

CAPÍTULO 6 – SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICO PARA AS AMÉRICAS - SIRGAS

Até fevereiro de 2001, o sistema era conhecido como: “**S**istema de **R**eferência **G**eocêntrico para **A**mérica do **S**ul” (“South American Geocentric Reference System”). Atualmente: “Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas” (“Geocentric Reference System for the Americas”). [III COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, CURITIBA, 2003]

Os sistemas clássicos de referência utilizam observações clássicas para medidas de ângulos e distâncias com as metodologias clássicas existentes (triangulação e poligonação), fazem uso de coordenadas regionais, definem sua posição local e podem se ligar a uma rede fundamental [IBGE, 2004]. São Sistemas Cartesianos Relativos com Orientação Topocêntrica (Figura 6.1). São definidos por elipsóides que possam garantir uma boa adaptação com o geóide na região considerada e o posicionamento deste no espaço [Figura 6.2].

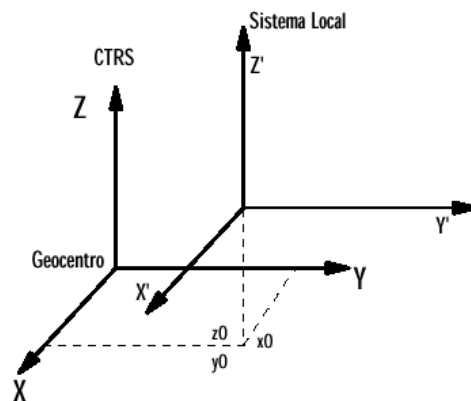


Figura 6.1 - Sistema Cartesiano Relativo com Orientação Topocêntrica

Fonte: Notas de aula do Prof. OLIVEIRA, L. C. , IME, 2005.

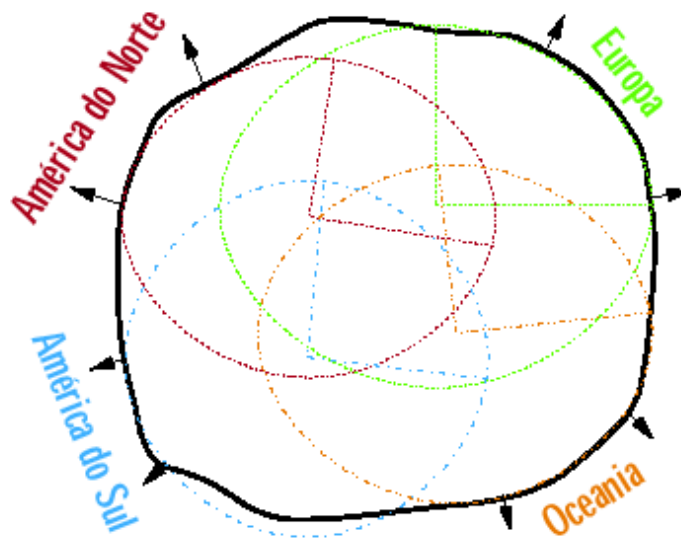


Figura 6.2 - Sistema Clássico de referência

Fonte: Notas de aula do Prof. OLIVEIRA, L. C. , IME, 2005.

- Os sistemas modernos de referência se utilizam de observações modernas, como técnicas espaciais, tendo como exemplo o GPS, que utiliza coordenadas geocêntricas tridimensionais (Figura 6.3).

