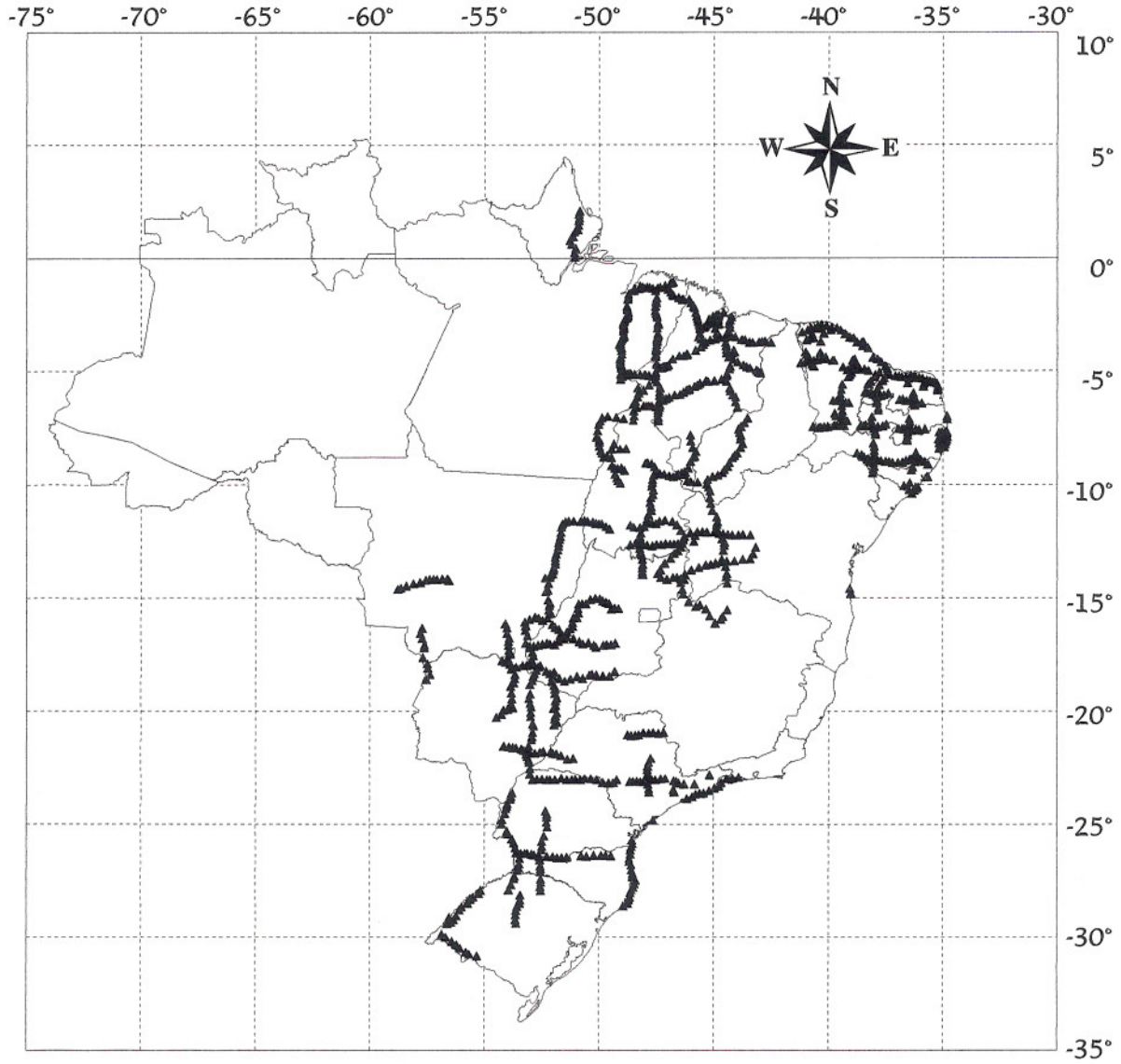


Figura 02: Estações de poligonação do SGB - SAD 69/96

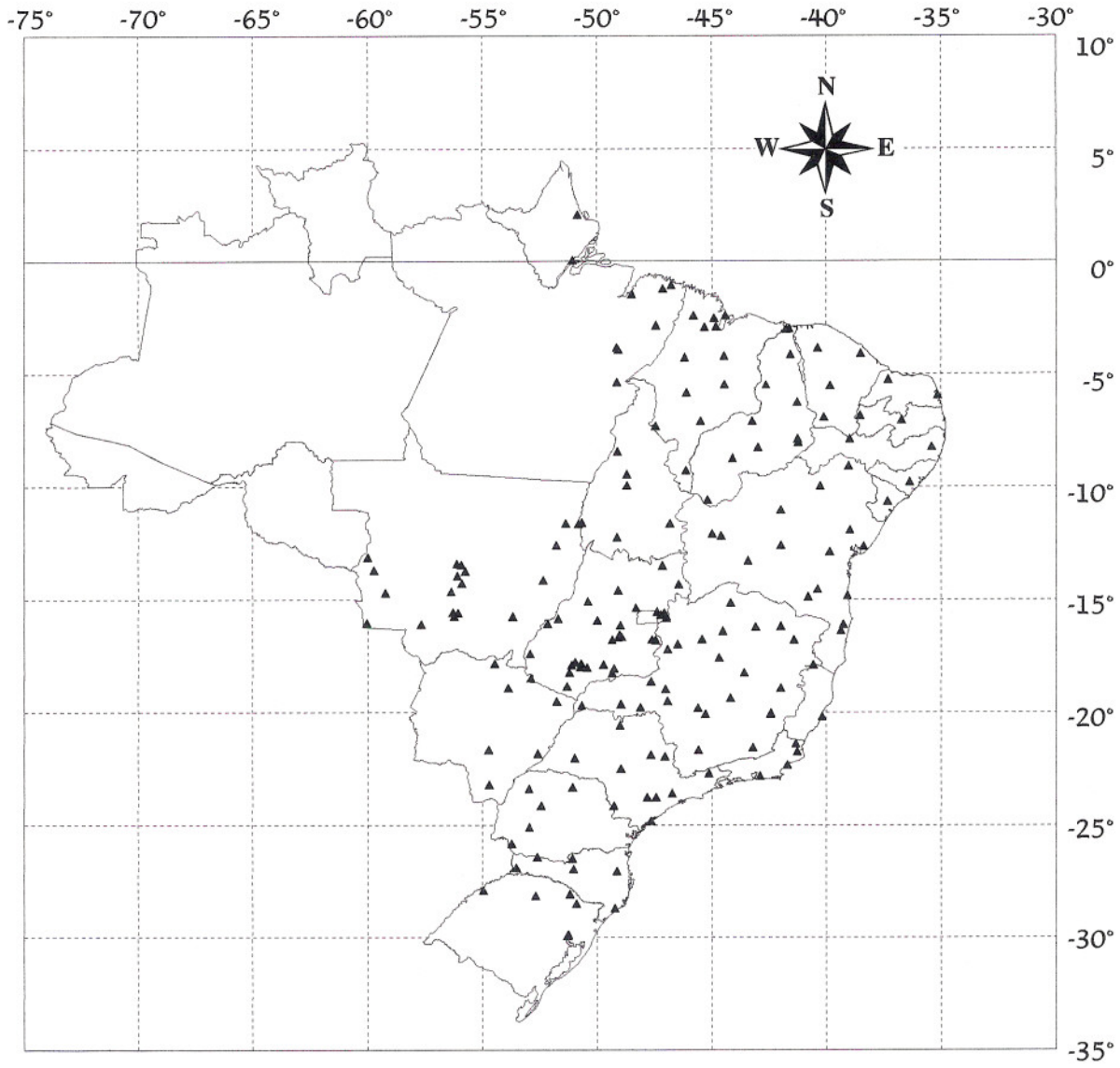


Figura 03: Estações *doppler* do SGB - SAD 69/96

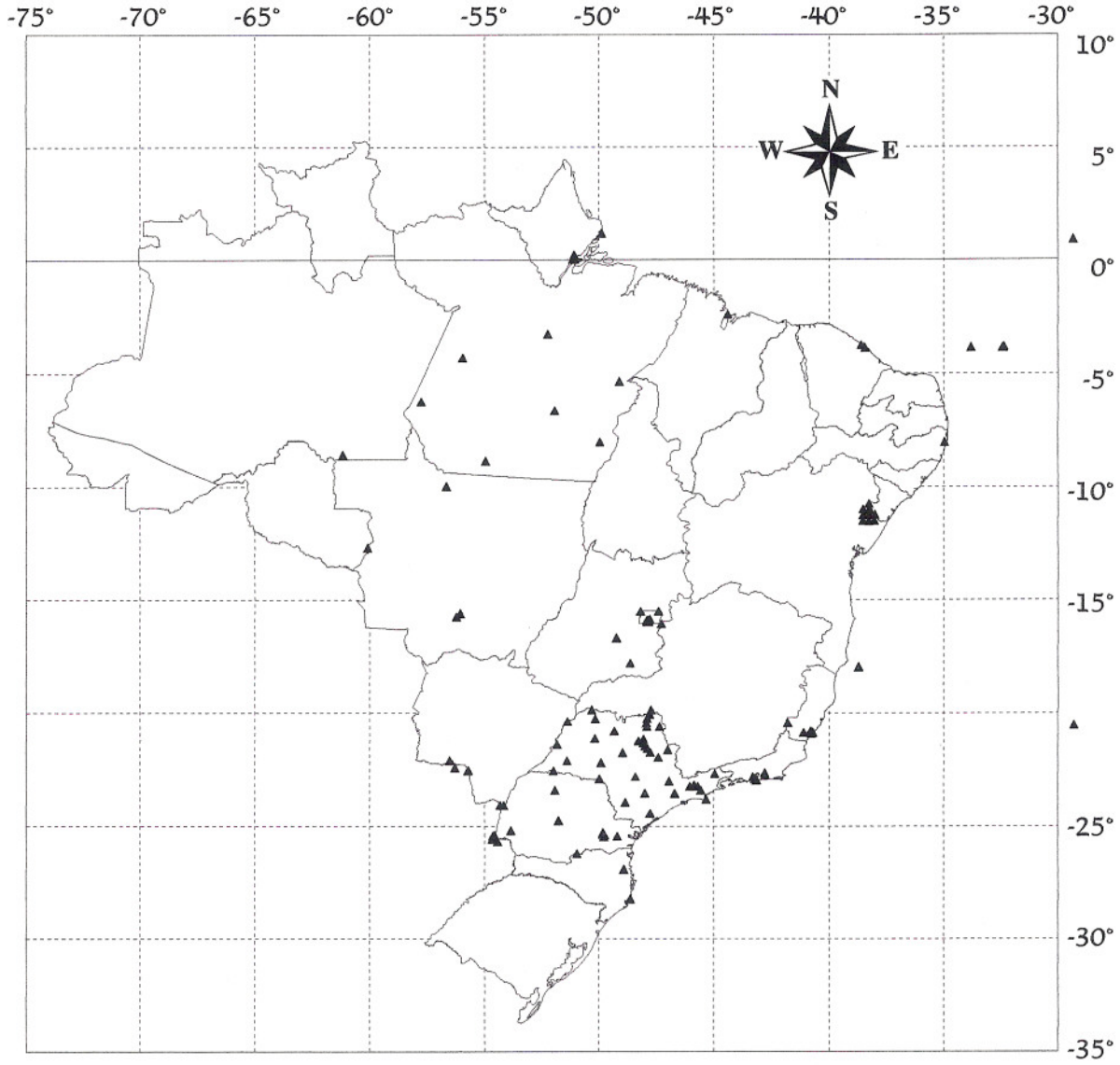


Figura 04: Estações da Rede Nacional GPS - SAD 69/96

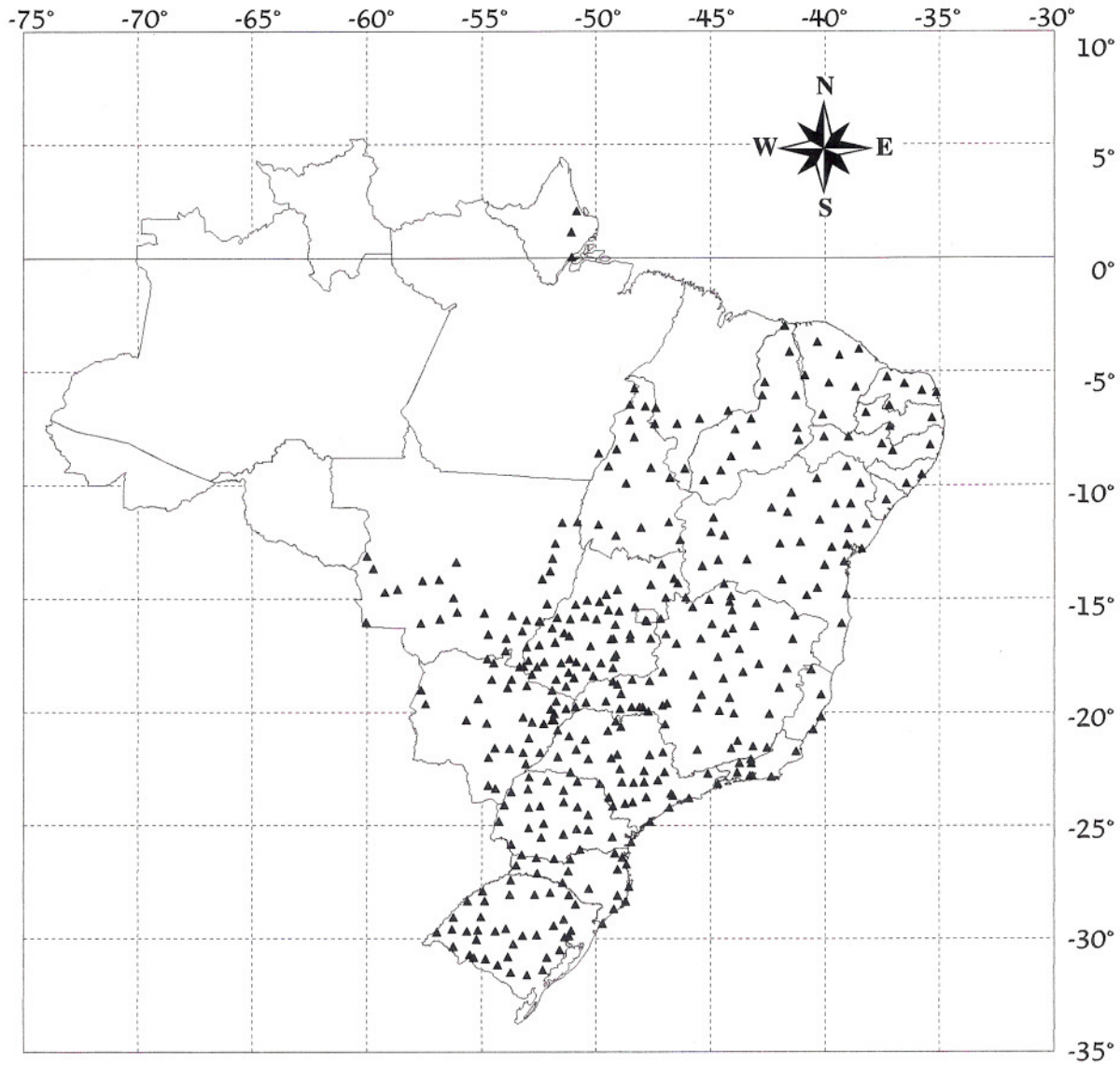


Figura 05: Estações astronômicas do SGB - SAD 69/96

Durante o processo de consolidação das observações, foi possível identificar diversos problemas existentes no seu conjunto, bem como tomar as providências cabíveis para solucioná-los, dentre outras providências. Os principais resultados deste processo foram:

a) a eliminação de estações, bases geodésicas, azimutes astronômicos e observações angulares, fundamentadas em especificações técnicas apropriadas;

b) a estimativa de ponderação para as observações;

c) a preparação dos dados para o ajuste final.

3.5.2 - OS SISTEMAS COMPUTACIONAIS EMPREGADOS

No início do projeto REPLAN, o sistema de cálculo disponível era o *USHER* (*User's System for Horizontal Control Evaluation and Reduction*). Este sistema requeria a redução das observações à superfície do elipsóide, permitindo, portanto, somente a solução planimétrica. O cálculo ainda era efetuado através da técnica de ajuste seqüencial por blocos. Na busca de dotar o país, em termos de cálculo, de uma Rede Geodésica mais condizente com os avanços tecnológicos existentes, como por exemplo:

- o processamento simultâneo de toda a RGB;

- o tratamento no espaço tridimensional de todo conjunto de observações, tanto as ditas clássicas quanto as originadas através do emprego de satélites artificiais;

foi usado o sistema computacional *GHOST* (*Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data*),

implantado no IBGE no início da década de 90. Este sistema aplica o princípio dos Mínimos Quadrados; modelagem tridimensional, que no entanto, pode permitir uma solução restrita ao espaço bidimensional, ou seja, as altitudes são mantidas invariantes, ajustando-se somente a latitude e a longitude; e técnicas especiais no que diz respeito ao tratamento das matrizes do ajustamento.

O processamento de uma rede geodésica, como a RGB, geralmente produz matrizes de grandes dimensões. Estas, se não tratadas adequadamente, podem até inviabilizar o ajustamento, devido à capacidade de armazenamento e processamento exigido. Dentre as possíveis soluções, uma das indicadas na atualidade é o particionamento da rede em blocos, em número e quantidade de estações por bloco, adequadas à otimização do processamento simultaneo de toda rede. Esta técnica, conhecida por *Helmert Blocking*, prevê a interligação entre os blocos, obtidas por intermédio de estações comuns. É importante ressaltar que, apesar de decompor a rede, o ajuste é feito de modo simultâneo, diferentemente do que é feito no ajuste de natureza seqüencial. Neste tipo de processamento, os blocos são ajustados distintamente, e as soluções dos blocos já ajustados são injunções aos blocos ainda a ajustar. O sistema apresenta versatilidade quanto à análise de observações e resíduos, além de vários procedimentos que visam otimizar todo o processo de cálculo.