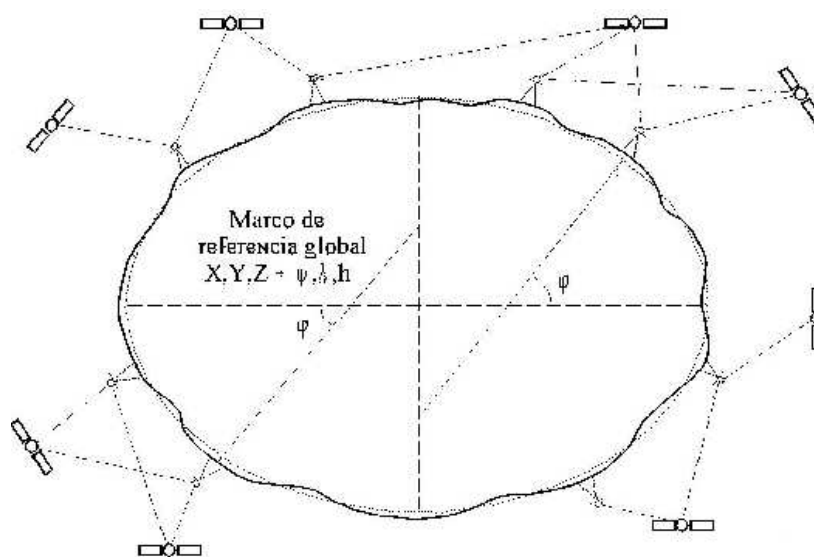


Figura 6.3 - Sistema de Referência Geocêntrico

Fonte: IBGE, 2004.

O projeto SIRGAS foi criado com vistas a promover a definição e o estabelecimento de um referencial único compatível em termos de precisão com a tecnologia atual, tendo como objetivo se compatibilizar com os sistemas geodésicos utilizados pelos países da América do Sul.

Como já foi dito anteriormente na sessão 1.1, o projeto SIRGAS se iniciou em outubro de 1993, numa reunião realizada em Assunção, no Paraguai, durante a Conferência Internacional para a Definição de um Datum Geocêntrico para a América do Sul, patrocinada pela Associação Internacional de Geodésia (IAG), Instituto Panamericano de Geografia e História (IPGH) e Agência Cartográfica do Departamento de Defesa dos EUA (DMA), que já foi a Agência Nacional de Mapas e Imagens (NIMA) e hoje é *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA), tendo um representante de cada uma das entidades patrocinadoras e de quase todos os países sulamericanos. Seus objetivos eram: definir um sistema de referência para a América do Sul, o que ficou decidido com a densificação do IERS *Terrestrial Reference Frame* (ITRF); estabelecer e manter uma rede de referência, estabelecida a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC); definir e estabelecer um Datum geocêntrico, definiu-se o uso do *Geodetic Reference System* de 1980 (GRS80).

É necessário que se tenha no continente, uma rede de referência de precisão compatível com as técnicas atuais de posicionamento para o desenvolvimento do projeto SIRGAS, técnicas estas conseguidas com o Sistema de Posicionamento Global (GPS). Referir novos levantamentos a uma estrutura geodésica existente, implantadas por métodos clássicos como: triangulação, poligonação, trilateração, etc., cuja precisão é bem inferior a fornecida por GPS, implica no mínimo em desperdício de recursos, considerando a proliferação do uso do GPS. A grande quantidade de referenciais existentes utilizados pelos países sulamericanos dificultam a solução de problemas simples como uma linha de fronteira internacional, sendo que, com o uso do ITRF (SIRGAS) como referência, garante-se a homogeneização de resultados dentro do continente, fazendo com que se tenha uma integração global [FORTES, 1994].

Seguindo recomendação da Associação Internacional de Geodésia (IAG), o SIRGAS passou a utilizar o ITRF como estrutura primária para o referenciamento no Brasil, possuindo as seguintes características:

- Plataforma de referência recomendada pelo IAG, o elipsóide: *Geodetic Reference System* de 1980 (GRS80), representando a forma e dimensões da Terra em caráter global, com posicionamento segundo os eixos coordenadas do ITRS, sendo portanto Geocêntrico.

Semi-eixo maior	$a = 6.378.137 \text{ m}$
Achatamento	$f = 1/298,257222101$

- Origem: Centro de massa da Terra
- Orientação: Pólos e meridiano de referência consistentes em $\pm 0,005''$ com as direções definidas pelo *BIH (Bureau International de l'Heure)*, em 1984,0.
- Compreende a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), garantindo uma conexão imediata com o sistema SIRGAS, empregando uma das técnicas de posicionamento mais precisas existentes atualmente, o GPS, a partir desta rede ativa.
- É uma densificação do ITRF na América do Sul.

Em 1995, foi feita a primeira campanha GPS SIRGAS, com a finalidade de estabelecer uma rede GPS de alta precisão a qual contou com 58 estações, cobrindo de forma homogênea o continente (Figura 6.4) e referida ao sistema de referência internacional mais preciso que existe, o ITRF94 referido à época de 1995,4 ficando estabelecido desta forma a rede SIRGAS, sendo que 11(once) destas estações, situadas em território brasileiro, com 9(nove) delas coincidentes com a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) [FORTES, 1998].

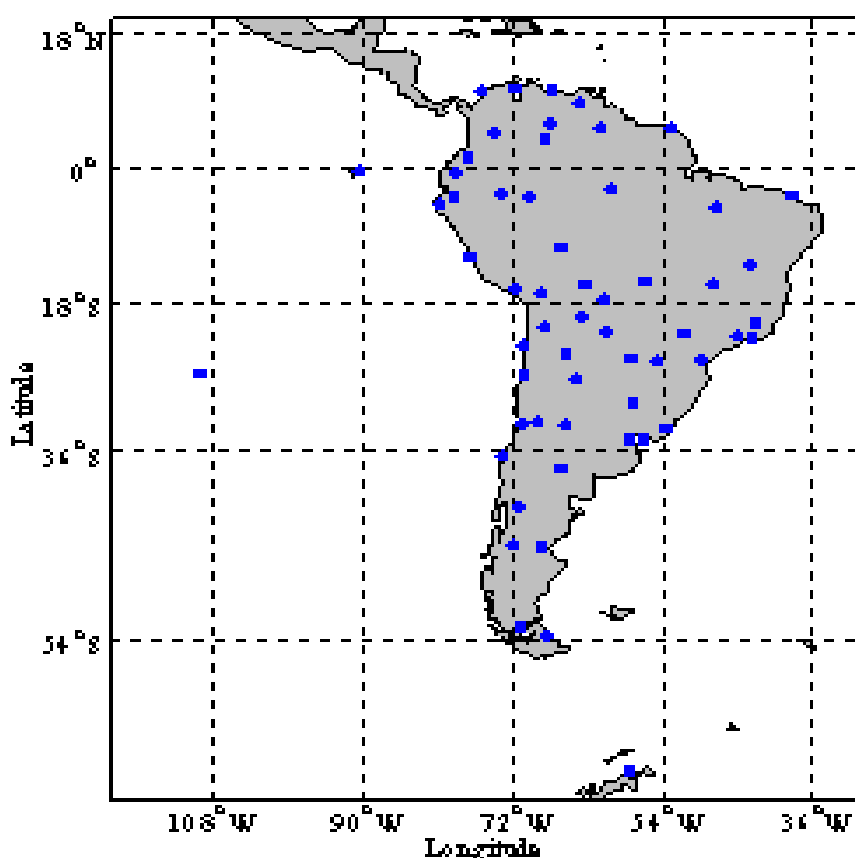


Figura 6.4 - Estações ocupadas durante a campanha GPS SIRGAS 95 (total de 58)

Fonte: IBGE, 2004.

No ano de 2000, foi repetida a primeira campanha para dar suporte ao cálculo das velocidades das estações GPS SIRGAS. A realização SIRGAS 2000 é mais completa do que a SIRGAS 95, compreendendo 184 estações (Figura 6.5) distribuídas pelas Américas, do Sul, Central, do Norte e Caribe, tendo um número maior de estações no território nacional (21 estações), mais do que a última realização do ITRF 2000 com 9 (nove) estações.