Maiores informações sobre o sistema GHOST podem ser encontradas em CRAYMER [1997]. A respeito do Método *Helmert Blocking*, consultar WOLF [1978]; sobre o conceito e modelos usados na Geodésia Tridimensional, verificar STEEVES [1984]; DRAGOMIR; GHITĂU; MIHĂILESCU & ROTARU [1982]; RAPP [1981] e VINCENTY & BOWRING [1978].

3.5.3 - METODOLOGIA EMPREGADA

O ajuste realizado previu o particionamento da RGB em 8 blocos [COSTA, 1996, p.30-32], e a inserção de 11 parâmetros auxiliares: um referente à orientação da rede, pertinente aos azimutes astronômicos; três de translação, associados aos ternos coordenados originados pelas observações *doppler*; e sete de escala, sendo um para distâncias medidas por geodímetro, outro por trena, e no caso do uso do telurômetro, cinco parâmetros, em função das poligonais estarem associadas às cinco regiões geográficas do país. Ressalte-se que não foi usado nenhum parâmetro auxiliar para as poligonais da região Sul; entretanto, foram usados dois parâmetros auxiliares para a região Norte [COSTA, 1996, p.33]. O emprego dos parâmetros auxiliares tem por objetivo absorver erros de natureza sistemática, existentes nos dados pertinentes ao ajustamento. Podem ser referentes tanto às observações quanto aos valores tidos como de controle, tais como os azimutes astronômicos. Isto é possível em função da diferença de precisão existente entre estes valores e os oriundos do sistema GPS, que apesar de ser a melhor opção atualmente em termos de custo x benefício na estimação de coordenadas, demanda certos cuidados no seu emprego, seja na fase de coleta, modelagem e processamento das observações, como apontado, por exemplo, em SANTERRE; BEUTLER & GEIGER [1990]; HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER & COLLINS [1992a].

A modelagem geodésica tridimensional requer o conhecimento das componentes do desvio da vertical para todos os vértices envolvidos no ajustamento. Isto porque as observações angulares (azimutes, direções ou ângulos horizontais, e ângulos verticais), estando referenciadas à linha de força passante pelo ponto de medida, são função das coordenadas astronômicas latitude e longitude daquele ponto,

e dos vetores diferenças de coordenadas retilíneas entre os pontos pertinentes a observação. As medidas lineares são função somente das componentes cartesianas. Como as relações matemáticas que correlacionam as grandezas astronômicas (referenciadas às linhas de força) e geodésicas são função das componentes do desvio da vertical, estas grandezas são fundamentais para a correta aplicação dos modelos matemáticos pertinentes a Geodésia 3-D.