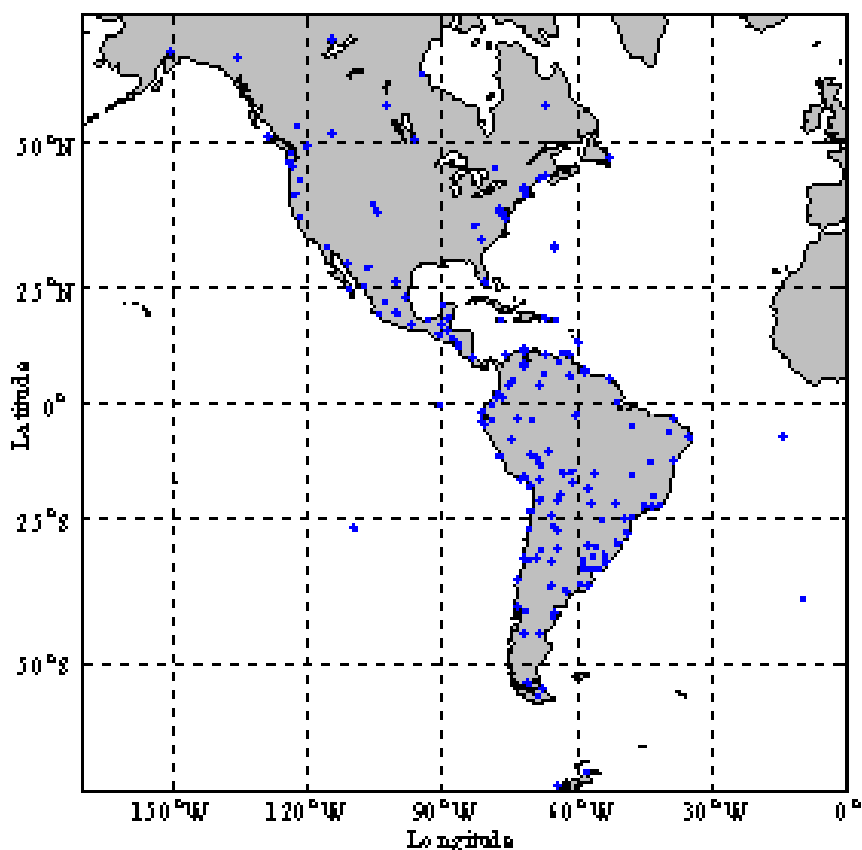


Figura 6.5 - Estações ocupadas durante a campanha GPS SIRGAS 2000 (total de 184)

Fonte: IBGE, 2004.

Quando da obtenção das coordenadas das estações estabelecidas por GPS, as mesmas possuem a componente altimétrica referida ao elipsóide, sendo que a referência altimétrica deve ser referida ao geóide, coincidente com o nível médio dos mares, devendo então, ser convertida para o sistema geodésico de referência vertical, através do conhecimento da ondulação geoidal (diferença entre a altitude ortométrica e a altitude elipsóidica ou geométrica). Deste modo, existe a necessidade do desenvolvimento de um novo modelo de ondulações geoidais referidas ao novo sistema, visando a obtenção das altitudes ortométricas a partir das altitudes elipsoidais SIRGAS 2000 [IBGE, 2000].

As 21 estações da rede continental SIRGAS 2000, estabelecidas no Brasil (Tabelas 6.1 e 6.2), constituem a estrutura de referência a partir da qual o sistema SIRGAS 2000 é materializado em território nacional. Está incluída nestas tabelas, a estação SMAR, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), cujas coordenadas foram determinadas pela Fundação IBGE posteriormente à campanha GPS SIRGAS 2000. A época de Referência das coordenadas: 2000,4.

Foi materializada por intermédio de todas as estações que compõem a Rede Geodésica Brasileira, implantadas a partir das estações de referência.

Tabela 6.1

Estações de Referência SIRGAS 2000 situadas no Brasil e respectivas coordenadas cartesianas referidas à época 2000,4.

Estação	X (m)	Y (m)	Z (m)
BRAZ	4115014,085	-455064,549	-1741444,019
BOMJ	4510195,835	-4268322,325	-1453035,300
CAC1	4164559,941	-4162495,407	-2445051,218
CANA	3875253,589	-4292587,088	-2681107,718
CORU	3229969,943	-5095437,766	-2063429,898
CRAT	4888826,036	-4017957,454	-798309,017
CUIB	3430711,406	-5099641,565	-1699432,931
FOR1	4982893,151	-3959968,539	-411742,293
FORT	4985386,605	-3954998,594	-428426,440
IMBI	3714672,427	-4221791,488	-2999637,883
IMPZ	4289656,441	4680884,944	-606347,331
MANA	3179009,359	-5518662,100	-344401,823
MCAE	4400142,600	-3932040,418	-2412305,322
PARA	3763751,652	-4365113,803	-2724404,694
POAL	3467519,402	-4300378,535	-3177517,730
PSAN	3998232,011	-4969359,526	-6340,615
RECF	5176588,653	-3618162,163	-887363,920
RIOD	4280294,879	-4034431,225	-2458141,380
SALV	4863495,731	-3870312,351	-1426347,813
UEPP	3687624,315	-4620818,606	-2386880,343
VICO	4373283,313	-4059639,049	-2246959,728
SMAR	3280748,410	-4468909,741	-3143408,684

Fonte: IBGE, 2005.

Tabela 6.2

Estações de Referência SIRGAS 2000 situadas no Brasil e respectivas coordenadas geodésicas referidas à época 2000,4 (elipsóide GRS80).

Estação	Latitude (° ´ ”)	Longitude (° ´ ”)	Altitude Elipsoidal (m)
BOMJ	13 15 20,0103 S	43 25 18,2468 W	419,401
BRAZ	15 56 50,9112 S	47 52 40,3283 W	1106,020
CAC1	22 41 14,5337 S	44 59 08,8606 W	615,983
CANA	25 01 12,8597 S	47 55 29,8847 W	3,688
CORU	19 00 01,0131 S	57 37 46,6130 W	156,591
CRAT	07 14 16,8673 S	39 24 56,1798 W	436,051
CUIB	15 33 18,9468 S	56 04 11,5196 W	237,444
FOR1	03 43 34,3800 S	38 28 28,6040 W	48,419
FORT	03 52 38,8046 S	38 25 32,2051 W	19,451
IMBI	28 14 11,8080 S	48 39 21,8825 W	11,850
IMPZ	05 29 30,3584 S	47 29 50,0445 W	105,008
MANA	03 06 58,1415 S	60 03 21,7105 W	40,160
MCAE	22 22 10,3989 S	41 47 04,2080 W	0,056
PARA	25 26 54,1269 S	49 13 51,4373 W	925,765
POAL	30 04 26,5528 S	51 07 11,1532 W	76,745
PSAN	00 03 26,4338 S	51 10 50,3285 W	- 15,506
RECF	08 03 03,4697 S	34 57 05,4591 W	20,180
RIOD	22 49 04,2399 S	43 18 22,5958 W	8,630
SALV	13 00 31,2116 S	38 30 44,4928 W	35,756
UEPP	22 07 11,6571 S	51 24 30,7223 W	430,950
VICO	20 45 41,4020 S	42 52 11,9622 W	665,955
SMAR	29 43 08,1260 S	53 42 59,7353 W	113,107

Fonte: IBGE, 2005

O globo terrestre está dividido em vários segmentos litosféricos denominados de placas tectônicas, situadas a uma profundidade de 30 a 80 Km abaixo da superfície terrestre [TEIXEIRA, 2000] e que se movem em diferentes direções e com diferentes magnitudes de acordo com a região em que estão localizadas. Devido a esse movimento, as coordenadas geodésicas situadas sobre uma dessas placas na crosta terrestre, dependem da época da aquisição das mesmas. Para a determinação da variação das coordenadas dos pontos obtidos sobre as placas, é necessário que se conheça esses elementos de direção e magnitude. As estruturas geodésicas concebidas hoje em dia, possuem além das três componentes definidoras de um ponto no espaço, também a componente de definição temporal. O SIRGAS 2000 tem suas coordenadas referidas à sua primeira realização SIRGAS 95, ITRF 94 época

1995,4. Para remover o efeito da geodinâmica nas coordenadas das estações, portanto, antes de usar suas coordenadas como injeção em qualquer processamento GPS, deve-se reduzi-las à época das observações GPS através de modelos geofísicos ou geodésicos de movimentos de placas e, após o processamento e o ajustamento das observações, as coordenadas deverão retornar à época SIRGAS 2000,4.