À exceção das estações astronômicas, esta necessidade ainda se encontra sem resposta adequada. No caso do ajuste que produziu o SAD 69/96, as componentes do desvio da vertical para as estações foram assumidas como iguais a zero. Torna-se importante a busca de uma solução, tanto para este quanto para outros problemas, tais como os relativos:

a) à integração de estações à realização então obtida;

b) ao impacto causado pelo processo de reajustamento da Rede Geodésica.

Estes assuntos estão discutidos, por exemplo, em CROCETTO & RUSSO [1996]; KAO & BETHEL [1992]; LUGOE [1990]; WALKER & USHER [1988] e STEEVES & PENTON [1985]. Adequadas análises devem ser feitas, considerando a realidade brasileira, com respeito a estas questões e às propostas de solução indicadas, de modo que as respostas produzidas no contexto nacional cada vez mais estejam de acordo com os propósitos pretendidos.

A Rede Nacional GPS (RNGPS) fêz parte da materialização SAD 69/96, objetivando dotar o SGB de uma maior compatibilização, no que diz respeito à sua realização, ao Sistema Terrestre Convencional (STC), também denominado

Sistema Terrestre Médio. O STC é atualmente materializado, por exemplo, pelo Sistema WGS 84. Na metodologia empregada para obtenção do SAD 69/96, não foram fixadas as coordenadas obtidas do processamento da RNGPS. Ao invés disso, fêz-se uso diretamente dos valores correspondentes às componentes do vetores espaciais Dx, Dy, e Dz, referenciados ao sistema WGS 84. Estes valores são os resultados dos ajustamentos feitos referentes ao processamento das linhas de base GPS. As matrizes variâncias-covariâncias dos parâmetros ajustados Dx, Dy e Dz foram reescaladas, evitando, desta forma, uma super estimativa quanto à qualidade dos mesmos, retratada pelos desvios padrões obtidos [COSTA, 1996, p.36-37]. O procedimento adotado no emprego de Dx, Dy e Dz implica em se considerar paralelas as realizações dos Sistemas Geodésicos SAD 69 e WGS 84, realidade imposta somente quando da definição dos sistemas. Ao se considerar a realidade física, sabe-se que o paralelismo entre as Redes SAD 69 e WGS 84 não corresponde, integralmente, à definição. De acordo com CASTAÑEDA FILHO [1986, p.172], a hipótese de paralelismo entre as Redes SAD 69 e NSWC 9Z2, materialização na época do Sistema Terrestre Convencional usada pelo Sistema *TRANSIT*, portanto, mais antiga que a WGS 84, já apresentava uma sensível deficiência em orientação (azimute), da ordem de 2,5". Desta forma, respeitando a provável realidade existente entre os Sistemas WGS 84 e o SAD 69, os valores Dx, Dy, e Dz não deveriam ser empregados sem uma adequada redução. O objetivo seria o de compatibilizar os comprimentos entre os dois sistemas, pois devido à provável rotação e diferença de escala, tem-se que $(Dx, Dy, Dz)^{WGS\ 84} \neq (Dx, Dy, Dz)^{SAD\ 96}$. Este procedimento impediria que deformações fossem introduzidas na realização do sistema SAD 69. No entanto, em vista dos propósitos a se atingir com o reajustamento SAD 69/96, dentre eles obter melhor compatibilização quanto ao paralelismo entre as realizações SAD 69 e WGS 84 no Brasil, a aplicação

de tal redução teria o efeito contrário, ou seja, não se prestaria a minimizar o não paralelismo entre as realizações dos sistemas. Estudo sobre as influências causadas pelo emprego direto de valores vinculados ao sistema WGS 84 em outro sistema é apresentado por PIEROZZI [1997].

O ponto que talvez mereça uma discussão adicional diz respeito ao fato de não se introduzir as coordenadas da RNGPS como injunções no reajustamento da RGB. Mesmo apresentando precisão consideravelmente superior às demais observações, é de se esperar uma alteração significativa destas coordenadas no resultado final SAD 69/96. Este fato merece maior reflexão já que, de modo implicíto, seriam aquelas coordenadas as responsáveis em estabelecer o controle para a nova realização do sistema SAD 69 no Brasil, portanto, consideradas invariantes. A alteração dos valores das coordenadas da RNGPS decorre, a princípio, de:

a) manter inalterados todos os parâmetros definidores do SAD 69. Neste caso, o que apresenta maior influência é o azimute da direção Chuá-Uberaba;

b) ter a RNGPS ainda poucas estações, conseqüentemente, poucas observações. As estações não estão uniformemente distribuídas pelo território nacional, nem homogeneamente estimadas, no que se refere aos modelos matemáticos empregados quando do processamento das observações - tripla e dupla diferença de fase, estas com ambigüidade inteira e real;

c) possuir a Rede SAD 69 um considerável conjunto de observações clássicas, bem como diversas tendências sistemáticas, inibindo, desta forma, a melhor qualidade das observações GPS.

O projeto REPLAN consistiu em três ajustamentos: um relativo somente à rede clássica; outro somente da RNGPS; e o terceiro, referente ao ajuste final, combinando as duas redes anteriormente ajustadas, mais os dados das estações posicionadas pelo sistema NNSS, empregando observações *doppler*. O número de estações comuns entre a rede clássica e a RNGPS é de 34 estações. Estas estações serão apresentadas, posteriormente, dentro do ítem 3.9. Os ajustamentos parciais foram realizados com objetivos bem específicos, quais sejam:

a) verificação da existência de erros grosseiros e sua eliminação;

b) validação da integração das observações;

c) avaliação da ponderação proposta às observações.

O ajuste tridimensional de uma rede dita clássica exige observações pertinentes às direções horizontais, ângulos verticais (também conhecido por distâncias zenitais) e distâncias. Em virtude da não inclusão das observações referentes aos ângulos verticais, geralmente associadas ao nivelamento trigonométrico, na verdade o reajustamento da RGB ficou restrito ao espaço bidimensional, apesar da modelagem empregada ser tridimensional. Somente as estações da rede clássica coincidentes com estações *TRANSIT* e GPS tiveram também a coordenada altimétrica ajustada. Foram mantidos invariantes no ajustamento as coordenadas geodésicas latitude (φ), longitude (λ) e altitude ortométrica (H) da estação Chuá, bem como suas grandezas geoidais, desnível geoidal e componentes do desvio da vertical, além do azimute origem entre as estações Chuá e Uberaba. O elipsóide associado à materialização é o Internacional de Referência 1967. Desta forma, se mantém garantida a definição do Sistema Geodésico

SAD 69. No ajuste final o quantitativo foi de 16.913 direções horizontais; 389 azimutes astrônomicos; 378 componentes do desvio da vertical; 257 bases geodésicas associadas ao método de Triangulação; 1.277 bases geodésicas associadas ao método de Poligonação; 179 coordenadas *TRANSIT*; e 1.198 linhas de base GPS. A variância a *posteriori* foi de 1,493, e não consta do relatório técnico do Projeto REPLAN maiores informações sobre a qualidade deste valor. O número total de estações que materializam o SAD 69/96 totalizam 4.939. A comparação feita entre as realizações SAD 69 e SAD 69/96 evidenciou deslocamentos posicionais planimétricos da ordem de 13 m, basicamente nos extremos da RGB, sendo que houve casos isolados de magnitude bem superior. Não obstante todo o esforço realizado, pelos resultados e análises feitas, pode ser que ainda sejam encontrados problemas na nova realização do SGB.

3.5.4 - INDICADORES DE EXATIDÃO

De acordo com MIKHAIL & ACKERMANN [1976], exatidão (são usuais também as expressões acuracidade e precisão externa) e precisão (é usual igualmente a expressão precisão interna) apresentam conceitos bem distintos. Exatidão se refere ao afastamento de uma estimativa, valor numérico obtido para um parâmetro de interesse, a partir de um conjunto de observações, em relação ao verdadeiro valor. A precisão reflete "*o grau de conformidade entre um conjunto de observações de uma mesma variável aleatória*" [MIKHAIL & ACKERMANN, 1976, p.44]. De uma outra forma, diz respeito à incerteza apresentada por uma determinada estimativa. Pode ser obtida pelo processamento de um conjunto amostral de observações, ou pela propagação de erros em um específico modelo matemático (Lei de Propagação de Variância), ou mesmo através das características de um certo equipamento.

Considerando a inexistência de erros grosseiros em uma dada amostra, uma menor exatidão nos elementos deste conjunto significa a presença de influências sistemáticas. Desta maneira, o aumento de observações, se advindas da mesma fonte, não elimina ou minimiza o problema. Evidentemente que, para um estudo envolvendo exatidão, terão que ser consideradas certas hipóteses, abordadas mais adiante. Isto implica que as possíveis conclusões não terão caráter final, servindo mais como indicadores e como subsídio à continuidade dos estudos. Serão analisados aspectos concernentes a diferentes influências:

a) variação da coordenada altimétrica, apesar do ajustamento ter sido restrito ao espaço 2-D;

b) injunção das coordenadas das estações da RNGPS;

c) não utilização das observações GPS referentes às 34 estações coincidentes entre a RNGPS e a RGB clássica. Este experimento será feito de modo distinto para as 34 estações envolvidas.

Faz parte da hipótese básica a ser considerada em cada estudo, de maneira a se qualificar os resultados como indicadores de exatidão, assumir um conjunto de coordenadas como referência. Este conjunto de coordenadas é dependente do caso estudado, a saber: para os casos ***a*** e ***b***, considerar como referência a solução SAD 69/96; caso ***c***, considerar a RNGPS.