Com o uso das técnicas espaciais no posicionamento geodésico, em que a precisão das coordenadas geodésicas atingem o nível milimétrico/centimétrico, as coordenadas passaram a ser dependentes do tempo, devendo-se levar em consideração as variações decorrentes das deformações que se manifestam na superfície da Terra, representadas por modelos de deformação que representam a relação de dependência das coordenadas com o tempo. Modelos geofísicos de movimentos de placas apresentam a variação temporal das coordenadas. O modelo NNR NUVEL 1A é um exemplo de modelo geofísico, o qual é baseado apenas em informações geológicas e fundamentado na teoria da tectônica das placas (a qual considera a variação de coordenadas com o tempo em caráter linear). Também pode-se determinar a variação temporal por meio de métodos geodésicos de posicionamento, determinando-se continuamente as coordenadas das estações. A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do sistema GPS (RBMC), que é uma estrutura geodésica de concepção dinâmica, possibilita a obtenção diária das coordenadas, proporcionando o acompanhamento do movimento temporal da posição de suas estações. Usando-se um software científico para o processamento dos dados GPS das estações da RBMC para a análise da variação temporal, conseguiu-se um tratamento mais refinado no cálculo do vetor velocidade para as estações envolvidas. Foi proposto então, que o modelo de velocidades a ser utilizado nas coordenadas referidas ao SIRGAS no Brasil, seja aquele estimado através das estações da RBMC [COSTA, 1999].

A solução final da campanha SIRGAS 2000 foi discutida e oficialmente aceita por ocasião da realização do Comitê SIRGAS, ocorrida em Santiago do Chile, no período de 21 a 25 de janeiro de 2002. Quando da liberação da adoção oficial do SIRGAS, deverá ser usada a realização SIRGAS 2000,4 que corresponde a uma densificação do ITRF 2000, ressaltando-se que a determinação se restringe à América do Sul, por ter esta duas realizações SIRGAS.

A recomendação da adoção do SIRGAS 2000,4 (campanha realizada de 10 a 19 de maio de 2000) foi recomendada por um grupo de trabalho conhecido como Grupo de Trabalho 2 (GT2), composto por representantes de órgãos oficiais nacionais e internacionais que tem como finalidade a Definição e Estratégias para a Materialização do Sistema de Referência Geodésico.

Em reuniões nas cidades de Rio de Janeiro, Presidente Prudente e São Paulo, das quais fez parte o orientador deste trabalho, ficou justificado no que se chamou Resolução de São Paulo (versão final, março de 2003), o uso do SIRGAS à época 2000,4. Desse modo as coordenadas oficiais corresponderiam à posição real de cada estação a esta época, não sendo necessário empregar velocidades na geração do conjunto das referidas coordenadas, e também a compatibilização em termos internacionais com os demais países participantes do projeto SIRGAS, destacando-se que no Brasil, pela sua particular situação da placa tectônica, os resultados de posicionamento relativo ou diferencial são pouco sensíveis à época do levantamento. No caso de um posicionamento efetuado por ponto absoluto preciso, se necessitaria do uso das velocidades.

Para aplicações científicas, onde altas precisões são requeridas, deve-se utilizar o campo de velocidades disponibilizado para a América do Sul no site <http://www.ibge.gov.br/sirgas>. Com estas velocidades, é possível atualizar as coordenadas de uma estação da época de referência 2000,4 para qualquer outra, e vice-versa, por conta das variações provocadas pelos deslocamentos da placa tectônica da América do Sul.

Quando se realiza um levantamento com GPS, as coordenadas finais estão no sistema de referência WGS-84, devido ao processamento ser realizado com órbitas transmitidas WGS-84. Quando se usam órbitas precisas (ou combinadas) fornecidas pelo International GPS Service (IGS), o sistema de referência é o ITRF. Como o SIRGAS é uma densificação do ITRF na América do Sul, efetuando-se o processamento com efemérides precisas e adotando-se injunções das coordenadas das estações SIRGAS, obtém-se coordenadas SIRGAS 2000, nos levantamentos GPS [RESOLUÇÃO DE SÃO PAULO, 2003].

6.1 MUDANÇA DE UM REFERENCIAL RELATIVO COM ORIENTAÇÃO TOPOCÊNTRICA PARA UM REFERENCIAL DE CONCEPÇÃO GEOCÊNTRICA.

Com as novas tecnologias de informação e uma comunicação global se desenvolvendo continuamente, se faz necessário o uso de uma infra-estrutura espacial que atenda os padrões de precisão num contexto global. Com a adoção de um único referencial de concepção geocêntrica, o Brasil se mobiliza para a sua própria infra-estrutura espacial, de acordo com os padrões da tecnologia atual e compatível com a infra-estrutura geodésica moderna e global. O projeto SIRGAS foi definido com esta finalidade. Adotando-se um sistema geocêntrico baseado no ITRF, tem-se a garantia de que esta estrutura estará sempre atualizada em relação ao referenciamento global.

Um referencial geocêntrico constitui uma necessidade, que tem por objetivo atender aos padrões globais de georreferenciamento. Essa mudança de referencial também é

necessária devido à busca de uma compatibilidade com os países sulamericanos, onde se migrou para um único referencial e geocêntrico. Também é importante frisar que o uso das técnicas espaciais de posicionamento tem suas vantagens sobre a terrestre no tocante ao posicionamento 3D de uma estação e na alta precisão com que são determinadas as coordenadas, como os levantamentos feitos com GPS que pela facilidade do seu uso e pela boa qualidade dos resultados, o torna uma das ferramentas mais populares e avançadas de posicionamento. Mas a determinação da escolha do novo referencial, se deve também ao fato de não se ter a dependência de uma única técnica de posicionamento para a sua existência e manutenção, como é o caso do WGS-84 restrita somente ao GPS; deve atender também em precisões para a geodésia e não somente para a cartografia. O pós-processamento realizado com efemérides precisas do *International GPS Service (IGS)*, fornece coordenadas ITRFyy quando a estação no posicionamento relativo for ITRF [IBGE, 2000].

6.2 PARÂMETROS PARA TRANSFORMAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS GEODÉSICOS UTILIZADOS NO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO.

A transformação entre diferentes sistemas de referência se dá por meio de parâmetros de transformação que são divulgados pela Fundação IBGE que é o órgão oficial responsável por esses dados. Os parâmetros para a transformação do sistema Córrego Alegre para o SAD-69, são dados pelas seguintes translações:

- Translação em X = - 138,70 m
- Translação em Y = 164,40 m
- Translação em Z = 34,40 m

Em 2002, DALAZOANA realizou dois testes com o propósito de verificar a validade desses parâmetros de transformação, selecionando uma amostra de 129 vértices com coordenadas em Córrego Alegre e SAD-69 (realização inicial) obtidas na Fundação IBGE. O primeiro teste consistiu na determinação de sete parâmetros: três translações, três rotações e um fator de escala (essa transformação é também conhecida como transformação de similaridade, isogonal, conforme, ou ainda de Helmert). O segundo teste consistiu na determinação de três translações, obtidas através da média aritmética das diferenças das coordenadas cartesianas entre os dois referenciais. O teste realizado com sete parâmetros forneceu desvios-padrão superiores ao realizado com o de três. Então, considerando só o de três parâmetros e comparando com os dados oficiais de transformação, observou-se uma diferença aproximada de: 14 m para o estado de Alagoas, 11m para a Bahia, 15m para o

Ceará, 7m para o Espírito Santo, 5m para o Mato Grosso, 5m para Minas Gerais, 16m para a Paraíba, 10m para o Paraná, 13m para Pernambuco, 12m para o Piauí, 15m para o rio Grande do Norte, 7m para o Rio de Janeiro, 4m para São Paulo e 12m para o Sergipe, ressaltando-se que não se conseguiu recuperar as coordenadas em Córrego Alegre para todos os estados brasileiros. Com estes resultados, verificou-se uma média de 10 metros de diferença entre os dois sistemas de referência, diferença significativa apenas para escalas maiores que 1:50.000, considerando-se o erro gráfico da carta em 0,2 mm. Teve-se assim a confirmação de que os dados oficiais podem ser utilizados para a integração Córrego Alegre/SAD-69 (realização inicial), em escalas menores que 1:50.000. As diferenças encontradas nos testes, também evidenciam a não homogeneidade da rede e indicam que os parâmetros existentes não conseguem modelar de forma eficaz a total variação das coordenadas em diferentes regiões do país.