O primeiro estudo, inerente à influência causada pela variação da altitude, foi realizado em função de um problema existente na RGB, no que tange à falta da coordenada altimétrica para 10 estações de triangulação [COSTA, 1996, p.16]. A solução dada, na falta de melhor valor, foi

impor a estas estações valor de altitude igual a 0,0 m. De acordo com COSTA [1996, p.17], o procedimento adotado "*para estas estações não causa maiores conseqüências para o ajustamento, pois elas não fazem parte de bases geodésicas nem são coincidentes com estações DOPPLER ou GPS. Estas estações só serão ajustadas bidimensionalmente, ou seja, as correções para todas incógnitas de altitude foram zero nas equações de observação para observações terrestres.*" A análise está correta sob o ponto de vista do ajustamento, mas incompleta do ponto de vista geodésico. Isto porque as coordenadas cartesianas geodésicas (X,Y,Z) apresentam uma relação matemática direta com as coordenadas curvilíneas geodésicas latitude (φ), longitude (λ) e altura geométrica (h), ou seja: (X,Y,Z) são função de (φ,λ,h). É usado o termo altura geométrica, ao invés de altitude geométrica, por se entender que altitude é o caso particular da altura referenciada somente ao Geóide. O conjunto de expressões que expressam as relações entre as coordenadas retilíneas e curvilíneas geodésicas tem a forma [SEEBER, 1993, P.20]:

$$\begin{aligned} X &= (N'+h) \times \cos\varphi \times \cos\lambda; \\ Y &= (N'+h) \times \cos\varphi \times sen\lambda; \\ Z &= ((N'+h) \times (1-e^2)) \times sen\varphi; \\ N' &= a \,/\, \sqrt{1 - (e^2 \times sen^2\varphi)}; \end{aligned} \qquad (1)$$

onde: N' = raio de curvatura da seção 1º vertical;
a = semi-eixo maior do elipsóide de revolução;
e^2 = quadrado da 1ª excentricidade do elipsóide de revolução.

Analisando o conjunto de fórmulas (1), nota-se que ao se arbitrar um valor para a altura h, esta quantidade influencia diretamente as coordenadas cartesianas. O grupo de

expressões (2) possibilita quantificar as variações ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) nas coordenadas X, Y e Z produzidas pela variação Δh, a saber:

$$\begin{aligned} \Delta X &= \Delta h \times \cos\varphi \times \cos\lambda; \\ \Delta Y &= \Delta h \times \cos\varphi \times sen\lambda; \\ \Delta Z &= \Delta h \times sen\varphi \times (1-e^2). \end{aligned} \qquad (2)$$

A título de comprovação da influência causada pela variação da altitude, o reajustamento da RGB foi reprocessado. É necessário fazer, neste ponto, uma observação: como a relação entre a altura geométrica h e a altitude ortométrica H é linear, h = H + N, a variação da altura geométrica Δh será tomada como a variação da altitude ortométrica ΔH, já que $\Delta H = \Delta h$. Entre as estações da RGB, a maior altitude é igual a 2.424,21 m; a menor, 2,69 m; e o valor médio, em torno de 635,00 m. Apesar do valor médio ser da ordem de 600,00 m, foi arbitrado para as 10 estações de triangulação uma altitude igual a 1.000,00 m. Tomou-se esta decisão baseado no fato de se procurar avaliar um valor com maior coerência, mais próximo da realidade do método de posicionamento usado. O método de Triangulação, por apresentar necessidade de intervisibilidade entre os vértices a serem posicionados era, na maioria das vezes, desenvolvido em pontos de grande altitude.

O deslocamento planimétrico sofrido pelas estações da RGB, calculado sobre a superfície do elipsóide, é quantificado pela distância geodésica (DG) para cada estação, empregando-se os valores referentes ao resultado deste processamento com o realizado pelo IBGE. Para as 10 estações que motivaram o ensaio, o valor mínimo para a DG é igual a 0,15 m, e o valor máximo, igual a 0,37 m. Considerando toda a RGB, o valor mínimo para a DG foi de 0,00 m, e a máxima chegou a 0,87 m. A distância 0,00 m deu-se no vértice Chuá,

pelo motivo do mesmo ter tido suas coordenadas fixadas nos dois processamentos. De modo análogo, a diferença provocada nas altitudes, não considerando as 10 estações cuja diferença de altitude (ΔH) era de 1.000,00 m, teve valor mínimo igual a -6,98 m, e máximo igual a 20,47 m. As Tabelas 01 e 02 resumem a distribuição de freqüência para as estações da RGB, segundo as distâncias geodésicas e diferenças de altitude, respectivamente. De acordo com o ensaio, sugere-se que, na falta da informação de altitude as estações sejam eliminadas do processo de ajuste; ou, na melhor das hipóteses, que seja empregado um valor mais adequado à realidade.

Tabela 01: Influência da variação de altitude: distribuição de freqüência das estações da RGB, segundo as distâncias geodésicas (componente planimétrica)

Dist. Geodésica Lim. Inferior (m)	Dist. Geodésica Lim. Superior (m)	Nº de Estações da RGB (Freqüência)
0,000	0,100	1.216 (24,6%)
0,100	0,200	821 (16,6%)
0,200	0,300	690 (14,0%)
0,300	0,400	823 (16,7%)
0,400	0,500	511 (10,3%)
0,500	0,600	331 (6,7%)
0,600	0,700	256 (5,2%)
0,700	0,800	252 (5,1%)
0,800	0,900	39 (0,8%)

Tabela 02: Influência da variação de altitude: distribuição de freqüência das estações da RGB, segundo as diferenças de altitudes (componente altimétrica)

Dif. de Altitude Lim. Inferior (m)	Dif. de Altitude Lim. Superior (m)	Nº de Estações da RGB (Freqüência)
-7,000	-6,000	2 (0,0%)
-6,000	-5,000	3 (0,1%)

-5,000	-4,000	1 (0,0%)
-4,000	-3,000	7 (0,1%)
-3,000	-2,000	19 (0,4%)
-2,000	-1,000	23 (0,5%)
-1,000	0,000	191 (3,9%)
0,000	1,000	4.594 (93,0%)
1,000	2,000	10 (0,2%)
2,000	3,000	10 (0,2%)
3,000	4,000	6 (0,1%)
4,000	5,000	11 (0,2%)
5,000	6,000	8 (0,2%)
6,000	7,000	4 (0,1%)
7,000	8,000	8 (0,2%)
8,000	9,000	5 (0,1%)
9,000	10,000	3 (0,1%)
10,000	11,000	4 (0,1%)
11,000	12,000	3 (0,1%)
12,000	13,000	1 (0,0%)
13,000	14,000	2 (0,0%)
14,000	15,000	2 (0,0%)
15,000	16,000	3 (0,1%)
16,000	17,000	1 (0,0%)
17,000	18,000	3 (0,1%)
18,000	19,000	2 (0,0%)
19,000	20,000	2 (0,0%)
20,000	21,000	1 (0,0%)

A Figura 06 apresenta as Tabelas 01 e 02 em forma de histograma, permitindo a visualização de como se comportam os resultados neste primeiro ensaio.

O segundo experimento, pertinente ao emprego das coordenadas dos vértices que compõem a RNGPS como injunções de posição na realização SAD 69/96, teve como princípio averiguar o comportamento da RGB diante da imposição de um controle mais rígido. Fixando-se as coordenadas das estações, impede-se que, no processo de ajuste, seja atribuída qualquer correção (resíduos) a elas.

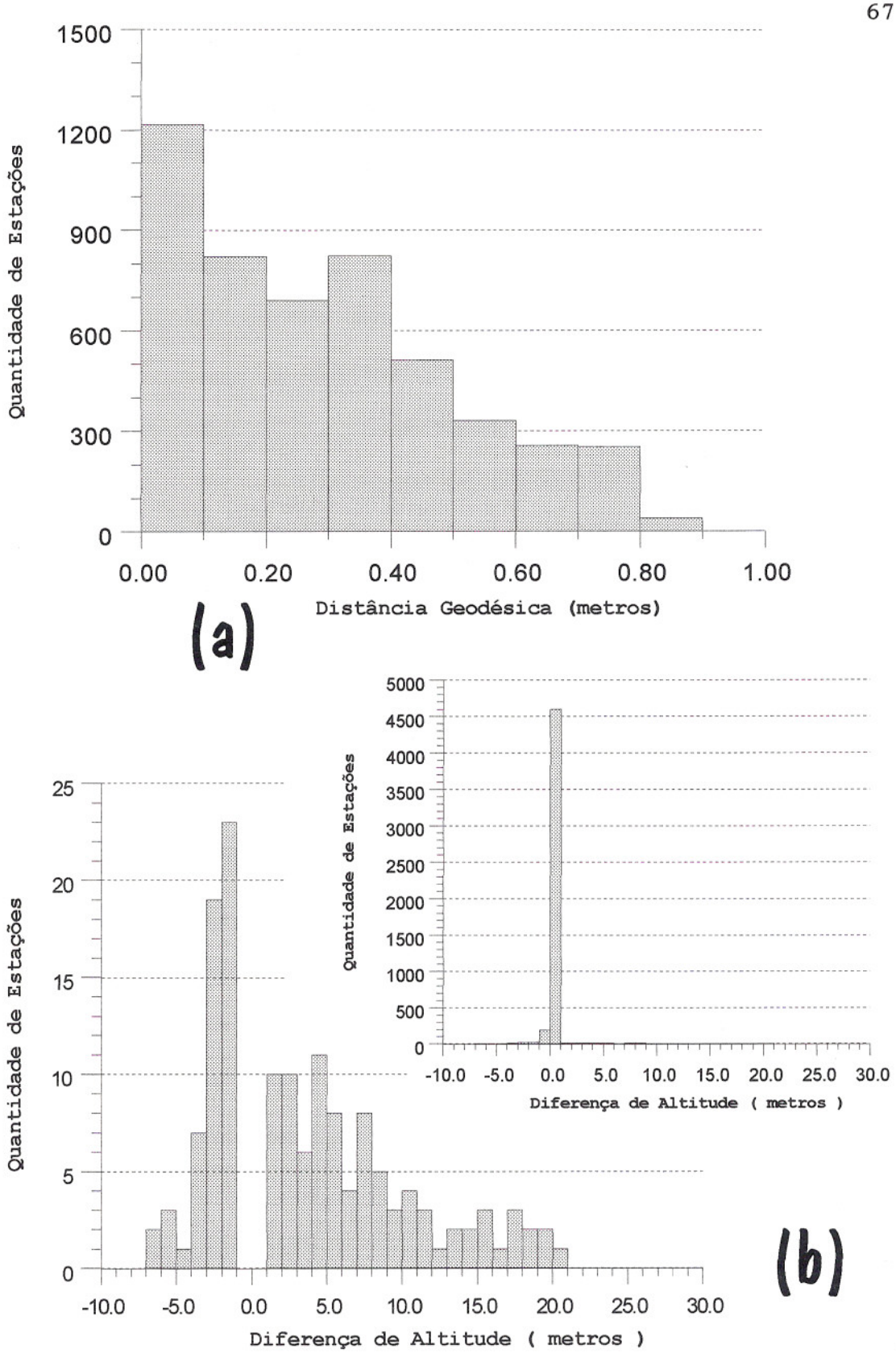


Figura 06: Histogramas relativos à influência da variação de altitude: (a) planimetria (distância geodésica); (b) altimetria (diferença de altitude).

No ajuste oficial, feito pelo IBGE, ao invés das coordenadas, foram empregadas as componentes (Dx,Dy,Dz) dos vetores posição existentes entre as estações que compõem a RNGPS. As componentes não foram fixadas, sendo ponderadas através das suas respectivas matrizes variância-covariância. A RGB foi reprocessada, e os novos resultados comparados com os obtidos pelo IBGE. A análise das diferenças foi realizada considerando-se, independentemente, a componente planimétrica (DG) e a componente altimétrica (ΔH). As grandezas DG e ΔH foram calculadas a partir das coordenadas do resultado oficial e do novo processamento. O valor mínimo para a distância geodésica foi de 0,00 m, e a máxima chegou a 0,85 m. A exemplo da investigação anterior, a distância 0,00 m deu-se para as coordenadas do vértice Chuá, invariante nos dois processamentos. A diferença provocada nas altitudes teve valor mínimo igual a -6,99 m, e máximo igual a 20,49 m.

Analisando-se os resultados obtidos neste ensaio, pode-se concluir que a injunção das coordenadas da RNGPS acarreta diferenças significativas aos valores das coordenadas adotadas oficialmente para as estações. Assim sendo, sugere-se a realização de um estudo adicional, com o intuito de estabelecer a melhor metodologia para o emprego da RNGPS na realização do Sistema SAD 69.

As Tabelas 03 e 04 resumem a distribuição de freqüência para as estações da RGB, segundo as DG e ΔH, respectivamente.

A Figura 07, de modo análogo ao que foi feito no ensaio anterior, apresenta as Tabelas 03 e 04 em forma de histograma, permitindo a visualização de como se comportam os resultados no ensaio referente à injunção das coordenadas da RNGPS.

Tabela 03: Injunção da RNGPS: distribuição de freqüência das estações da RGB, segundo as distâncias geodésicas (componente planimétrica)

Dist. Geodésica Lim. Inferior (m)	Dist. Geodésica Lim. Superior (m)	Nº de Estações da RGB (Freqüência)
0,000	0,100	836 (16,9%)
0,100	0,200	1.023 (20,7%)
0,200	0,300	801 (16,2%)
0,300	0,400	535 (10,8%)
0,400	0,500	641 (13,0%)
0,500	0,600	554 (11,2%)
0,600	0,700	301 (6,1%)
0,700	0,800	229 (4,6%)
0,800	0,900	19 (0,4%)

Tabela 04: Injunção da RNGPS: distribuição de freqüência das estações da RGB, segundo as diferenças de altitudes (componente altimétrica)

Dif. de Altitude Lim. Inferior (m)	Dif. de Altitude Lim. Superior (m)	Nº de Estações da RGB (Freqüência)
-7,000	-6,000	2 (0,0%)
-6,000	-5,000	3 (0,1%)
-5,000	-4,000	1 (0,0%)
-4,000	-3,000	7 (0,1%)
-3,000	-2,000	19 (0,4%)
-2,000	-1,000	23 (0,5%)
-1,000	0,000	188 (3,8%)
0,000	1,000	4.607 (93,3%)
1,000	2,000	9 (0,2%)
2,000	3,000	11 (0,2%)
3,000	4,000	6 (0,1%)
4,000	5,000	11 (0,2%)
5,000	6,000	8 (0,2%)
6,000	7,000	4 (0,1%)
7,000	8,000	8 (0,2%)
8,000	9,000	5 (0,1%)

9,000	10,000	3 (0,1%)
10,000	11,000	4 (0,1%)
11,000	12,000	3 (0,1%)
12,000	13,000	1 (0,0%)
13,000	14,000	2 (0,0%)
14,000	15,000	2 (0,0%)
15,000	16,000	3 (0,1%)
16,000	17,000	1 (0,0%)
17,000	18,000	3 (0,1%)
18,000	19,000	2 (0,0%)
19,000	20,000	2 (0,0%)
20,000	21,000	1 (0,0%)

O terceiro ensaio foi realizado objetivando investigar a contribuição das diferenças de coordenadas GPS (componentes do vetor espacial) - $(Dx,Dy,Dz)^{GPS}$ - no reajuste da RGB. Para tanto, desconsiderou-se estes valores das 34 estações coincidentes entre a RNGPS e a RGB clássica, de maneira independente, uma a uma, ou seja: o não emprego das grandezas foi feito distintamente para cada uma das estações. Deste modo, foi realmente possível avaliar a contribuição de cada terno $(Dx,Dy,Dz)^{GPS}$ na realização SAD 69/96. A estação em estudo, que tinha as observações $(Dx,Dy,Dz)^{GPS}$, passou a ter somente observações clássicas. A eliminação dos dados $(Dx,Dy,Dz)^{GPS}$ foi um trabalho que exigiu atenção, por duas razões. Primeira, porque nem todos os vértices da RNGPS estão conectados às estações da rede clássica; segunda, porque algumas estações da RNGPS estão ligadas somente a uma única estação da própria RNGPS, portanto, possuem um único vetor posição. Em conseqüência, ao eliminar as observações $(Dx,Dy,Dz)^{GPS}$ de um dado vértice, poderia ocorrer que estações da RNGPS ficassem soltas no espaço, causando problemas no processamento do ajuste. Assim sendo, teve-se de investigar todas as ligações, de modo que não existisse na rede pontos sem conexão geométrica.

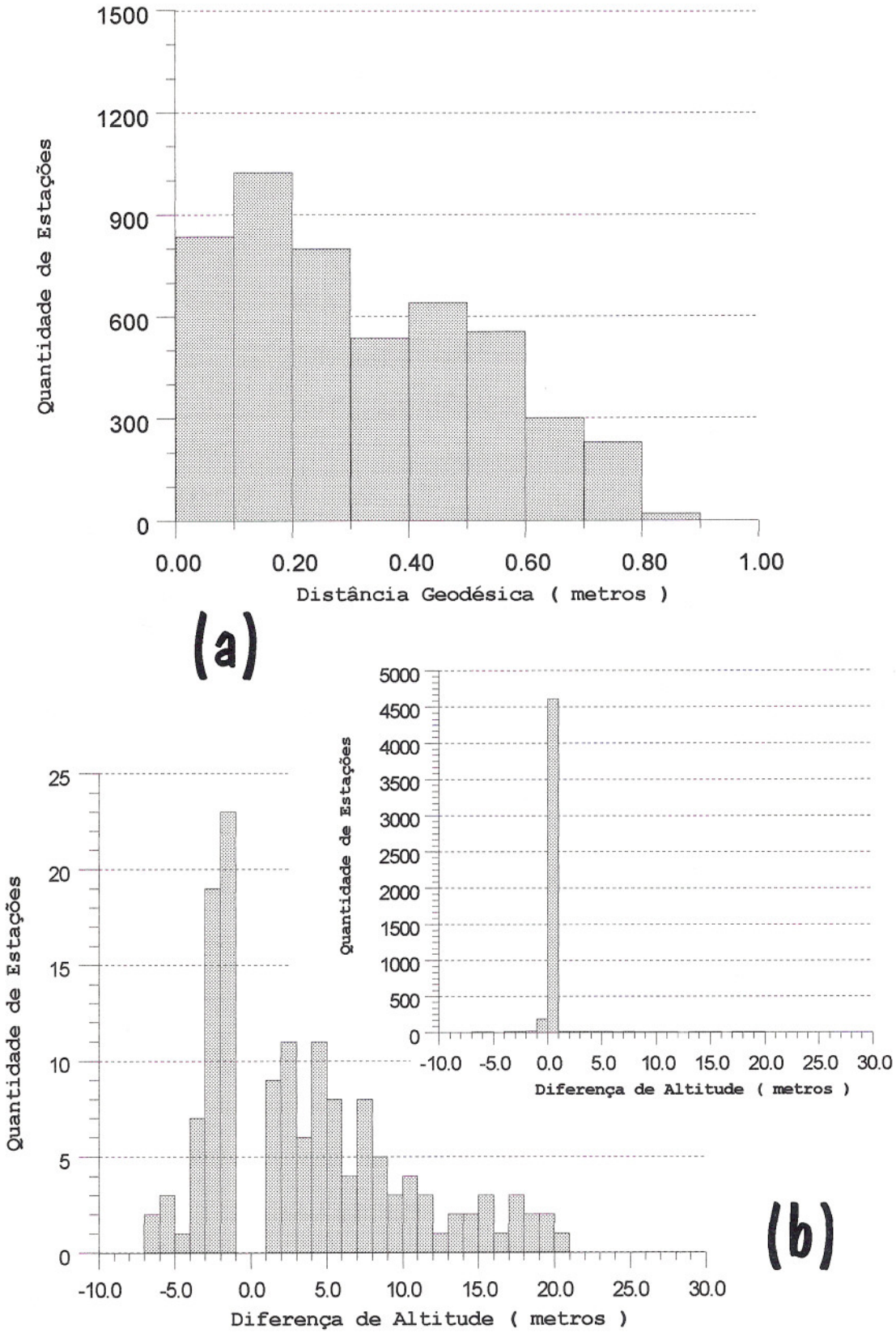


Figura 07: Histogramas relativos à injunção da RNGPS:
(a) planimetria (distância geodésica);
(b) altimetria (diferença de altitude).

Pode-se ter uma idéia da distribuição espacial das 34 estações comuns na Figura 8. Executado o novo processamento (na verdade 34 processamentos, 1 por estação), foram calculadas, para o vértice específico em estudo, a distância geodésica e a diferença de altitude entre a posição conhecida, obtida da RNGPS, e a nova posição, obtida da solução na qual a estação teve eliminadas suas observações GPS (SAD 69/96_E). De maneira a proporcionar melhor análise, na Tabela 05 são apresentados, para cada uma das 34 estações, as DG e Δh, em metros, entre as seguintes soluções:

a) (SAD 69/96 - SAD 69) - quantificam os deslocamentos entre as duas realizações do SGB associadas ao SAD 69;

b) (RNGPS - SAD 69/96) - quantificam a influência da RGB clássica na RNGPS;

c) (RNGPS - SAD 69/96_E) - quantificam a contribuição das observações GPS na RGB.