Entre os sistemas Córrego Alegre e o WGS-84 / SIRGAS não existem parâmetros de transformação, sendo necessário se fazer uma passagem intermediária pelo SAD-69. Segundo DALAZOANA, uma alternativa visando a integração entre o sistema Córrego Alegre e o SIRGAS 2000, seria a de gerar parâmetros de transformação locais (diretamente de Córrego Alegre para SIRGAS 2000) que seriam aplicados aos produtos. Outra possibilidade, seria a de gerar uma metodologia de conversão que considerasse as distorções existentes na rede clássica.

Entre os sistemas SAD-69 (original) e SAD-69 (realização de 1996), por possuírem a mesma definição, suas coordenadas diferem somente devido a observações adicionais e às técnicas de ajustamento empregadas, não existindo parâmetros de transformação entre os mesmos. As diferenças entre os dois conjuntos de coordenadas (denominadas de distorções), são em média 4 metros, podendo chegar a 15 metros nos extremos sul e nordeste do país. A compatibilização entre o SAD-69 (original) e o SAD-69/96 é feita com o modelamento das distorções.

Os parâmetros oficiais para a transformação entre os sistemas geodésicos SAD-69 e WGS-84 foram estimados com base na realização inicial de ambos os sistemas, trazendo como tais:

- Translação em X = - 66,87 m
- Translação em Y = 4,37 m
- Translação em Z = - 38,52 m

Horizontalmente, as diferenças entre os sistemas SAD-69 e WGS-84 / SIRGAS 2000 , são traduzidas na ordem de aproximadamente 65 metros em suas coordenadas ao longo do Brasil e na direção nordeste conforme figura 6.6.

Os parâmetros para a transformação entre os sistemas Astro Datum-Chuá e o SAD-69, são dados pelas seguintes translações:

- Translação em X = - 77,00 m
- Translação em Y = 239,00 m
- Translação em Z = 5,00 m

Com relação à transformação entre o SAD-69 e a última realização do WGS-84 (G1150), os parâmetros passaram a ser os seguintes:

- Translação em X = - 67,35 m
- Translação em Y = 3,88 m
- Translação em Z = - 38,22 m

Esses parâmetros foram oficializados pela Fundação IBGE, no II Seminário sobre o Referencial Geocêntrico realizado no Rio de Janeiro no período de 30 de novembro a 03 de dezembro de 2004.

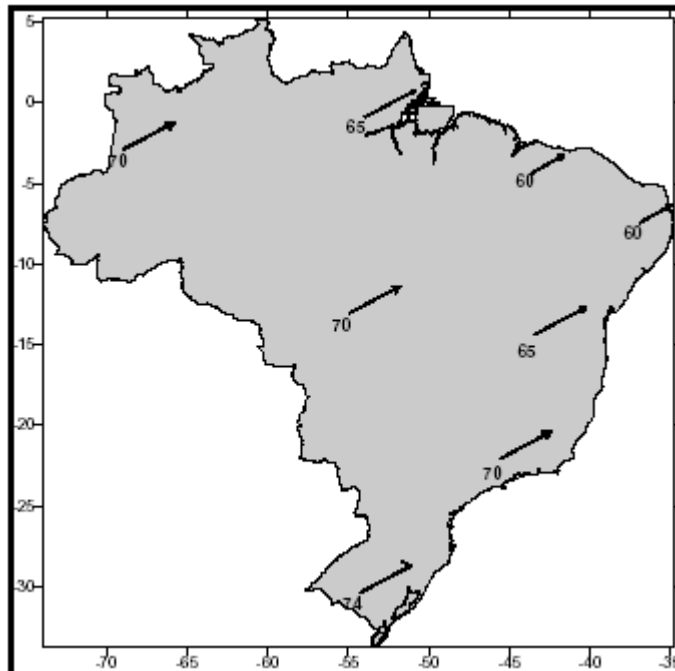


Figura 6.6 - Vetores de deslocamento horizontal entre SAD-69 e um referencial geocêntrico
Fonte: IBGE, 2004