Para a leitura da Tabela 05, considerar que as informações da coluna relativa à Estação representam o número da estação/unidade da federação (UF), sendo que os estados onde existem estações são: Minas Gerais (MG); Amapá (AP); Ceará (CE); São Paulo (SP); Bahia (BA); Rio de Janeiro (RJ); e Distrito Federal (DF). Nas duas últimas linhas: MÉDIA é a média aritimética; e σ é o desvio padrão de uma observação isolada. A média aritmética para a diferença de altitude foi calculada considerando-se os respectivos valores em módulo. A estação 270 (Chuá) foi considerada no cálculo tanto da média quanto do desvio padrão, pertinente às soluções (SAD 69/96 - SAD 69) e (RNGPS - SAD 69/96), apesar de ter suas coordenadas injuncionadas, portanto, particularizando as grandezas distância geodésica e diferença de altitude.

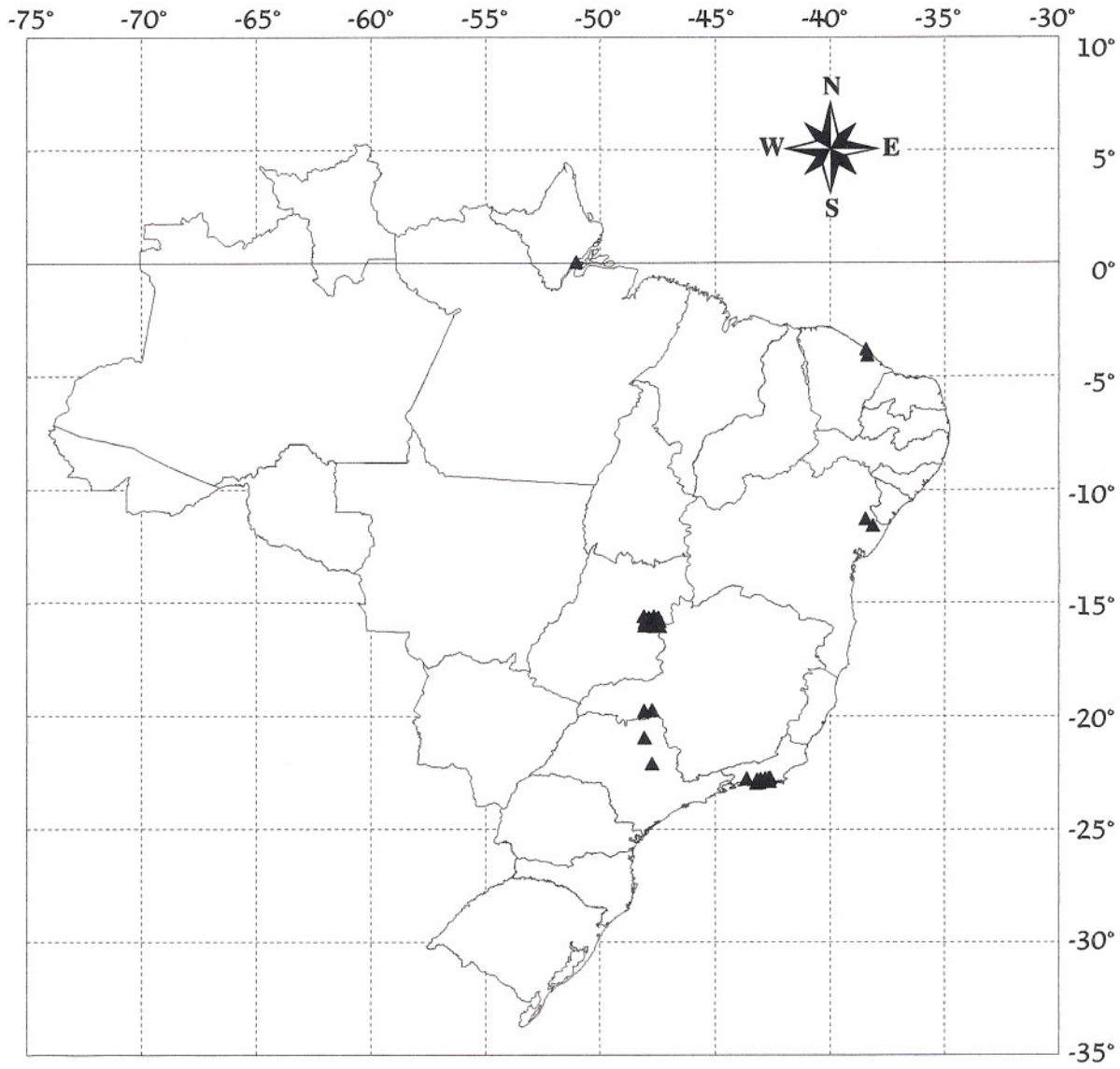


Figura 08: Estações coincidentes entre a RGB clássica e a RNGPS

Tabela 05: Distâncias geodésicas e diferenças de altitudes entre diferentes soluções para as 34 estações coincidentes entre a RNGPS e a RGB clássica

Estação	SAD 69/96 - SAD 69		RNGPS - SAD 69/96		RNGPS - SAD 69/96_E	
	DG (m)	ΔH (m)	DG (m)	ΔH (m)	DG (m)	ΔH (m)
270/MG	0,000	0,000	0,000	0,000	0,396	0,619
274/MG	0,109	0,958	0,000	0,000	0,228	0,958
10026/AP	28,503	0,468	0,213	0,037	2,889	-3,460
10196/CE	5,299	2,365	0,038	0,038	1,035	2,403
1483/CE	5,617	1,948	0,683	-0,038	0,822	1,910
10985/SP	4,929	4,077	0,001	0,000	0,297	4,077
11108/SP	1,931	-0,133	0,002	0,000	1,477	-0,132
1371/BA	4,594	-1,965	0,027	0,001	0,339	-1,964
8142/BA	4,859	-4,378	0,028	0,001	0,463	-4,377
2034/RJ	3,854	1,776	0,018	0,013	0,115	1,789
2035/RJ	3,987	1,508	0,090	0,067	0,188	1,576
4053/RJ	3,551	0,902	0,024	0,002	0,294	0,905
4060/RJ	3,293	1,175	0,024	-0,006	0,086	1,169
4061/RJ	3,590	0,927	0,040	0,010	0,070	0,938
4063/RJ	3,606	0,750	0,021	-0,002	0,064	0,748
4064/RJ	3,452	0,965	0,042	-0,019	0,062	0,946
4065/RJ	3,711	1,093	0,016	-0,002	0,055	1,091
4066/RJ	3,750	1,256	0,050	0,003	0,106	1,258
4067/RJ	3,780	1,389	0,011	-0,001	0,061	1,387
1497/DF	1,834	-0,195	0,013	-0,002	0,071	-0,197
1500/DF	1,481	-0,256	0,005	-0,005	0,015	-0,261
1584/DF	2,574	2,009	0,089	0,003	0,038	2,012
1586/DF	2,428	-0,361	0,094	0,003	0,094	-0,359
1592/DF	1,760	1,602	0,018	0,000	0,098	1,601
9715/DF	1,899	0,176	0,019	-0,001	0,334	0,175
9717/DF	1,878	0,428	0,016	0,005	0,154	0,432
9719/DF	1,883	-0,276	0,046	-0,026	0,333	-0,302
9722/DF	1,710	-0,157	0,002	-0,006	0,191	-0,163
9728/DF	1,010	-0,286	0,043	0,012	0,079	-0,274
9740/DF	2,487	0,767	0,070	0,021	0,037	0,788
9752/DF	2,510	0,581	0,048	0,015	0,182	0,596
9782/DF	1,678	-0,140	0,003	-0,006	0,029	-0,146

9801/DF	2,422	1,515	0,008	0,002	0,074	1,518
9802/DF	2,343	1,565	0,007	0,003	0,064	1,567
MÉDIA σ	3,597 ± 4,610	|1,128| ± 1,023	0,053 ± 0,119	|0,010| ± 0,015	0,319 ± 0,550	|1,238| ± 1,075

Pelos valores constantes na Tabela 05, pode-se inferir algumas conclusões, a saber:

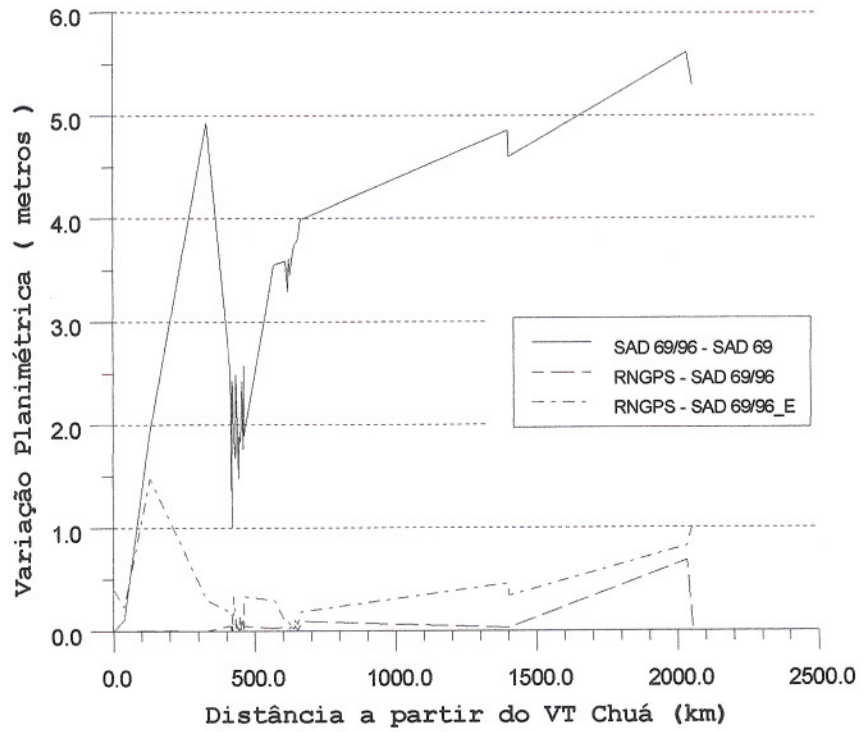
a) houve maior variação planimétrica (3,597 ± 4,610 m) do que altimétrica (|1,128| ± 1,023 m) entre o SAD 69/96 e o SAD 69: isto ocorreu pelo fato do reajustamento da RGB manter fixa a altitude, exceção somente para as estações GPS e *DOPPLER*. O alto σ é explicado pela heterogeneidade dos valores, pois a amplitude do intervalo de variação é significativo, tanto para planimetria, de 0,000 m a 28,503 m, quanto para altimetria, de -4,378 m a 4,077 m. Dentro do contexto, o valor do ΔH para a estação 10026 (Amapá) pode indicar comportamento anômalo, pois mostra valor relativamente pequeno, sendo a única estação naquele estado;

b) houve pequena variação planimétrica (0,053 m ± 0,119 m) e altimétrica (|0,010| m ± 0,015 m) entre a RNGPS e o SAD 69/96: tal fato comprova que todo o conjunto de observações clássicas ainda influencia os valores $(Dx,Dy,Dz)^{GPS}$, apesar destes apresentarem maior precisão. Há de se levar em conta que as estações da RNGPS ainda são poucas, dada a dimensão da RGB, além de estarem mal distribuídas. O alto σ em planimetria é explicado pelo valor associado à estação 1483 (Ceará), indicando que a estação, provavelmente, tem problemas;

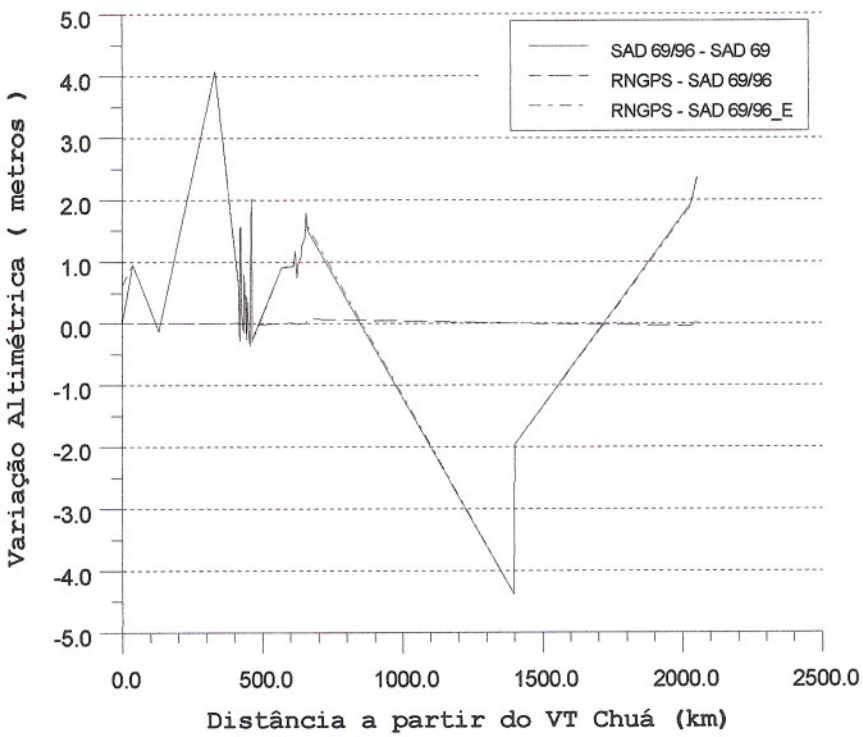
c) houve significativo deslocamento planimétrico (0,319 m ± 0,550 m), e grande discrepância altimétrica (|1,238| m ± 1,075 m) entre a RNGPS e o SAD 69/96_E:

tal fato comprova que, apesar do controle GPS, a RGB ainda não está integralmente compatível para emprego do sistema GPS. No que tange à planimetria, a amplitude do intervalo, de 0,015 m a 2,889 m, já é um indicador que o valor médio não representa a realidade, demonstrada sem dificuldade a seguir. Ao invés de calcular uma média com todos os 34 valores, calcula-se médias por região: 0,120 (DF); 0,110 (RJ); 0,401 (BA); 0,887 (SP); 0,929 (CE); 2,889 (AP); e 0,312 (MG). A partir destes 7 valores, obtém-se uma nova média e desvio padrão: 0,807 m ± 0,977 m. Esta nova média, menos tendenciosa, indica que coordenadas GPS, transformadas para o Sistema SAD 69, materialização SAD 69/96, podem ainda apresentar discrepâncias significativas para várias aplicações. Quanto à altimetria, pode-se observar que a diferença entre o ΔH da solução (RNGPS - SAD 69/96_E) e o ΔH da solução (RNGPS - SAD 69/96) têm de ser igual, desconsiderando erros de truncamento, ao ΔH da solução (SAD 69/96 - SAD 69), já que o ajuste foi feito no espaço 2-D. Tal fato não ocorre somente para as estações 270 (vértice Chuá) e 10026. A diferença em Chuá existe porque na solução SAD 69/96_E o vértice em questão não é injuncionado, podendo, desta forma, suas coordenadas variarem. Quanto à diferença na estação 10026, a explicação cabível é a existência de problemas ainda remanescentes na RGB, corroborando com a suspeita já indicada na alínea ***a*** deste mesmo ensaio.

As Figuras 09 e 10 correspondem ao conjunto dos quatro gráficos que visualizam os resultados obtidos no terceiro experimento, abordando tanto as variações planimétricas (distâncias geodésicas) quanto as altimétricas (diferenças de altitude). Cada figura é composta de dois gráficos, e se diferenciam pelo argumento usado nas abscissas.

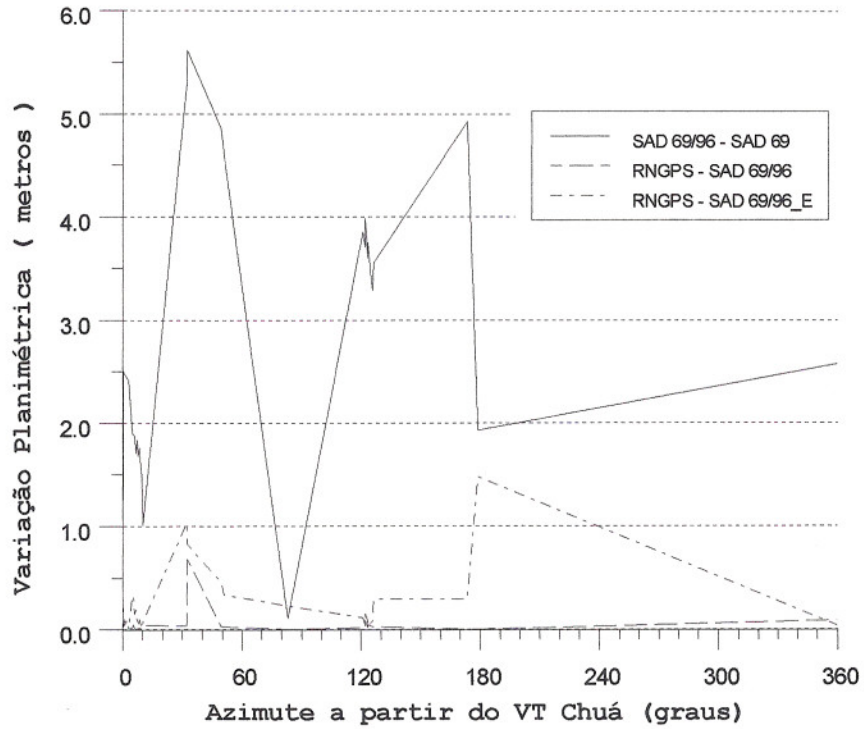


(a)

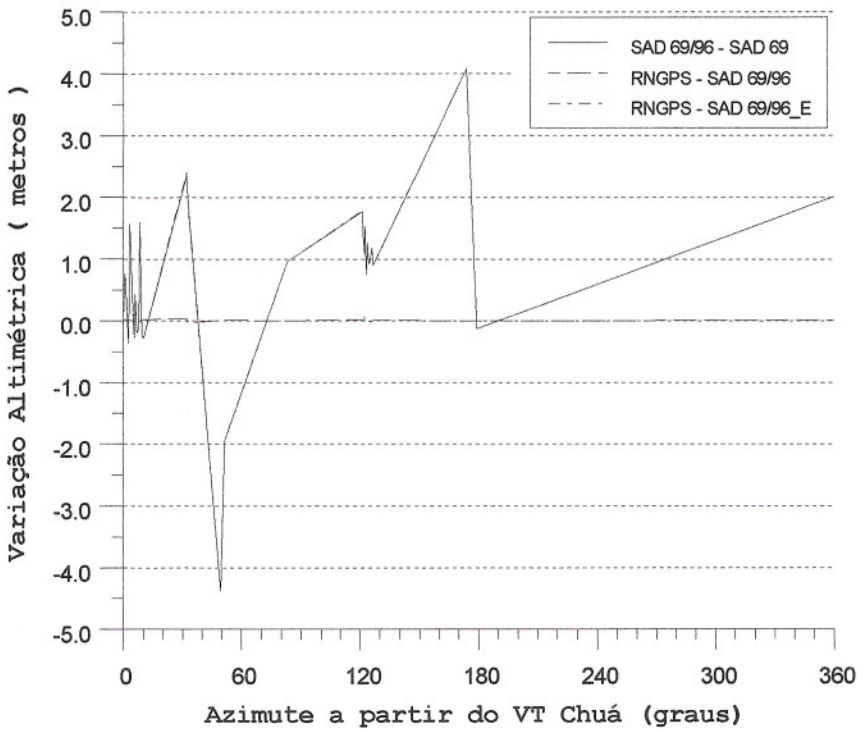


(b)

Figura 09: Variações planimétricas (a) e altimétricas (b) entre diferentes RGB *versus* distância contada a partir do VT Chuá.



(a)



(b)

Figura 10: Variações planimétricas (a) e altimétricas (b) entre diferentes RGB *versus* azimute contado a partir do VT Chuá.

A Figura 09 apresenta para o eixo das abscissas a distância geodésica, enquanto que a Figura 10 os azimutes geodésicos. As grandezas são relativas ao VT Chuá, e foram calculadas para as 34 estações do ensaio. De maneira a facilitar a representação dos resultados de natureza planimétrica, referentes à solução (SAD 69/96 - SAD 69), o valor de 28,503 m (estação 10026) não foi considerado. Observando-se os conjuntos de gráficos nota-se, tanto em planimetria quanto em altimetria, um padrão que dificilmente poderá ser descrito de forma matemática. Desta forma, continua complexo modelar, de maneira suficiente e adequada, as deformações ainda existentes na RGB.

3.6 - PROBLEMAS ASSOCIADOS

A alteração dos valores das coordenadas de um conjunto de vértices, que realizam um sistema de coordenadas, produzem modificações nos produtos que são dependentes desta rede. Em função de como foi processada a mudança nas coordenadas:

- alterando-se a sua definição, conseqüentemente a materialização, ou;

- mantendo-se invariante a definição, mas não a materialização;

uma série de problemas irão surgir. No caso específico da RGB, podendo haver outros, deve ser motivo de preocupação:

a) a reconstrução da Base Cartográfica, particularmente em escalas maiores;

b) a denominação que recebem as realizações, e a própria definição do Sistema Geodésico, no caso, o SAD 69;

c) a criação da expectativa da "rede isenta de problemas".

A partir da definição apresentada por FERREIRA DA SILVA [1998, p.5], entende-se por Base Cartográfica "*o conjunto mínimo de representações das feições necessárias*" ao atendimento dos objetivos do documento cartográfico. Concernente à sua reconstrução, alguns aspectos podem ser ressaltados, por exemplo, quanto:

a) ao corte espacial de folhas referentes a qualquer categoria de mapeamento: neste aspecto não existem problemas, visto que as coordenadas pertinentes ao enquadramento dos documentos, de natureza puramente geográfica e matemática, estão vinculadas à superfície do globo terrestre, não estando associadas a qualquer Sistema ou Rede de Coordenadas. Em virtude dos parâmetros definidores da imagem geométrica associado ao SGB, semi-eixo maior (a) e achatamento (f), não terem sido alterados, o valor de certas grandezas não são modificados, como por exemplo, a área de cada documento;

b) ao vazio de informação na área de representacão de documentos cartográficos: deverá ocorrer, especialmente naqueles de escalas grandes e médias, devido às diferenças das coordenadas entre as realizações. Quando houver a transformação de coordenadas, a informação contida num documento associado à realização SAD 69, embora inalterado o espaço geográfico, não será necessariamente a mesma na representação SAD 69/96;

c) à necessidade de transformação do documento: questão associada diretamente à escala de representação. Se a precisão nominal, ou o erro inerente ao documento, for

maior do que a resultante do deslocamento posicional da área, torna-se sem sentido efetuar um processo de transformação a este documento, por motivos óbvios.

Com relação à identificação oficial que receberam as duas realizações do Sistema SAD 69 no Brasil, até o momento iguais a SAD 69, confundindo-se até mesmo com a própria definição do Sistema Geodésico específico, as conseqüências podem ser graves. Isto porque as diferenças entre os valores das coordenadas para algumas aplicações pode ser significativa. Basicamente, o problema é originado pelo emprego de coordenadas associadas a uma dada realização, por exemplo, a SAD 69, quando o correto seria o emprego de coordenadas na outra realização, no caso desta pesquisa, a SAD 69/96.

A título de ilustração, exemplifica-se o problema com o uso do MAPGEO (MAPa GEOidal do Brasil - versão 1992), programa desenvolvido pelo IBGE/DGC/DEGED & EPUSP/PTR, que tem por objetivo a interpolação de ondulações geoidais (N) no Sistema SAD 69 / Rede SAD 69. A estação geodésica 10058, pertencente ao SGB, tem valores para ondulação geoidal iguais a -4,22 m e -4,30 m, ao se usar para interpolação as coordenadas (φ,λ) das realizações SAD 69/96 e SAD 69, respectivamente. Mesmo sendo a diferença de 8 cm muito menor que a precisão absoluta da grandeza interpolada, da ordem de 3 m, tem-se que pela precisão relativa, da ordem de 1 cm/Km, o erro cometido restringe o emprego do MAPGEO a uma área de raio igual a 8 Km, tendo como origem aquela estação. Lembrando que todo o processamento que originou o produto foi feito empregando-se coordenadas SAD 69, a magnitude desta diferença não deve ser somente analisada sob a ótica do erro esperado do produto, mas, principalmente, considerando-se toda a metodologia e cálculos que o originaram.

A explicação cabível no que se refere à criação da expectativa da "rede isenta de problemas" diz respeito aos usuários, provavelmente aqueles mais desavisados e que, mediante a nova realidade, no caso a realização SAD 69/96, consideram que todos os problemas existentes na rede antiga estão solucionados. Por exemplo, a total compatibilização entre as coordenadas SAD 69, originadas a partir do emprego do sistema GPS e dos atuais parâmetros de transformação entre os Sistema SAD 69 e WGS 84, com as coordenadas da nova realização do SGB, fundamentado no fato de que o reajuste teve controle GPS. Portanto, melhor precisão impossível ! No entanto, pesquisa desenvolvida por MONICO [1995] comprovou que as coordenadas oficiais WGS 84 do vértice Chuá, determinadas pelo IBGE, tem afastamento resultante da ordem de 0,568 m com relação a rede ITRF 93. Outra investigação, efetuada por FONSECA JÚNIOR; BLITZKOW; PACILÉO NETTO & CINTRA [1997] mostrou que as coordenadas ITRF 93 do vértice Chuá, quando transformadas para WGS 84, apresentam afastamento da ordem de 1,045 m em relação às coordenadas oficiais. Deve ser ressaltado que, atualmente, as realizações dos Sistemas WGS 84 e ITRS (redes WGS 84 e ITRF 93) são compatíveis ao nível de 0,100 m [McCARTHY, 1996, p.12]. A principal diferença entre os experimentos de MONICO [1995] e FONSECA JÚNIOR; BLITZKOW; PACILÉO NETTO & CINTRA [1997] diz respeito aos parâmetros de transformação:

a) no ensaio feito por MONICO [1995], são determinados parâmetros para os dois sistemas, considerando um único vértice;

b) no ensaio realizado por FONSECA JÚNIOR; BLITZKOW; PACILÉO NETTO & CINTRA [1997], são empregados parâmetros determinados por um conjunto de vértices distribuídos globalmente.

Contudo, a análise destes resultados não é tão imediata, visto que o Sistema WGS 84 já foi refinado em sua realização [NIMA WGS 84 UPDATE COMMITTEE, 1997, p.XI]; [MALYS; SLATER; SMITH; KUNZ & KENYON, 1997]; [MALYS & SLATER, 1994]. Assim sendo, em vista das coordenadas oficiais do VT Chuá já não estarem mais associadas às realizações empregadas nos ensaios, fica difícil caracterizar a origem das diferenças encontradas. No entanto, mesmo que de maneira incipiente, os resultados podem indicar, inclusive, o comprometimento no uso de produtos em desenvolvimento - mapeamentos, por exemplo, ou já até disponibilizados, como a rede ativa denominada Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC). Ao se determinar coordenadas no sistema SAD 69, a partir da RBMC e do sistema GPS, pode-se estar deformando as coordenadas no sistema SAD 69 pelo emprego dos atuais parâmetros de transformação. Para maiores informações sobre a RBMC, consultar FORTES [1997].

Estes e outros problemas devem merecer estudos adequados das instituições e autoridades competentes no contexto nacional, com vistas a preparar e implementar, no momento oportuno, soluções suficientes e adequadas aos mais diversos usuários. O intuito é evitar, por exemplo: danos comprometedores às ciências e tecnologias envolvidas; emprego inadequado dos recursos humanos, técnicos e financeiros; ou perda de credibilidade das instituições e/ou dos profissionais que sustentam, tanto a nível teórico quanto prático, as atividades associadas às áreas do conhecimento humano em questão.

3.7 - APRECIAÇÃO FINAL

Pelas informações que integram o capítulo, pode-se admitir que a RGB ainda apresenta condições para estudo,

pesquisa e desenvolvimento, de maneira a poder se adequar, dentro dos possíveis limites, ao estado de desenvolvimento da Geodésia atual. As razões que justificam a idéia se fundamentam diante da necessidade e complexidade, de modo análogo a trabalhos semelhantes realizados em nível mundial, apresentadas, por exemplo, com relação à:

a) homogeneização de dados de diferentes fontes e precisões, por requerer tratamentos diferenciados;

b) consolidação das observações e informações pertinentes a uma rede de características continentais;

c) adequação do conjunto de dados para a rigorosa aplicação de novos modelos matemáticos (Geodésia 3-D);

d) correção de deformações impostas por processos anteriores de cálculo, ou mesmo de coleta de dados;

e) integração de novos dados e informações à rede;

f) avaliação do impacto causado nos produtos e serviços dependentes de um determinado Sistema/Rede, pela mudança dos valores das coordenadas.

No entanto, deve-se enfatizar o notório esforço que vem sendo empreendido no Brasil, tanto por profissionais quanto por instituições, no intuito de acompanhar, neste caso específico, o desenvolvimento da Geodésia. Desta forma, o que se esta procurando evitar, exigência de toda e qualquer sociedade, é a indesejável e desagradável dependência tecnológica, evidenciada, por exemplo, pelo aceite das respostas prontas; das soluções impostas; ou mesmo na organização da produção de serviços primários e essenciais.

Assim sendo, é *mister* a não solução de continuidade nos trabalhos em desenvolvimento em tão relevante área do conhecimento humano no nosso país.

Baseado no conteúdo deste capítulo, são em número de 4 as principais contribuições, indicadas a seguir:

1) apresentar a componente planimétrica do SGB, através de suas duas realizações, associadas ao Sistema Geodésico SAD 69, sendo que de modo sucinto a vigente até novembro de 1996, e de modo mais abrangente, a que foi adotada a partir daquela data;

2) apresentar e discutir alguns pontos importantes, pertinentes à metodologia empregada, no processamento da realização SAD 69/96;

3) apresentar um estudo básico, que teve como objetivo caracterizar aspectos associados à exatidão da última realização, mesmo que de modo incipiente. No desenvolvimento deste estudo, foram abordados aspectos inerentes à parte da metodologia empregada, e também relativos à situação esperada do paralelismo entre o SAD 69/96 e o WGS 84;

4) apresentar e discutir algumas questões, referentes à adoção de uma nova materialização de um Sistema de Coordenadas já anteriormente materializado.